

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI ATIK YÖNETİM SENARYOLARININ
SERA GAZI SALIMINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hüseyin GÜVEN

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK

AĞUSTOS 2012

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI ATIK YÖNETİM SENARYOLARININ
SERA GAZI SALIMINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hüseyin GÜVEN
(501101708)**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri ve Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK

AĞUSTOS 2012

ÖNSÖZ

Bitirmiş olduğum bu çalışmada bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sn. Prof. Dr. İzzet ÖZTÜRK'e teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmam sırasında değerli görüş ve fikirlerinden yararlandığım Doç. Dr. Osman Atilla ARIKAN'a teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca her türlü fedakarlık ve manevi destekleriyle daima benim yanımda olan ve bugünlere gelmemi sağlayan aileme içten teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos 2012

Hüseyin Güven
(Çevre Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Konunun Anlam ve Önemi	1
1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	2
2. ENTEGRE KATI ATIK YÖNETİMİ (EKY)	5
2.1 EKY Sisteminin Özellikleri	6
2.2 EKY Bileşenleri	8
2.2.1 Atık azaltma	8
2.2.2 Yeniden kullanım	8
2.2.3 Geri dönüşüm ve biyolojik arıtma	8
2.2.3.1 Kompostlaştırma	9
2.2.3.2 Biyometanizasyon	9
2.2.4 Termal arıtma	9
2.2.4.1 Yakma tesisi emisyonları	11
2.2.5 Düzenli depolama	12
2.3 Birim Atık Üretimi ve Atık Üretim Hızı Artışı.....	13
3. KATI ATIK DEPOLAMA ALANLARI.....	15
3.1 Katı Atık Depolama Alanlarının Sınıflandırılması	15
3.1.1 Düzensiz depolama alanları	15
3.1.2 Düzenli depolama tesisleri (DDT)	15
3.1.2.1 Konvansiyonel depolama alanları	16
3.1.2.2 Mühendislik çalışması yapılmış depolama alanları	17
3.2 Sızıntı Suyu	18
3.3 Depo Gazı.....	19
3.3.1 Depolama alanlarından kaynaklanan gaz oluşumunun modellenmesi	21
3.3.1.1 Sıfırıncı mertebeden model	22
3.3.1.2 Birinci mertebe kinetiği modeli	22
3.3.1.3 Modifiye birinci mertebe kinetiği modeli	23
3.3.1.4 Çok bileşenli ayrışma kinetiği modeli.....	23
3.3.1.5 Scholl Canyon modeli	23
3.3.1.6 Palos Verdes modeli.....	24
3.3.1.7 GASFILL modeli	25
3.3.1.8 EPA modeli	26
3.3.1.9 Tabasaran ve Rettenberg modeli	26

4. SERA GAZI SALIMI	29
4.1 Sera Etkisi.....	29
4.1.1 Sera gazları.....	29
4.1.2 Küresel ısınma.....	32
4.1.2.1 Türkiye’de iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasına yönelik mevzuat çalışmaları.....	33
4.2 Sera Gazı Emisyonları.....	34
4.3 Atık Sektörü Sera Gazı Emisyonları	35
4.3.1 Doğrudan emisyonlar	38
4.3.1.1 DDT kaynaklı doğrudan emisyonlar	38
4.3.1.2 Yakma tesisleri kaynaklı doğrudan emisyonlar	40
4.3.1.3 Kompost tesisleri kaynaklı doğrudan emisyonlar	40
4.3.2 Dolaylı emisyonlar	40
4.3.2.1 DDT kaynaklı dolaylı emisyonlar	41
4.3.2.2 Yakma tesisleri kaynaklı dolaylı emisyonlar	42
4.3.2.3 Kompost tesisleri kaynaklı dolaylı emisyonlar	43
5. TÜRKİYE İÇİN NÜFUS VE KENTSEL KATI ATIK ÜRETİMİ TAHMİNLERİ	45
5.1 Nüfus Projeksiyonu	45
5.2 Atık Üretimi Projeksiyonu	50
6. ÇALIŞMA KAPSAMINDA İNCELENEN ATIK YÖNETİM SENARYOLARI	53
6.1 Mevcut Depolama Alanlarının Durumu	53
6.2 Mevcut Kompost Tesislerinin Durumu	55
6.3 Sokak Toplayıcıları ve Ambalaj Atıklarının Mevcut Durumu	56
6.4 Senaryolar.....	56
6.4.1 Birinci senaryo	57
6.4.2 İkinci senaryo	58
6.4.2.1 Büyükşehir belediyeleri için ikinci senaryo (3b havzası hariç)	58
6.4.2.2 Diğer belediyeler için ikinci senaryo (3b havzası dahil)	59
6.4.3 Üçüncü senaryo	60
7. SENARYO UYGULAMA SONUÇLARININ ANALİZİ	63
7.1 Hesaplamalarda Yapılan Kabuller.....	63
7.2 IPCC Modelinin Kullanılması.....	66
7.3 Birinci Senaryo ile İlgili Uygulama Sonuçları	67
7.3.1 Birinci senaryo için atık akışı.....	68
7.3.2 Depolama sahası sera gazı emisyonları.....	70
7.3.3 Kompost tesisi emisyonları	73
7.3.4 Toplam emisyonlar.....	74
7.4 İkinci Senaryo ile İlgili Uygulama Sonuçları	74
7.4.1 İkinci ve üçüncü senaryo için atık akışı	75
7.4.2 Yakma tesisi sera gazı emisyonları	75
7.4.3 Depolama sahası sera gazı emisyonları.....	78
7.4.4 Biyometanizasyon ve kompost tesisi emisyonları	81
7.4.5 Toplam emisyonlar.....	82
7.5 Üçüncü Senaryo ile İlgili Uygulama Sonuçları	83
7.5.1 Kompost tesisi emisyonları	84
7.5.2 Toplam emisyonlar.....	84
7.6 Senaryoların Mukayesesi.....	85
7.7 Sonuçların belirsizlik analizi	86

8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	89
KAYNAKLAR	93
EKLER.....	97
ÖZGEÇMİŞ.....	141

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ATY	: Atıktan Türetilmiş Yakıt
BB	: Büyükşehir Belediyesi
BOİ₅	: 5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
CFC	: Kloroflorokarbon
CH₄	: Metan
CO₂	: Karbondioksit
ÇOB	: Çevre ve Orman Bakanlığı
DOC	: Ayrışabilir Organik Karbon
DDT	: Düzenli Depolama Tesisi
EHCIP	: Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımları Projesi
EKY	: Entegre Katı Atık Yönetimi
IEA	: International Energy Agency
IPCC	: Hükümetler Arası İklim Değişimi Paneli
KAAP	: Katı Atık Ana Planı
KKA	: Kentsel Katı Atık
KIP	: Küresel Isınma Potansiyeli
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
LCA	: Life – Cycle Assessment
MGT	: Maddesel Geri Kazanım Tesisi
ppm	: Milyonda Bir Parça
ppb	: Milyarda Bir Parça
ppt	: Trilyonda Bir Parça
PM	: Partiküler Madde
TOK	: Toplam Organik Karbon
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
Top-P	: Toplam Fosfor
UNDP	: Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı
EPA	: ABD Çevre Koruma Ajansı
UYA	: Uçucu Yağ Asitleri
VOC	: Uçucu Organik Bileşikler

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Bazı Avrupa ülkelerinde yakma tesislerinin KKA bertarafı içindeki durumu (IPCC, 2000).	10
Çizelge 2.2 : Artılmamış baca gazı emisyon faktörleri (EPA, 1996).	12
Çizelge 3.1 : Depo yaşına göre sızıntı suyu özellikleri (Öztürk, 2010a).	18
Çizelge 3.2 : Bazı depo gazı özellikleri (Tchobanoglous ve Kreith, 2002).	21
Çizelge 3.3 : Çeşitli kaynaklara göre tipik depo gazı bileşimleri.	22
Çizelge 4.1 : 1750 ve günümüzde atmosferdeki sera gazı konsantrasyonları (Url-2).	30
Çizelge 4.2 : IPCC'ye göre bazı sera gazlarının KIP değerleri ve yarı ömürleri (IPCC, 2007).	31
Çizelge 4.3 : Bazı sera gazları ve KIP değerleri (Tünay ve Alp, 1996).	32
Çizelge 4.4 : Sera gazı azaltımına yönelik AB ve Türkiye'deki yasal çerçeve (Öztürk, 2010b).	34
Çizelge 4.5 : Türkiye'de sektörel sera gazı salımları (TÜİK, 2012a).	35
Çizelge 4.6 : Türkiye'de atık sektörü metan emisyonları (TÜİK, 2012a).	35
Çizelge 4.7 : KKA içerisindeki bileşenlerin ayrışabilir organik karbon ve karbon yüzdeleri (%) (IPCC, 2006).	36
Çizelge 4.8 : Hızlı ve yavaş ayrışabilen atık bileşenleri (Özçakıl, 2001).	36
Çizelge 4.9 : Farklı mekanizmalara göre kabul edilen sera gazları (Gentil ve diğ., 2009).	38
Çizelge 4.10 : Depolama sahalarındaki işlemler sonucu oluşan emisyonlar (Manfredi ve diğ., 2009).	41
Çizelge 4.11 : Yakma tesislerindeki işlemlerden kaynaklanan emisyonlar (Astrup ve diğ., 2009).	42
Çizelge 4.12 : Kompost tesislerindeki işlemlerden kaynaklanan emisyonlar (Boldrin ve diğ., 2009).	43
Çizelge 5.1 : Atık havzalarını temsil eden iller (KAAP, 2006).	45
Çizelge 5.2 : UNDP'nin Türkiye için nüfus tahminleri (UNDP, 2009).	46
Çizelge 5.3 : UNDP'nin nüfus tahminlerine göre hesaplanan nüfus değişimleri.	46
Çizelge 5.4 : TÜİK nüfus projeksiyonuna göre nüfus değişim tahminleri (TÜİK, 2008a).	47
Çizelge 5.5 : Atık havzalarının 2012-2032 yılları arasında katı atık hizmeti alan nüfusu (Büyükşehir belediyesi olan havzalar için).	49
Çizelge 5.6 : Atık havzalarının 2012-2032 yılları arasında katı atık hizmeti alan nüfusu (Büyükşehir belediyesi olmayan havzalar için).	49
Çizelge 5.7 : 2012-2032 yılları arasında Türkiye'de katı atık hizmeti alan nüfus. ...	50
Çizelge 5.8 : Atık havzalarının 2012-2032 yılları arasında katı atık üretim miktarı (ton/yıl) (Büyükşehir belediyesi olan havzalar için).	51
Çizelge 5.9 : Atık havzalarının 2012-2032 yılları arasında katı atık üretim miktarı (ton/yıl) (Büyükşehir belediyesi olmayan havzalar için).	51

Çizelge 5.10 : 2012-2032 yılları arasında Türkiye’deki toplam katı atık oluşum tahminleri.	51
Çizelge 6.1 : Depolama sahalarının türlerine göre dağılımı (%).	54
Çizelge 6.2 : Kompost tesislerinin atık işleme miktarları.	56
Çizelge 6.3 : Senaryolardaki atık yönetim bileşenleri.	57
Çizelge 6.4 : İkinci senaryoda büyükşehir belediyelerinde bertaraf yöntemlerinin dağılımı (1a, 2b ve 3b havzaları hariç) (%).	58
Çizelge 6.5 : İkinci senaryoda ikili toplama hedefleri (%).	59
Çizelge 7.1 : Depolama sahalarından kaynaklanan emisyonların saha türüne göre dağılımı (%).	64
Çizelge 7.2 : Genel gaz tutma verimi (%).	65
Çizelge 7.3 : Hesaplarda kullanılan emisyon faktörleri.	65
Çizelge 7.4 : Birinci senaryo atık akış çizelgesi (ton atık).	68
Çizelge 7.5 : Birinci senaryo için depolama sahası sera gazı emisyonları.	71
Çizelge 7.6 : Birinci senaryo kompost tesisi emisyonları.	73
Çizelge 7.7 : İkinci senaryo yakma tesisi emisyonları.	75
Çizelge 7.8 : İkinci ve üçüncü senaryo atık akış çizelgesi (ton atık).	76
Çizelge 7.9 : İkinci senaryo depolama sahası emisyonları.	79
Çizelge 7.10 : İkinci senaryo biyometanizasyon ve kompost tesisi emisyonları.	81
Çizelge 7.11 : Üçüncü senaryo kompost tesisi emisyonları.	83

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Entegre katı atık yönetimi seçenekleri öncelik sırası (Öztürk, 2010a).....	6
Şekil 2.2 : Katı atık yönetimi akış diyagramı (Öztürk, 2010a).....	7
Şekil 3.1 : Tipik bir düzenli depolama alanında yıllara göre oluşan biyogaz miktarı (Lou ve Nair, 2009).	16
Şekil 3.2 : Depo gazı oluşum safhaları (Öztürk, 2010a).....	20
Şekil 4.1 : Sera gazları konsantrasyonunun değişimi (Url-1).....	30
Şekil 4.2 : Dünya'nın ortalama sıcaklığının değişimi (Url-3).	32
Şekil 5.1 : Türkiye'de katı atık hizmeti alan nüfusun değişimi.....	50
Şekil 5.2 : Türkiye'de toplam katı atık oluşumu tahmini.	52
Şekil 6.1 : Depolama sahalarının dağılımı.....	55
Şekil 6.2 : İkinci senaryoda BB için bertarafı tesisleri dağılımı (1a, 2b ve 3b havzası hariç).	60
Şekil 7.1 : IPCC modeli algoritması.	67
Şekil 7.2 : Birinci senaryo atık akışı (ton atık).	69
Şekil 7.3 : Birinci senaryo için yıllık sera gazı emisyonları.	74
Şekil 7.4 : İkinci ve üçüncü senaryo atık akışı (ton atık).....	77
Şekil 7.5 : İkinci senaryo için yıllık sera gazı emisyonları.....	82
Şekil 7.6 : Üçüncü senaryo için yıllık sera gazı emisyonları.....	85
Şekil 7.7 : Senaryolardaki yıllık emisyonların mukayesesi.....	86
Şekil 7.8 : Senaryolardaki eklenik emisyonların mukayesesi.	87

FARKLI ATIK YÖNETİM SENARYOLARININ SERA GAZI SALIMINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Küresel ısınmanın olumsuz etkileri özellikle son yıllarda belirgin bir biçimde görülmeye başlanmıştır. Küresel ısınmanın başlıca sorumlusu ise sera gazlarıdır. 200 yıl öncesine kadar Dünya'daki sera gazlarının konsantrasyonunda önemli bir değişim görülmemesine rağmen 19.yy'dan itibaren Sanayi devrimi ile başta CO₂ olmak üzere birçok sera gazının konsantrasyonu önemli ölçüde artmıştır.

Atmosferdeki sera gazı emisyonunun artmasında enerji ihtiyacı nedeniyle yapılan faaliyetler, endüstriyel işlemler ve tarımsal işlemler ile birlikte atık bertarafı işlemleri etkili olmaktadır. Atık sektörü, enerji sektörü ile endüstriyel işlemlerin ardından en fazla sera gazı emisyonuna neden olan üçüncü sektördür. Bu nedenle atık sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılması toplam sera gazı emisyonunun azaltılmasında büyük rol oynamaktadır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre Türkiye'de 2010 yılında atmosfere verilen toplam sera gazı ~402x10⁶ CO₂ eşdeğeri olup bunun yaklaşık %9'u atık bertarafı işlemlerinden kaynaklanmıştır. 1990 yılında atık sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonu ~9,7x10⁶ CO₂ eşdeğeri iken 2010 yılındaki emisyon ~35,8x10⁶ CO₂ eşdeğerine yükselmiştir. 1990 ile 2010 yılları arasındaki emisyonun %270 oranında artması bu konunun önemini göstermektedir.

Bu çalışma kapsamında, Türkiye genelinde 2003-2032 dönemini kapsayan üç adet atık yönetim senaryosu çalışılmış ve her bir yönetim planının uygulanması durumunda atmosfere ne kadar sera gazı salınacağı hesaplanmıştır. Uygulanan atık yönetim planları farklı atık bertaraf metotlarını içerip çalışma sonucunda hangi atık yönetim planından daha az sera gazı oluşacağı değerlendirilmiştir. Senaryoların çalışılmasından önce nüfus ve atık projeksiyonları yapılmıştır. Nüfus tahminlerinde şehir ve kırsal nüfus ayrı ele alınmıştır. Nüfus projeksiyonu metodunun seçilmesinde ise Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı'nın (UNDP) ve TÜİK'in nüfus projeksiyonları değerlendirilmiştir. UNDP ve TÜİK'in yaptığı nüfus tahminlerinin yaklaşık olarak aynı sonuçları verdiği görülmüştür. Nüfus projeksiyonlarında hem şehir hem de kırsal nüfus tahminlerinin bulunmasından dolayı UNDP'nin 2009 yılında yaptığı nüfus tahminleri kullanılmıştır. Her bir şehir için şehir ve kırsal nüfuslar 2032 yılına kadar hesaplanmıştır. Atık projeksiyonunda ise Katı Atık Ana Planı'ndan (KAAP) faydalanılmıştır. Oluşacak kentsel katı atık (KKA) miktarlarının tahmininde KAAP'ta verilmiş olan birim atık oluşum hızları kullanılmıştır. Buna ek olarak her bir KKA bileşeninin ne miktarda oluşacağının tahmini için her bir atık havzası için KAAP'ta verilmiş olan atık karakterizasyonu tablolarından yararlanılmıştır. KAAP'ta birim atık oluşum değerleri ve atık projeksiyonu için tahmin bulunmayan yıllar için önceki yıllar göz önünde bulundurularak uygun değerler verilmiştir. Çalışma kapsamında senaryolara geçilmeden önce Türkiye'deki mevcut atık yönetimi ve atık bertaraf bileşenleri değerlendirilmiştir. Bu amaçla

Türkiye’deki düzenli depolama tesisleri (DDT), kompost tesisleri, ambalaj atıklarının durumu ve sokak toplayıcılarının durumu gözden geçirilmiştir.

Çalışma kapsamında DDT, kompost, biyometanizasyon ve yakma tesislerine KKA kabulünün 2032 yılı sonu itibariyle sona ereceği kabul edilmiştir. Çalışmada düzensiz depolama sahalarından kaynaklanacak emisyonlar da hesaplanmıştır. 2020 senesi itibariyle tüm düzensiz depolama sahalarının kapatılıp rehabilite edileceği kabul edilmiştir. Düzenli depolama tesislerinin kapatılmasını müteakip belli bir süre önemli ölçüde gaz salımı devam ettiği için tüm senaryolar için sera gazı emisyonları 2003-2052 dönemi için hesaplanmıştır. İncelenen ilk senaryoda oluşacak KKA’nın büyük çoğunluğunun DDT’lerde depolanacağı kabul edilmiştir. Bu senaryoda hali hazırda işletilmekte olan kompost tesisleri (İstanbul, İzmir, Denizli ve Kemer) 2032 yılı sonuna dek hizmet verecektir. Birinci senaryoda atıkların karışık olarak toplanacağı öngörülmüştür. İkinci ve üçüncü senaryoda ise büyükşehir belediyeleri (BB) ile diğer belediyeler için farklı atık yönetimleri oluşturulmuştur. Bu senaryolarda büyükşehir belediyelerindeki KKA ağırlıklı olarak yakma tesislerine gönderilecektir. Yakma tesislerinin 2015 yılında hizmet vermeye başlayacağı öngörülmüştür. Büyükşehir belediyelerinde hizmet verecek olan yakma tesisleri 2015 yılında oluşan toplam atığın %25’ini işleyecek kapasiteye sahip olacaktır. 2025 yılına gelindiğinde ise yakma tesislerinin maksimum kapasiteye ulaşp, oluşan toplam KKA’nın %75’ini işleme kapasitesine sahip olacağı kabul edilmiştir. Yakma tesisine gönderilmeyen KKA’nın ambalaj atıkları olan kısmı ise maddesel geri kazanım tesislerine (MGT) gönderilecektir. Diğer belediyelerde ise etkin bir ikili toplama sistemi oluşturulup biyobozunur atıkların ve ambalaj atıklarının geri kazanımının yüksek bir verimle sağlanacağı öngörülmüştür. Bu çalışmada söz konusu belediyelerde şu an itibariyle ikili toplamının mevcut olmadığı kabul edilmiştir. İkili toplama sisteminin 2013 yılında kurulmaya başlanacağı ve 2015 ve sonrasındaki yıllarda KKA’nın %67’lik bir verim ile ikili toplanacağı varsayılmıştır. Ayrı toplanabilen biyobozunur atığın ikinci senaryoda biyometanizasyon tesislerine, üçüncü senaryoda ise kompost tesislerine gönderilmesi düşünülmektedir. Her iki senaryoda da ayrı toplanan ambalaj atıkları MGT tesislerine gönderilecektir. Ayrı toplanamayan toplam atığın %33’lük kısmı ise direkt olarak DDT’lere gönderilecektir. İkinci ve üçüncü senaryo için öngörülmüş olan ikili toplama sistemi aynı zamanda büyükşehir belediyelerinde de uygulanacaktır. Ancak büyükşehir belediyelerinde KKA’nın ağırlıklı olarak yakma tesislerinde bertaraf edilmesi öngörüldüğü için, uygulanacak ikili toplama sistemi diğer belediyelerde olduğu kadar kapsamlı olmayıp, genellikle yüksek gelir grubuna sahip insanların ikamet ettiği bölgelerdeki ambalaj atıklarının ayrı toplanmasını sağlayacaktır. Dolayısıyla 2025 ve sonrasında oluşan toplam KKA’nın yakma tesisine gönderilmeyen kısmının %67’si (toplam KKA’nın %25’inin %67’si) MGT gönderilirken geriye kalan kısmı ise DDT’lerde bertaraf edilecektir. Büyükşehir belediyelerinde biyometanizasyon veya kompost tesislerinin kurulması öngörülmemektedir. Dolayısıyla yakma tesislerine gönderilmeyen biyobozunur KKA direkt olarak DDT’lere gönderilecektir.

Düzenli depolama tesislerinden ve düzensiz depolama sahalarından kaynaklanan emisyonların hesabında Hükümetler Arası İklim Değişimi Paneli’nin (IPCC) 2006’da hükümetlerin katı atık depolama tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları ile ilgili ulusal bir envanter oluşturmalarını sağlamak amacıyla yayımladığı model kullanılmıştır. IPCC modeli metan emisyonu hesaplamalarında atığın birinci mertebeden bozunma kinetiğine göre ayrıştığını kabul etmektedir. IPCC modeli, kullanıcıya model içerisine nüfusu, birim atık üretimini ve atık

kompozisyonunu girmesine imkan tanımaktadır. Modelde aynı zamanda farklı KKA bileşenlerine ait ayrışabilir organik karbon (DOC) ve metan oluşum katsayıları ile diğer değişkenler gerektiği takdirde değiştirilebilmektedir. Çalışma kapsamında yapılan hesaplarda depolama alanları düzenli ve düzensiz olmak üzere iki ayrı kategoride incelenmiştir. Düzensiz depolama alanları ise kendi içinde sığ ve derin olarak ikiye ayrılmıştır. TÜİK'ten alınan veriler doğrultusunda yıllara göre düzenli ve düzensiz depolama alanlarının yüzdeleri belirlenmiştir. Buna göre 2002 yılında tüm atık depolama alanlarının %28'si DDT iken çalışma kapsamında 2020 yılında bu oranın %100'e ulaşacağı öngörülmektedir. DDT'lerde biyogazın %70'lik verimle toplanacağı kabul edilmiştir. Bu şekilde DDT'lerde oluşan metanın %70'inin CO₂'ye dönüştükten sonra atmosfere verileceği öngörülmüştür. Düzensiz depolama sahalarının %40'ında toplanan depo gazı gaz yakıcılar (flare) yakılırken %60'ında ise bu işlem yapılmayacaktır. Flare bulunan sahalarda depo gazının %50 verimle toplanabileceği ve bu şekilde oluşan metanın %50'sinin CO₂ olarak atmosfere verileceği kabul edilmiştir. Biyometanizasyon, kompost ve yakma tesislerinden kaynaklanan emisyonların hesabında ise literatürden derlenen emisyon faktörleri kullanılmıştır. Kompost, biyometanizasyon ve yakma tesislerinden kaynaklanan CO₂ emisyonları sırasıyla 169,5 kg/ton atık, 353 m³/ton atık ve 1.000 kg/ton atık olarak alınmıştır. Benzer şekilde CH₄ emisyonları ise kompost tesisleri için 2,3 kg/ton atık, biyometanizasyon tesisleri için ise 454 m³/ton atık olarak alınmıştır. Düzgün işletilen bir yakma tesisinden kaynaklanacak CH₄ emisyonu ihmal edilebilir düzeyde olduğu için hesaplamalarda yakma tesislerinden kaynaklanan CH₄ emisyonu sıfır olarak alınmıştır. Çalışmada, sadece KKA'nın kendisinden kaynaklanan sera gazı emisyonları hesaplanmıştır. Dolaylı sera gazı emisyonları hesaplanmamıştır. Tüm bertaraf tesislerinden kaynaklanacak emisyonlar hesaplandıktan sonra CO₂ eşdeğeri olarak ifade edilmiştir. 1 birim metanın CO₂ eşdeğerinin 25 birim CO₂ olduğu kabul edilerek hesaplanan metan emisyonları 25 ile çarpılmış ve toplam emisyonlar CO₂ eşdeğeri olarak elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre birinci ve üçüncü senaryoda 2003-2052 dönemi için hesaplanan sera gazı emisyonları birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Birinci ve üçüncü senaryolarda sırasıyla ~783 ve ~782 milyon CO₂ eşdeğeri emisyonun atmosfere salınacağı hesaplanmıştır. En fazla emisyon salımının ise ~870 milyon CO₂ eşdeğeri ile ikinci senaryoda gerçekleşeceği ortaya çıkmıştır. Sonuç olarak çalışılan senaryolardan en sera gazı salımına neden olan atık yönetim senaryosunun birinci ve üçüncü senaryo olduğu anlaşılmıştır.

INVESTIGATION OF DIFFERENT WASTE MANAGEMENT SCENARIOS ON EFFECTS OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS

SUMMARY

The negative effects of global warming, especially in recent years began to be seen clearly. Greenhouse gases (GHGs) are the main responsible for global warming. Although there was not a significant change in the concentration of GHGs in the Earth until the 19th century, since the 1800s with the industrial revolution, the concentrations of GHGs, especially CO₂, have increased substantially.

Greenhouse gas emissions in the atmosphere are increased due to the need of energy, industrial and agricultural processes in conjunction with waste disposal procedures. Waste sector greenhouse gas emissions are the third contributor in the global greenhouse gas emissions after energy sector and industrial processes. Therefore, reduction of greenhouse gas emissions from waste sector plays an important role in reducing global GHG emissions. According to Turkish Statistical Institute (TUIK), ~402x10⁶ CO₂ equivalent GHG were released to the atmosphere in 2010 and waste sector was responsible 9% of the total emissions, approximately. While emission caused by waste sector was ~9.7x10⁶ CO₂ equivalent in 1990, it raised ~35.8x10⁶ CO₂ equivalent in 2010. Between 1990 and 2010, emission rate was increased by 270% which indicates the importance of the issue.

In this study, for 2003-2032 periods, three separate waste management scenarios for Turkey were studied and in case of the implementation of an each management scenario how much greenhouse gases were released to the atmosphere was calculated. Implemented waste management scenarios were included different waste disposal methods. At the end of the study, it was evaluated that which waste management plan causes less GHG emission. Before studying scenarios, population and waste projections were applied. Urban and rural population estimations were evaluated separately. Population projections of United Nation Development Programme (UNDP) and TUIK were evaluated to determine population projection method. It was understood that both two projections gave similar results. The year of 2009 population estimations of UNDP was used for population projection since it has population predictions for both urban and rural population. Urban and rural population of each city was calculated until 2032 by using estimations of UNDP. On the other hand, Solid Waste Master Plan was used for municipal solid waste generation (MSW) projection. Unit waste generation rates for each waste basin were used to calculate waste amount. To calculate MSW components, MSW characterization tables for each waste basin were used. However, unit waste generation rates and MSW characterization tables do not exist for some years in Solid Waste Master Plan, appropriate values were given for missing years. Before studying of the scenarios, existing solid waste management and waste disposal components in Turkey were evaluated. For this purpose, sanitary landfills, composting facilities, packing waste policy and activities of garbage men in Turkey were reviewed.

In the study, it was assumed that sanitary landfills, compost, biomethanization and incineration facilities will accept waste until end of the 2032. Emissions caused by dumping sites were also calculated in the study. Until 2020, it was accepted that all open dumping sites will be rehabilitated and after closed. After closure of sanitary landfills, remarkable amount of landfill gas (LFG) is still produced for a long time. That is why, GHG emissions were calculated for 2003-2052 periods. In the first scenario, it was assumed that most of the generated MSW will be sent to the sanitary landfills. It was accepted that compost facilities that are operated at present (Istanbul, Izmir, Denizli and Kemer) will be served until end of 2032. Mixed collection system will be used in this scenario. Second and third scenarios indicate different waste managements for metropolitan municipalities and other municipalities. In these scenarios, generated MSW will be sent to incineration facilities in metropolitan municipalities. Incineration facilities will begin to serve by the start of 2015. In 2015, incineration facilities, which will be constructed in metropolitan municipalities, will able to process 25% of the total generated waste. In 2025, incineration facilities will reach maximum capacity and will able to process 75% of the total generated MSW. The fraction of MSW, which will not be operated in incineration facilities, will be sent to either material recovery facilities (MRFs) or sanitary landfills. In other municipalities, it was accepted that an effective dual collection system will be established so recovery of biodegradable waste and recycling of package waste will able to be accomplished by a high efficiency. In the study, it was assumed that there is not a dual collection system in these municipalities at present. Dual collection system will be established in 2013 and 67% of the generated MSW will able to be collected separately in 2015 and in the following years. Separated part of the biodegradable waste will be sent to biomethanization facilities in second scenario while the same fraction will be sent to composting facilities in third scenario. Packing waste will be sent to MRFs in both two scenarios. 33% of the generated waste will be sent to sanitary landfills since this fraction will not able to be collected separately. Mentioned dual collection system efficiency will also be valid for metropolitan municipalities. However, dual collection system will not be as comprehensive as in other municipalities since most of the generated MSW will be incinerated. Dual collection system will be mostly applied in high income residential areas. Thus, after 2025, 67% of the packing waste (67% of 25% of MSW), which will not be sent to incineration facilities, will be operated in MRFs while the remaining part will be sent to sanitary landfills directly. In metropolitan municipalities, it was accepted that there will be neither biomethanization nor composting facilities so if the biodegradable fraction of the generated MSW will not be sent to incineration facilities this fraction will be sent to sanitary landfills directly.

Emissions caused by sanitary landfills and waste dumping sites are computed by model of Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). The model was developed in 2006 in order to guide governments to constitute their national greenhouse gas inventories caused by landfills. IPCC model uses first order decay in methane emission calculations. The model allows user to enter population, unit waste generation rate and MSW composition. It also allows changing default degradable organic carbon (DOC) fractions and methane generation rate constants of the different MSW types and other some variables if necessary. In the study, landfills were categorized as sanitary landfills and dumping sites. In addition, dumping sites were divided into shallow and deep dumping sites. Percentage of sanitary landfills and dumping sites were determined by data obtained from TUIK. According to TUIK, 28% of landfills were sanitary landfills in 2002. In the study, it was accepted

that 100% of landfills will be operated as sanitary landfills in 2020. It was assumed that generated biogas will be collected by 70% efficiency. Thus, in sanitary landfills, 70% of generated methane will be converted to CO₂ and after will be released to the atmosphere. While 40% of dumping sites will have flare to convert from methane to CO₂, 60% of dumping sites will not have flare. It was assumed that generated landfill gas will be collected by 50% efficiency in dumping sites, which have flare, and therefore, 50% of generated methane will be converted to CO₂ then will be released to the atmosphere. To calculate emissions derived from biomethanization, composting and incineration facilities, emission factors reviewed from literature were used. CO₂ emissions caused by composting, biomethanization and incineration facilities were accepted as 169.5 kg/ton waste, 353 m³/ton waste and 1,000 kg/ton waste, respectively. Similarly, CH₄ emissions caused by composting and biomethanization facilities were accepted as 2.3 kg/ton waste and 454 m³/ton waste, respectively. It was assumed that CH₄ emission can be neglected by a well-operated incineration facility, so CH₄ emission of incineration facilities was taken as zero. In the study, GHG emissions were calculated only from the MSW itself. Indirect GHG emissions were not calculated. After calculation of all emissions derived from all disposal facilities they were expressed in terms of CO₂ equivalent. It was accepted that CO₂ equivalent of 1 unit methane is 25 units of CO₂. That is why, all calculated methane emissions were multiplied by 25 and total emissions were obtained in terms of CO₂ equivalent.

According to calculations, GHG emission caused by first and third scenarios were so close to each other in 2003-2052 periods. ~783 and ~782 million CO₂ equivalent emission will be released to the atmosphere in first and third scenarios, respectively. Maximum emission will be caused by second scenario with ~870 million CO₂ equivalent emission. Consequently, among the studied scenarios, it was understood that first and third waste management scenarios lead to minimum GHG emission.

1. GİRİŞ

1.1 Konunun Anlam ve Önemi

Türkiye'nin de aralarında bulunduğu gelişmekte olan ülkelerde hızlı endüstrileşme ve nüfus artışı, oluşan katı atık miktarını önemli ölçüde arttırmaktadır. Buna paralel olarak ortaya çıkan katı atıkların bertarafı daha büyük bir sorun haline gelmiştir. Geçmişte düzensiz depolama tekniği ile depolanan katı atıkların yol açtığı sorunlar insan sağlığını ve çevreyi birçok açıdan olumsuz yönde etkilemiştir. Bu söz konusu etkilerden kaçınmak için Entegre Katı Atık Yönetimi (EKY) konsepti ile uyumlu katı atık yönetim planları hayata geçirilmeye başlanmıştır. EKY öncelikle atık azaltımı ve atık geri dönüşümünü hedeflemektedir. Bunların mümkün olmadığı durumlarda ise atıkların sırasıyla, kompostlaştırma, termal bertaraf (yakma/gazlaştırma) ve düzenli depolama önceliği ile yönetilmesi gerekmektedir.

Sanayi devriminin başlaması ile birlikte yaşanan süreçte atmosfere salınan sera gazı emisyonları büyük artış göstermiştir. Bu artışın sonucu olarak küresel ısınmanın olumsuz etkileri gözle görülür bir hal almıştır. Dünyanın ortalama sıcaklığında meydana gelebilecek ufak değişimler bile büyük küresel felaketlere yol açabilmektedir. Son yıllarda görülen, kutuplardaki buzulların erimesi, kuraklık sonucu rekoltelerin azalması ve olağan dışı meteorolojik olayların meydana gelmesi küresel ısınmanın bazı sonuçlarındandır.

Endüstriyel faaliyetlerinin yanı sıra atık bertaraf faaliyetleri de önemli miktarda sera gazı emisyonuna neden olmaktadır. EKY, atık bertaraf sürecinde açığa çıkan sera gazı emisyonunun da kontrol altında tutulmasını sağlamaktadır. Küresel ısınmanın yol açtığı olumsuz etkilerin azaltılması için, katı atık yönetim planlarının EKY anlayışı ile hazırlanması zorunluluk haline gelmiştir. Bu bağlamda EKY seçeneklerinin sera gazı salımı potansiyelinin bilinmesi önem taşımaktadır.

1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de oluşacak kentsel katı atıkların (KKA), EKY anlayışı ile ne tür seçenekler uygulanarak bertaraf edilebileceğinin ortaya konulması ve öngörülen katı atık bertaraf senaryolarının sera gazı emisyonları bakımından karşılaştırmalı analizinin yapılmasıdır.

Çalışmada öncelikle atık bertaraf tipleri ile atık depolama teknikleri üzerinde durulmuştur. Bu kapsamda düzenli depolama yöntemi daha detaylı olarak ele alınmıştır. Çalışmanın sonraki bölümlerinde ise katı atık bertarafı ile sera gazı emisyonları arasındaki ilişki ortaya konmuştur. Bundan hareketle depo gazlarından kaynaklanan doğrudan (direkt) ve dolaylı emisyonların neler olduğu açıklanmıştır. Katı atık bertarafı sürecinde sera gazı oluşumunu etkileyen depolama alanı örtü toprağı, aerobik depolama ve ön arıtma gibi temel faktörler üzerinde durulmuştur. Bu kapsamda günümüze kadar katı atık bertaraf yöntemleri sırasında açığa çıkan sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik ne tür politikalar geliştirildiğı de ortaya konmuştur.

Çalışma kapsamında 3 ayrı atık yönetim senaryosu öngörülmüştür. Birinci senaryo oluşan atıkların ağırlıklı olarak düzenli depolama tesislerinde (DDT) bertarafını öngörmektedir. Bu senaryoda atıkların büyük bir kısmı depolama tesislerine gönderilirken çok az bir kısmı ise mevcut ön ayıklama ve kompost tesislerinde arıtılmaktadır. İkinci senaryoda, büyükşehir belediyelerinde (BB) oluşan atıkların ağırlıklı olarak termal bertaraf (yakma) tesislerine gönderilmesi, diğer belediyelerde ise etkin bir ikili toplama sistemi ile ambalaj atıklarının maddesel geri kazanım tesislerinde (MGT) geri kazanımı, biyobozunur atıkların ise biyometanizasyon tesislerinde arıtımı öngörülmektedir. Büyükşehir belediyelerinde yakma tesislerine, diğer belediyelerde MGT veya biyometanizasyon tesislerine alınamayan atıklar ise DDT’lerde bertaraf edilmektedir. Üçüncü ve son senaryoda ise büyükşehir belediyeleri için öngörülen atık yönetim planı ikinci senaryo ile aynı olup diğer belediyelerde ayrı toplanan biyobozunur atıkların biyometanizasyon tesisi yerine kompost tesislerinde arıtımı öngörülmektedir.

Çalışmada tanımlanan 3 atık yönetim senaryosu için yapılan emisyon hesapları 2003-2052 dönemini kapsamaktadır. Elde edilen sonuçlara göre en az sera gazı emisyonuna neden olacak senaryo tespit edilmiştir. Bu tez kapsamında yürütülen

Çalışma sonucunda Türkiye için sera gazı salımı bakımından en uygun olduğu düşünölen katı atık yönetim senaryosu ortaya konmuştur.

2. ENTEGRE KATI ATIK YÖNETİMİ (EKY)

Bir toplumdaki madde akışının her aşamasında atık oluşumu gerçekleşebilmektedir. Atık oluşumu hammadde elde edilmesi sırasında oluşabileceği gibi, elde edilen hammaddeden bir ürün üretimi sırasında da gerçekleşebilir. Bunlara ek olarak elde edilen ürünün kendisi de bir süre sonra atık olabilmektedir. Oluşan atık daha sonra hammadde olabileceği gibi başka bir ürünün üretimi sonrasında da kullanılabilir. Dolayısıyla tabiatta kesintisiz bir madde akışı bulunmaktadır (Tchobanoglous ve Kreith, 2002).

Üretim için gerekli olan hammadde miktarı tabiatta sınırsız değildir. Özellikle son birkaç yüzyıldaki nüfus artışı ve sanayileşme hammadde gereksinimini aşırı arttırmıştır. Hammadde ihtiyacının ve bu şekilde atık oluşumunun azaltılması için 4R olarak bilinen bir yaklaşım geliştirilmiştir (Vesilind ve diğ., 2002):

- Atık azaltımı (reduction)
- Tekrar kullanım (reuse)
- Geri dönüşüm (recycling)
- Geri kazanım (recovery)

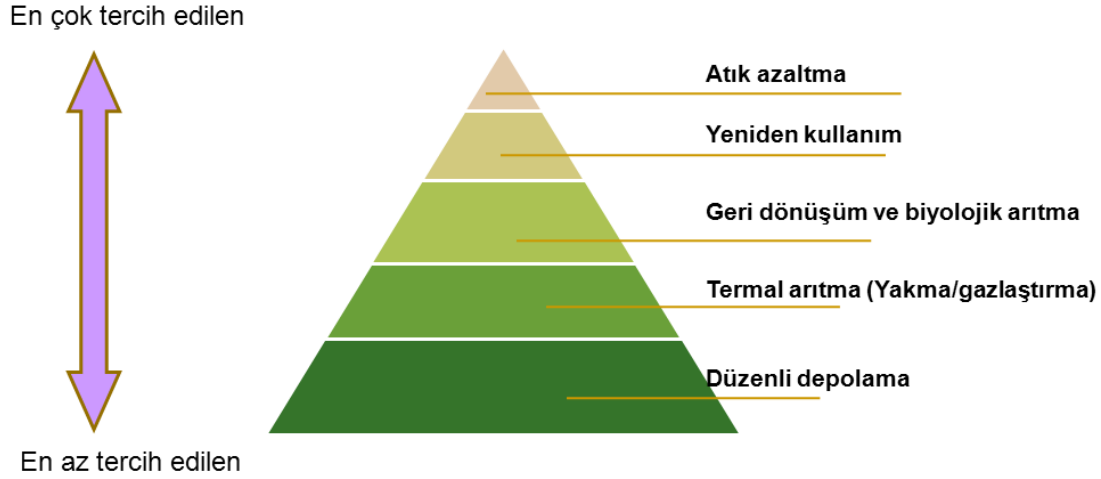
Yukarıda belirtilen yaklaşım sürdürülebilir bir atık yönetiminin de temellerini oluşturmaktadır. Hem çevresel hem de ekonomik açıdan sürdürülebilir bir katı atık yönetiminde birçok farklı teknoloji ve bertaraf metodu birlikte düşünülmelidir (Karakaya, 2008).

Entegre katı atık yönetimi (EKY), belli bir atık yönetim hedefine yönelik olarak gerekli uygun yöntem, teknoloji ve yönetim programlarının seçilmesi ve uygulanması olarak tanımlanabilir. EKY aynı zamanda ilgili yasal mevzuatta öngörülen hususların sağlanmasını da kapsar. EKY hiyerarşisi öncelik sırasına göre aşağıdaki stratejilerin uygulanmasını öngörmektedir (Öztürk, 2010a):

- Atık azaltma
- Yeniden kullanım
- Geri dönüşüm ve kompostlaştırma

- Enerji geri kazanımlı termal arıtma
- Enerji geri kazanımsız termal arıtma
- Düzenli depolama

Şekil 2.1’de entegre katı atık yönetimi bileşenleri verilmiştir.



Şekil 2.1 : Entegre katı atık yönetimi seçenekleri öncelik sırası (Öztürk, 2010a).

2.1 EKY Sisteminin Özellikleri

Verimli ve entegre bir katı atık yönetim sistemi başlıca aşağıdaki özellikleri taşımalıdır (Öztürk, 2010a):

- Bütüncül bir sistem olmalıdır: Katı atık yönetimi bir yerleşim merkezinde oluşan katı atık içinde bulunan bütün maddeleri ve üretim kaynaklarını kapsayacak şekilde planlanmalıdır.
- Ekonomik değer oluşturabilmelidir: Katı atık yönetim sisteminden sağlanabilecek ekonomik değerler, geri kazanabilir malzemelerden, komposttan ve elde edilebilecek (düzenli depolama ve anaerobik çürütme) biyogazdan olan girdilerdir. Bunlardan temin edilecek gelir, piyasa şartları ve yapılacak yatırımın maliyeti ile yakından ilgilidir. Bu yüzden planlama aşamasında ekonomik analizin çok iyi yapılması gereklidir.
- Esnek olmalıdır: Katı atık yönetim sistemi, çevresel, mekansal ve atık özelliklerinde zamana bağlı olarak meydana gelebilecek çeşitli değişikliklere gerekli oranda uyum sağlayabilecek esneklikte olmalıdır.
- Bölgesel planlama yapılmalıdır: Toplanacak atık miktarının büyüklüğü, planlamanın aynı oranda verimli olmasını sağlamaktadır. Atık üretimi ise

2.2 EKY Bileşenleri

2.2.1 Atık azaltma

Entegre katı atık yönetimindeki ilk basamak atık azaltımıdır. Atık azaltımı proses ve ürün bazlı olarak gerçekleşebilir. Proses bazlı atık azaltımı, endüstrideki üretim sırasında daha az enerji ve hammadde kullanımı ile üretimin gerçekleştirilmesi anlamına gelmektedir (Karakaya, 2008). Ürün bazlı atık azaltımında ise cam şişe, plastik ambalaj ve karton kutu gibi ürünlerin kontrolü söz konusudur. Bu gibi ürünlerin birden fazla kullanılması ve böylece tüketiciler tarafından daha az satın alınması yolu ile atık azaltımı gerçekleştirilebilmektedir (Öztürk, 2010a).

2.2.2 Yeniden kullanım

Bir ürünün kullanıldıktan sonra tüketici tarafından ilk kullanım amacıyla veya başka bir amaçla tekrar kullanılması yeniden kullanım olarak ifade edilir. Bu açıdan bakıldığında yeniden kullanımın yaygınlaşmasının ancak toplumsal bilincin artmasıyla olacağı söylenebilir. Alışveriş sırasında alınan ürünlerin konduğu poşetlerin evdeki çöpleri koymak için kullanılması, okunan gazete ve dergilerin ocakta ateş yakmak için kullanılması yeniden kullanıma örnek olarak verilebilir (Vesilind ve diğ., 2002).

2.2.3 Geri dönüşüm ve biyolojik arıtma

Geri dönüşüm, KKA içindeki geri dönüştürülebilir maddelerin ayrılarak üretime döndürülmesini sağlama işlemidir. Etkin bir geri dönüşüm sayesinde önemli miktarda hammadde kazancı sağlanabilir (Öztürk, 2010a). Bu yolla hem sınırlı olan hammadde kaynakları korunurken hem de ekonomik anlamda önemli bir kazanç elde edilebilir. Dolayısıyla sürdürülebilir bir atık yönetiminde geri dönüşümün önemi çok büyüktür.

Atık içerisindeki geri kazanılabilir maddelerin (cam, plastik, metal, kağıt, karton vb.) yüksek bir verimle geri dönüşümünün sağlanabilmesi için kaynağında ayrı toplamanın yapılması gerekmektedir. Bu konuda toplumun bilinçlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Geri kazanılabilir maddelerin karışık olarak toplanması durumunda ayrıştırılmaları zorlaşacağı için büyük maddi kayıplar yaşanabilmektedir. Eğer kaynağında ayrı toplama yapılamıyor ise yerleşim yerinde oluşan tüm atıklar ön ayıklama ve maddesel geri kazanım tesislerinde (MGT) işlenerek de karışık atık

içindeki geri kazanılabilir maddeler ayrılabilir (Bilgili, 2002). Ancak bu yöntem yeterince ekonomik ve sürdürülebilir değildir.

Biyolojik arıtma KKA içindeki organik kısmın biyolojik olarak arıtılması işlemidir. Biyolojik arıtma kompostlaştırmadaki gibi oksijen varlığında veya biyometanizasyondaki gibi oksijensiz ortamda gerçekleştirilebilir.

2.2.3.1 Kompostlaştırma

Kompostlaştırma ile katı atık içindeki mutfak atıkları, park/bahçe atıkları ve atıksu arıtma tesislerinden atılan atık çamurlar biyolojik işlemler ile kararlı ve ekonomik değer taşıyan bir ürün haline getirilebilmektedir. Proses sonunda elde edilen ürün toprak şartlandırıcısı olarak piyasaya sunulabilmektedir. Ticari olarak kullanılan kompostlaştırma teknolojileri; aktarmalı yığın, havalandırmalı statik yığın ve reaktörde kompost yöntemleridir (Karakaya, 2008).

2.2.3.2 Biyometanizasyon

KKA içindeki organik kısmın anaerobik koşullar altında çürütülmesi işlemine biyometanizasyon adı verilmektedir. Bu işlem sonunda oluşan gazda metan ve CO₂, az miktarda ise H₂S, NH₃ ve diğer gazlardan bulunmaktadır (Vesilind ve diğ., 2002).

Biyometanizasyon sonucunda ortaya çıkan metan gazı uygun şartlar altında enerjiye çevrilerek önemli boyutlarda ekonomik kazanç sağlanabilmektedir. Elde edilen metan gazı bulunduğu tesisteki işletme maliyetini önemli ölçüde düşürebilmektedir. Bu konudaki bir çalışmaya göre bir biyometanizasyon tesisinden elde edilen biyogazın tesisteki enerji maliyetlerini %28 oranında azaltabildiği görülmüştür (Stenstrom ve diğ., 1981).

2.2.4 Termal arıtma

Yakma, özellikle atıkların düzenli depolanması için yeterli arazi bulunmayan ülkelerde yaygın olarak kullanılan bir atık bertaraf metodudur. Yakma sonucu atık hacminin onda bire düşmesi sağlanabilmektedir. Proses sonucu üretilen enerjinin buhar ve/veya elektrik olarak geri kazanımı mümkün olmaktadır (Öztürk, 2010a).

Atıkların yakılarak bertaraf edilmesi geçmiş yıllarda da bazı ülkelerde uygulanmıştır. Ancak yakma işleminin uygun bir şekilde yapılmaması ve yakma sonucu oluşan emisyon ile küllerin yeteri kadar kontrol edilmemesi nedeniyle yakma tesisleri

toplum tarafından fazla kabul görmemiştir. Günümüzdeki yakma tesisleri ise çok daha iyi işletilmektedir. Yakma sonucu oluşan küllerin ve emisyonun çevreye verebileceği olumsuz etkiler, gelişen teknoloji ile en aza indirilmiştir. Bu nedenlerden ötürü çevre standartlarının çok yüksek olduğu bazı Avrupa ülkelerinde ve Japonya’da bile yakma tesislerinin sayısı oldukça artmıştır. Sahip olduğu yüksek kalite standartları ve yakma prosesinin güvenilirliği nedeniyle eskiden yakma tesisleri olarak adlandırılan bu tesisler günümüzde atıktan enerji tesisleri (waste to energy facilities) olarak adlandırılmaktadır (Tchobanoglus ve Kreith, 2002).

Avrupa’daki yakma tesislerinin KKA bertarafı içindeki katkısı ülkeden ülkeye değişiklik göstermektedir. Avrupa’nın en gelişmiş ülkelerinden biri olan İsviçre’de KKA bertarafının neredeyse tamamı yakma tesislerinde gerçekleştirilmektedir. Yakma tesislerinin KKA bertarafı içindeki katkısı Lüksemburg’da %95, Danimarka’da %75 ve Fransa’da %45 mertebelerindedir (IPCC, 2000). Çizelge 2.1’de Avrupa’daki bazı ülkeler için yakma tesislerinin durumu verilmektedir.

Çizelge 2.1 : Bazı Avrupa ülkelerinde yakma tesislerinin KKA bertarafı içindeki durumu (IPCC, 2000).

Ülke	Tesis Kapasitesi (milyon ton/yıl)	KKA bertarafı içindeki katkısı (%)	Tesis Sayısı
Avusturya	0,513	20	3
Belçika	2,24	35	24
Danimarka	2,31	75	30
Fransa	11,33	45	225
Almanya	14	32	59
İtalya	1,9	7	28
Lüksemburg	0,125	95	1
Hollanda	3,15	27	10
İspanya	0,74	5	14
İsveç	1,86	40	21
İsviçre	2,84	100	30
İngiltere	3,67	2	2
AB Toplamı	42,41	-	449

Avrupa ülkelerinin aksine ABD’de yakma tesislerinin toplum tarafından kabul edilebilirliği aynı ölçüde artmamaktadır. Yeni teknolojilerin gelişmesi ve ülkedeki karar vericilerin destekleri ile bu tesislerin gelecekte atık bertarafında önemli bir paya sahip olacağı düşünülmektedir (Tchobanoglus ve Kreith, 2002). Bununla birlikte 2000 yılında ABD’de oluşan KKA’nın %28’ine tekabül eden 165.000 ton/gün KKA’nın yakma tesislerinde bertaraf edildiği belirtilmiştir (EPA, 1996).

Atıkların yakılarak bertaraf edilmesinde en önemli kısıtlardan biri atığın ısı değeri ve su muhtevasıdır. Enerji geri kazanımlı kütleli yakma için KKA'nın ortalama ısı değerinin 1.600 kcal/kg civarında olması gerekmektedir (Öztürk, 2010a). Atığın yeterli ısı değere sahip olmaması halinde yakmaya uygun hale getirilmesi için ikincil bir yakıt gereksinim duyulmaktadır. Böyle bir durum yakmanın ekonomik olmamasına neden olacağı için tercih edilmemektedir (Bilgili, 2002).

KKA'nın ısı değeri ülkelerin gelişmişlik düzeyinin bir ölçüsüdür. Ülkelerin gelişmişlik düzeyi arttıkça KKA'nın ısı değeri artmaktadır. Örneğin İsviçre'deki KKA'nın ortalama ısı değeri 2.150-3.580 kcal/kg arasında iken, Çin'deki KKA'nın ortalama ısı değeri ise 600-1.200 kcal/kg arasındadır (IPCC, 2000).

Yakma sistemleri genel olarak kütleli yakma ve ATY (atıktan türetilmiş yakıt) sistemleri olmak üzere ikiye ayrılır. Kütleli yakma sistemlerinde yakma tesisine alınan KKA karışık olup hiçbir ön işleme tabi tutulmadan prosese sokulmaktadır. ATY sistemlerinde yakma fırınına beslenen atık ise çeşitli ön işlemlerle içerdiği yanmayan kısımlardan ayrılarak ısı değeri daha yüksek bir atık haline getirildikten sonra prosese sokulmaktadır (Vesilind ve diğ., 2002).

Birçok olumlu özelliği bulunmasına rağmen yakma tesislerinin yüksek yatırım ve işletme maliyetine sahip oluşu, işletilmelerinin zor olması ve Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde oluşan KKA'nın yüksek su muhtevası ve düşük ısı değere sahip olması nedeniyle yakılmaya uygun olmaması bu tesislerin olumsuz özellikleri arasında gösterilmektedir. Yakma tesislerinden kaynaklanan taban külü, uçucu kül ve baca gazı emisyonları da çevre açısından dikkatle izlenmesi gereken hususlardır (Öztürk, 2010a).

2.2.4.1 Yakma tesisi emisyonları

KKA yakma tesislerinden kaynaklanan emisyonlar iki şekilde sınıflandırılabilir. Birinci sınıflandırmada emisyonlar partiküler madde (PM) ve gaz kirleticiler olmak üzere sınıflandırılırken diğer sınıflandırmada ise emisyonlar birincil ve ikincil kirleticiler olarak sınıflandırılmaktadır. Birincil kirleticiler yakma prosesinin ürünleri iken ikinci kirleticiler, birinci kirleticilerin atmosferde bir takım değişimler geçirmesi sonucu oluşurlar (Öztürk, 2010a).

Yakma tesislerindeki baca gazı emisyonlarının başlıcaları aşağıda verilmektedir (Öztürk, 2010; EPA, 1996):

- PM
- CO₂, CO
- H₂O, H₂
- Metaller (civa hariç partiküler madde formunda)
- Asidik gazlar (HCl, SO₂)
- NO_x, NH₃, N₂
- SO₂, SO₃, H₂S
- Toksik organikler

Yakıt olarak KKA'nın kullanıldığı tesislerde baca gazı emisyonları KKA içeriği, proses koşulları ve baca gazı arıtma sistemine göre değişiklik göstermektedir. Çizelge 2.2'de KKA yakan bir kütleli yakma tesisinden kaynaklanan arıtılmamış baca gazına ait emisyon faktörleri verilmektedir (EPA, 1996).

Çizelge 2.2 : Arıtılmamış baca gazı emisyon faktörleri (EPA, 1996).

Kirletici	Emisyon Faktörü (kg/ton atık)
PM	12,6
Arsenik	2,14x10 ⁻³
Kadmiyum	5,45 x10 ⁻³
Krom	4,49 x10 ⁻³
Civa	2,80x10 ⁻³
Nikel	3,93x10 ⁻³
Kurşun	0,107
SO ₂	173
HCl	3,20
NO _x	1,83
CO	0,232
CO ₂	985

Çizelge 2.2'de verilen emisyon faktörlerinden CO₂ emisyon faktörü, sera gazı emisyonu hesabında en önemli bileşendir. ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) (1996) CO₂ emisyon faktörü hesabında yakma tesisinde yakılacak KKA'nın %26,8 oranında karbon içerdiğini kabul etmiştir.

2.2.5 Düzenli depolama

Atıkların düzenli depolanması atık hiyerarşisinde en alt sırada yer almakla birlikte mutlaka bulunması gereken bir atık yönetim bileşenidir. Önceki bölümlerde bahsedilen atık yönetimi bileşenlerinin uygulanmadığı durumlarda atıkların düzenli depolama tesislerinde bertaraf edilmesi kaçınılmazdır. Birçok kez geri dönüşümü

yapılan bazı atıkların nihai ömrü tamamlandığında geri dönüşümü artık imkansız hale gelir ve bu atıkların depolanması gerekir (Tchobanoglous ve Kreith, 2002).

Atıkların düzenli depolanması, farklı alanlardan birçok uzmanın beraber çalışmasını gerektiren detaylı bir mühendislik uygulamasıdır. DDT’lerde düzensiz depolamanın aksine, atıklar belli bir tekniğe göre depolanmaktadır. DDT’lerde depo tabanında ve yüzeyinde kil, geomembran ve geotekstil gibi malzemelerle geçirimsizlik teşkil edilmektedir. Bunun yanı sıra oluşan depo gazı ve sızıntı suyunun yönetimi de düzenli depolama tesislerinin işletilmesinde dikkat edilmesi gereken başlıca hususlardır.

2.3 Birim Atık Üretimi ve Atık Üretim Hızı Artışı

Atık yönetimi sırasındaki faaliyetler nedeniyle oluşacak sera gazı emisyonu, atık üretimi hızı ve atık bileşenlerinin toplam atık içerisindeki yüzdesi ile yakından ilgilidir. Birim (kişi başına) atık üretimi genel olarak bir ülkenin gelişmişlik düzeyiyle doğru orantılı olup gelişmişlik düzeyi arttıkça oluşan atık miktarı da artmaktadır. Benzer şekilde aynı şehirde yüksek gelir grubundaki insanların yaşadığı bölgeler ile orta ve düşük gelir grubundaki insanların yaşadığı bölgelerdeki atık üretim miktarları da farklılık göstermektedir (Öztürk, 2010a). Ancak bunun aksi şekilde, orta ve yüksek gelire sahip ülkelerde refah seviyesi arttıkça düzenli depolanmaya giden atık miktarı azalmaktadır (Mihelcic ve Troschinetz, 2009). Bunun nedeni olarak refah seviyesi yüksek olan ülkelerde geri dönüşüm, tekrar kullanım gibi atık oluşumunu azaltıcı uygulamaların daha yaygın ve bilinçli bir şekilde yürütülmesi gösterilebilir.

Atık oluşum miktarı ve hızı ülkelerin ve bölgelerin gelişmişlik düzeyinin yanı sıra insanların hayat tarzı, hane başına düşen kişi sayısı, mevsimsel ve günlük değişimlere göre de farklılık göstermektedir (Öztürk, 2010; Mihelcic ve Troschinetz, 2009).

Türkiye İstatistik Kurumu’nun (TÜİK) 2010 yılı Belediye Atık Temel Göstergelerine göre Türkiye’de 2010 yılında belediye sınırları içinde toplanan KKA miktarı 25.277.000 ton/yıl olmuştur. Bu değere kırsal bölgelerde oluşan atık miktarı dahil değildir. Bu verilere göre kişi başı ortalama atık üretimi 1,14 kg/N.gün olarak

gerçekleşmiştir. Yaz ve kış mevsiminde kişi başı ortalama atık üretimi ise sırasıyla 1,15 kg/N.gün ve 1,10 kg/N.gün olarak gerçekleşmiştir.

Arslancan ve diğ. (2005) yaptığı çalışmaya göre hafriyat ve yıkıntı dahil olmak üzere Türkiye'deki toplam KKA üretimi 2003 verilerine göre yaklaşık olarak 30.878.473 ton/yıl'dır. Hükümetler Arası İklim Değişimi Paneli (IPCC)'nin 2006 tarihli raporuna göre ise Türkiye'deki atık üretim hızı 0,50 ton/N.yıl (1,37 kg/N.gün) civarındadır.

Avrupa Birliği'nde (AB) ortalama KKA üretimi 0,45-0,70 ton/N.yıl (1,23-1,92 kg/N.gün) olarak verilmektedir (Rinne ve diğ., 2005). Diğer bir çalışmada AB için ortalama KKA üretimi 1,51 kg/N.gün, ABD için ise 2,08 kg/N.gün olarak verilmiştir (Mihelcic ve Troschinetz, 2009).

3. KATI ATIK DEPOLAMA ALANLARI

3.1 Katı Atık Depolama Alanlarının Sınıflandırılması

Depolama alanları, atık depolama tekniği ve mühendislik çalışması düzeyine göre düzensiz depolama alanları ve düzenli depolama alanları olmak üzere 2 sınıfta incelenebilir. Düzenli depolama alanları ise konvansiyonel depolama (enerji geri kazanımsız) ve mühendislik çalışması yapılmış depolama alanları (enerji geri kazanımlı) olarak değerlendirilebilir (Manfredi ve diğ., 2009).

3.1.1 Düzensiz depolama alanları

Bu tür atık depolama alanlarında hiçbir mühendislik çalışması yapılmaksızın atık depolaması yapılır. Sahadan kaynaklanan gaz emisyonlarının ve sızıntı suyunun kontrolü söz konusu değildir. Atıkların üzeri herhangi bir örtü ile kapatılmaz.

Düzensiz depolama alanlarında atık içerisindeki organik maddelerin bozunması sonucu oluşan depo gazı doğrudan atmosfere karışır. Atmosfere salınan gaz içindeki karbonun kaynağı çöp sızıntı suyu içerisindeki ayrışabilir organik karbon (DOC) ile depo gazı içindeki metan ve CO₂'dir. Depo gazı içerisinde bulunan uçucu organik bileşikler (VOC) de küresel ısınmaya neden olmaktadır. Bu tür gazlara örnek olarak kloroflorokarbon (CFC) verilebilir. (Manfredi ve diğ., 2009).

3.1.2 Düzenli depolama tesisleri (DDT)

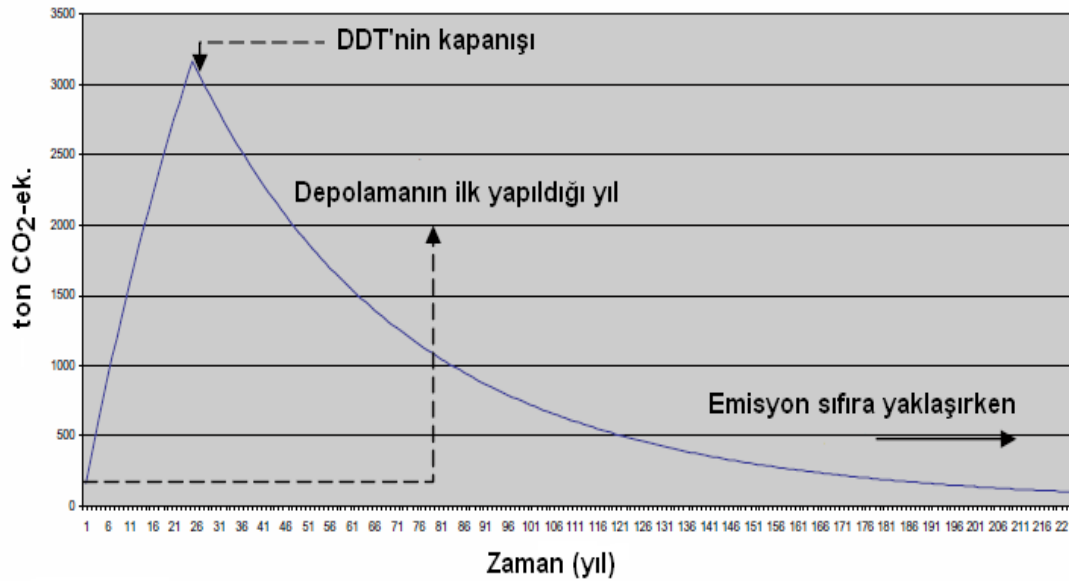
Atık yönetimi hiyerarşisinde en alt sırada yer almasına rağmen, halen Dünya genelinde en yaygın olarak uygulanan atık bertaraf yöntemi düzenli depolamadır. Atık yönetiminde atık azaltma, geri dönüşüm, kompost, enerji ve madde geri kazanımı işlemleri uygulansa dahi belli bir miktar atığın depolama alanlarına gönderilmesi kaçınılmazdır. Bu nedenle katı atık düzenli depolama tesislerinin yapım aşaması ve işletilmesi, çevrenin ve halk sağlığının korunması açısından çok önemlidir.

Düzenli depolama metodu, katı atıkların çevreye zarar vermeyecek ve insan sağlığını riske sokmayacak bir şekilde arazide kontrollü olarak depolanmasıdır. DDT'lerin planlanması ve tasarımında bilimsel, mühendislik ve ekonomik prensipler göz ardı edilmemelidir. Düzenli depolamada uyulması gereken başlıca prensipler şunlardır (Küçükgül, 1999):

- Katı atıkların toprak örtüsü ile düzenli olarak kaplanması
- Sıkıştırma, eğim verme ve daha sonra bitki örtüsü kullanımı
- Yüzeyden akan suların drenajı
- Yeraltı ve yerüstü sularını korumak için kontrol sistemleri

Düzenli depolamanın ömrü iki kısma ayrılır (Lou ve Nair, 2009):

- İşletme süreci: Sera gazı emisyonunun büyük kısmı, biyolojik bozunmanın çok fazla olduğu bu aşamada ortaya çıkar.
- İşletme (kapatma) sonrası: Kapatma sonrası sera gazı salımı uzun yıllar devam edebilir. Şekil 3.1'de bir düzenli depolama alanındaki biyogaz oluşumunun yıllara göre değişimi verilmektedir.



Şekil 3.1 : Tipik bir düzenli depolama alanında yıllara göre oluşan biyogaz miktarı (Lou ve Nair, 2009).

3.1.2.1 Konvansiyonel depolama alanları

Konvansiyonel depolama alanlarında çöp sızıntı suyu ve depo gazı çeşitli tekniklerle toplanır ve sürekli olarak kontrol altında tutulur. Gaz toplama sistemleri, oluşan depo gazının arıtılması, yakma bacalarında yakılması, örtü toprağı ile emisyonun

azaltılması konvansiyonel düzenli depolama tesislerinin özellikleridir. Bu tip DDT'lerin konvansiyonel olarak adlandırılmasının nedeni sızıntı suyu geri devri, ekstra su ilavesi ve havalandırma gibi işlemlerle organik madde ayrışmasının hızlandırılmamasıdır (Manfredi ve diğ., 2009).

Konvansiyonel DDT'lerde depo gazının uzaklaştırılması, gazın gaz yakıcılar (flare) yakılması veya metanın yüzeydeki pasif oksidasyonu ile yapılır. Depo gazı toplama sistemlerinin verimi, kullanılan teknik ve çevre koşullarına göre farklılık gösterebilir. Aktif gaz toplama sistemleri her zaman atmosfere daha az gaz emisyonu verilmesini sağlayabilir. Bu yüzden yüzeyde pasif oksidasyon ile de elde edilecek verim artırılabilir (Manfredi ve diğ., 2009).

3.1.2.2 Mühendislik çalışması yapılmış depolama alanları

Bu tip sahalarda konvansiyonel DDT'lere göre atığın daha hızlı ve verimli bir şekilde bozunmasını sağlamak amacıyla farklı teknikler kullanılmaktadır. Depolama alanının biyoreaktör, sızıntı suyu geri devirli biyoreaktör (flushing-bioreactor) veya yarı aerobik DDT olarak işletilmesi bu yöntemler arasında gösterilebilir. Bu yöntemlerle konvansiyonel depolama alanlarına göre ilk yıllarda daha yüksek gaz üretimi sağlanabilir (Manfredi ve diğ., 2009).

Biyoreaktör gibi işletilen DDT'lerde depolama alanına sızıntı suyu geri devri yapılabilmektedir. Sızıntı suyu geri devri atıktaki su muhtevasının yüksek tutulmasını ve bakteriyel aktivite için gerekli olan besi maddesi miktarının sürekli olarak sağlanabilmesini sağlar. Geri devirli biyoreaktör gibi işletilen DDT'lerde ise sızıntı suyu geri devri ile beraber bir miktar su da sahaya geri devrettirilir. Böylelikle belli bir miktar çözünabilen kirletici içeriğin sahadan uzaklaştırılması sağlanır. Bu yol ile özellikle aşırı miktardaki besi maddesinin bir kısmı giderilebilir (Manfredi ve diğ., 2009).

Yarı aerobik DDT'lerde ise anaerobik ve aerobik bozunmanın sırasıyla gerçekleşmesi sağlanır. Anaerobik faz metan verimi çok düştüğü zaman hava enjeksiyonu yapılarak durdurulur ve bunun ardından başlatılan aerobik fazda atık stabilizasyonu hızlı bir şekilde gerçekleştirilir (Manfredi ve diğ., 2009).

3.2 Sızıntı Suyu

Sızıntı suyu, suyun depo alanı boyunca süzülmesi ile oluşur. Bu sıvıların kaynağı, yağmur suları, atığın nem içeriği ve depo alanına dökülen atıklardaki diğer sıvılar ve ayrışmanın yan ürünleridir. Sızıntı suyunun kimyasal ve biyolojik özellikleri depo alanında depolanan atıkların yapısına ve ayrışmanın derecesine bağlıdır. Yağış, sıcaklık, su muhtevası, yüzeysel akış, yeraltı suyu hareketleri ve depo alanının yaşı sızıntı suyu miktarını belirler (Özçakıl, 2001).

Çizelge 3.1 : Depo yaşına göre sızıntı suyu özellikleri (Öztürk, 2010a).

Parametre ^{1,2} (mg/L)	1.Yıl	5.Yıl	16.Yıl
pH	5,2 - 6,4	5,0 - 6,6	5,6 - 6,1
KOİ	10.000 – 40.000	8.000	400
BOİ ₅	7.500 – 28.000	4.000	80
TOK	7.300 – 16.350	83 – 9.150	108 – 3.080
NH ₃ -N	56 - 482	36	10
Top-P	25 – 35	12	8
Toplam Katılar	10.000 – 33.000	718 – 18.400	1920 – 5.350
Toplam Uçucu Katılar	5.350 – 20.330	124 – 10.300	770 – 3.300
Alkalinite	600 - 800	1.330	70
Klorür	620 – 1.880	5,3 - 730	115 - 193
Cd	-	<0,05	<0,05
Mn	75 - 125	0,06	0,06
Cu	-	<0,5	<0,5
Fe	210 - 325	6,3	0,6
Pb	-	0,5	1
SO ₄ ²⁻	400 - 650	2	2
Zn	10 - 30	0,4	0,1

¹pH birimsizdir.

²Alkalinitenin birimi mg/L CaCO₃'tür.

Sızıntı suyu özellikleri depo yaşına göre büyük farklılıklar göstermektedir. Sızıntı suyu özelliklerinin depo yaşı ile değişimi Çizelge 3.1'de verilmektedir (Öztürk, 2010a). Sızıntı suyu kalitesi; katı atık bileşimi, depo yaşı, depo alanının hidrojeolojik durumu, depo içindeki fiziksel, kimyasal ve biyolojik aktiviteler, katı atıktaki su miktarı, ısı, pH, redoks potansiyeli, stabilizasyon derecesi, katı atık depolama yüksekliği, depolama sahasının işletilmesi ve sahanın meteorolojik şartlarına göre değişir. Bu faktörlerin en önemlisi ise atık bileşimidir. Organik ve inorganik atıkların geçirdikleri biyolojik, kimyasal ve fiziksel süreçler genel olarak sızıntı suyu karakterini belirler. Yüksek miktarda organik madde içeren atıklar için en önemli dönüşüm süreci biyolojik proseslerdir. İnorganik atıkların çözünürlüğü de sızıntı suyu karakterinin belirlenmesinde önemlidir. Atık bileşenleri ve reaksiyon ürünleri

depo gövdesi içinden süzülerek sızıntı suyu içinde çözünmüş olarak veya gaz halinde dışarı çıkar. Atık bileşenlerin miktarının zamanla azalması veya tükenmesi, redoks potansiyeli, pH, sülfürler ve iyonik kuvvet gibi kimyasal etkilerden dolayı da sızıntı suyu karakteri zamanla değişmektedir (Gülşen, 2009).

1 kg atık 0,09 litreden 0,16-0,27 litreye kadar su tutabilir. Bu değer 0,40-0,65 litreye kadar çıkabilir. Depo içerisindeki atıklar su tutamamaya başladıkları zaman sızıntı suyu oluşumu başlamaktadır (Özçakıl, 2001). İstanbul'daki düzenli depolama alanlarından açığa çıkması beklenen sızıntı suyu miktarı için ilk 5 yılda 2 m³/ha.gün, daha sonraki yıllarda ise 5 m³/ha.gün değeri esas alınmıştır. Akdeniz iklim kuşağında sızıntı suyu oluşumu için 0,15-0,20 m³/ton katı atık değerleri verilmektedir (Gülşen, 2009).

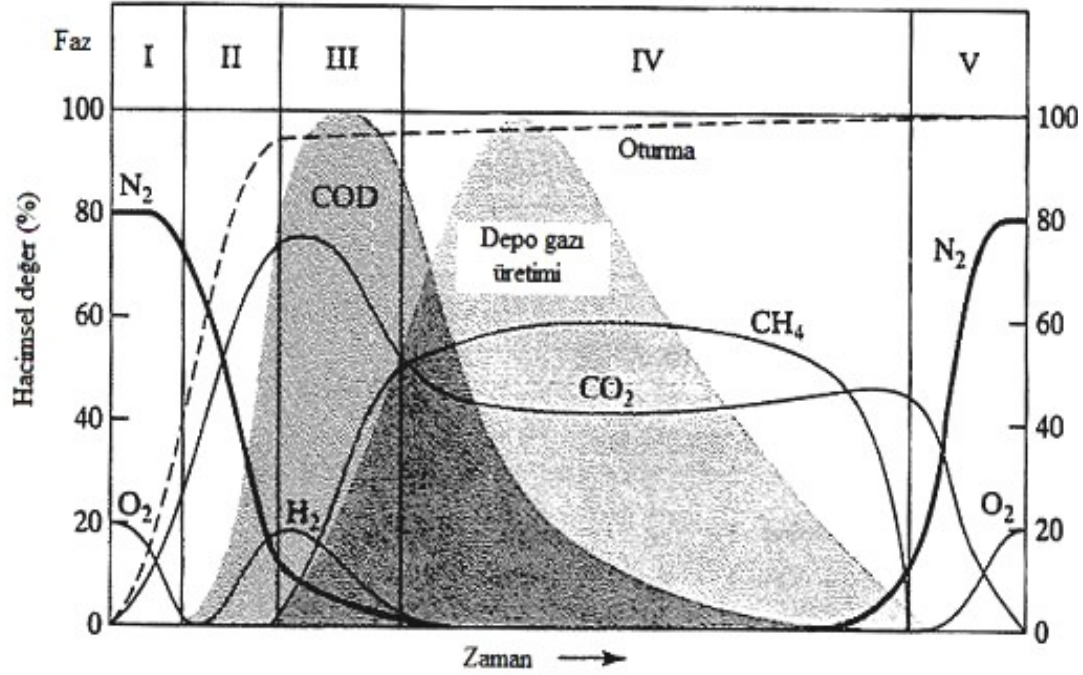
3.3 Depo Gazı

1990'ların ortasına dek atık yönetimi, halk sağlığı ve güvenliği ile düzenli depolama alanlarının iyileştirme ve çöp gazının kullanılması olarak anlaşılmaktaydı (Lou ve Nair, 2009). Ancak sonraki yıllarda atık işleme sürecinde oluşan sera gazlarının küresel ısınmaya önemli ölçüde katkı sağladığı görülmüştür. Bu nedenle son yıllarda atık politikası halk sağlığının korunmasının yanı sıra sera gazlarının azaltılması konusunu da içermektedir.

Depo sahasındaki atıklar kütlenin korunumu kanununa göre dönüşüme uğrarlar. Katı atık içerisinde çok çeşitli maddeler bulunmaktadır. Çeşitli bileşenler zaman boyunca ayrışır. Kalan atık kütlesi sızıntı suyu oluşturmaya ve gaz üretmeye devam eder. Denklem (3.1) gibi basit bir formülle katı atıktaki ayrışmanın ne şekilde olduğu ifade edilebilmektedir (Özçakıl, 2001).

$$\begin{aligned} \text{Depolanan Katı Atık} &= \text{Sızıntı Suyu Olarak Ayrılan Kütle} + \text{Gaz Olarak} \\ &\text{Ayrılan Kütle} + \text{Kalan Atık} + \text{Diğer Ürünlere Dönüşen Kütle} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Depo gazı oluşumu birbirini takip eden 5 fazdan oluşmaktadır (Öztürk, 2010a). Şekil 3.2'de depo gazı oluşum safhaları verilmektedir.



Şekil 3.2 : Depo gazı oluşum safhaları (Öztürk, 2010a).

1. Faz: İlk Alışma Dönemi: Bu safha, atığın ilk kez depo hücresi içerisine yerleştirildiği ve atık kütlesi bünyesinde su miktarının arttığı dönemdir. Bu safhada yeterli mikrobiyal topluluğun gelişebilmesi için gerekli uygun şartların oluşmasına imkan veren bir alışma süreci gerçekleşir.
2. Faz: Geçiş Dönemi: Bu dönemde, depolanan atık yığınının bünyesindeki su muhtevası arazi kapasitesinin üzerine çıkar: ortam şartları aerobikten anoksik ve anaerobiğe dönüşerek çözünmüş oksijen seviyesinde hızlı bir düşüş gözlenir. Depolanan atık bünyesindeki serbest O_2 'nin tükenmesi ile elektron alıcılar oksijen yerine, sırasıyla nitrat, sülfatlar ve CO_2 olur. Bu kademenin sonunda, sızıntı suyunda ölçülebilir değerlerde KOİ ve Uçucu Yağ Asitleri (UYA) gözlenir. Birinci ve ikinci kademe sonunda, kompleks organik atıkların hidrolizi süreci gerçekleşmiş olur.
3. Faz: Asit Üretimi: Bu kademedede, hidroliz kademesi ürünleri, anaerobik mikrobiyolojik süreçlerle parçalanarak uçucu yağ asitlerine dönüştürülürler. Ortamdaki yüksek seviyede UYA varlığının bir sonucu olarak, pH düşer ve metal iyonları seviyesi yükselir. Bu kademedeki hakim mikrobiyal biyokütle asit bakterileri olup, biyokütle sentezi için gerekli substrat (KOİ) ve besi maddeleri (azot, fosfor ve mikrobiy elementleri) ortamdaki belli oranda çekilir. Bu kademedede, depo gazındaki CO_2 oranı (>%50) ve sızıntı suyundaki UYA seviyesi yüksektir.

4. Faz: Metan Üretimi: Bu safhada, 3. kademe sonunda asetat, H_2 ve CO_2 'ye kadar parçalanmış uçucu yağ asitleri son ürünleri, iki farklı grup metan arkeleri tarafından CH_4 ve CO_2 'ye dönüştürülür. Bu iki gruptan ilki asetat kullanan metanojenler olup, asetatın parçalanması yoluyla CH_4 ve CO_2 üretirler. Diğer grup olan H_2 kullanan metanojenler, H_2 ve CO_2 'yi sentezleyerek CH_4 üretirler. Dördüncü kademe sonunda, üretilen metanın yaklaşık 2/3'ü asetattan, 1/3'ü ise H_2 ve CO_2 'den gelir. Bu safhada, ortamdaki SO_4^{2-} ve NO_3^- sırası ile H_2S , HS^- ile NH_4^+ , NH_3 'e indirgenir: yükselen pH bikarbonat tampon sistemi ile kontrol edilir. pH'daki artma, metanojenler için uygun çevre şartları sağlar ve ağır metaller de kompleks oluşumu ve çökeltme yoluyla sızıntı suyundan uzaklaştırılır. Dolayısıyla metan üretimi safhası, biyogazdaki yüksek CH_4 oranı (%55-60) ve sızıntı suyunda düşük UYA ve ağır metal seviyesi ile karakterize edilir.

5. Faz: Olgunlaşma Dönemi: Düzenli depolama alanındaki biyokimyasal atık stabilizasyonu sürecinin nihai kademesi, ortamdaki besin maddeleri ve kullanılabilir substratın kısıtlı hale geldiği ve biyolojik aktivitenin iyice yavaşladığı olgunlaşma (yaşlı depo) dönemidir. Bu dönemde gaz üretimi iyice azalır, sızıntı suyu kirlilik seviyesi (özellikle BOI_5) çok düşer ve oksitlenmiş azot bileşikleri (NO_3^-) oluşmaya başlar. Olgunlaşma döneminde, yavaş ayrışan kararlı organik maddeler ayrıştırılarak humik maddeler üretilir. Bu dönem genelde, atık hücresi kapandıktan itibaren 10~15 yıl sonra gerçekleşir.

Depo gazının özellikleri ve tipik depo gazı bileşimi Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'de verilmektedir.

Çizelge 3.2 : Bazı depo gazı özellikleri (Tchobanoglus ve Kreith, 2002).

Özellik	Değer
Nem muhtevası	Doygun
Özgül ağırlık	1,02 - 1,06
Sıcaklık ($^{\circ}C$)	68 - 88
Isıl değeri (kW/m^3)	14.900 – 20.500

3.3.1 Depolama alanlarından kaynaklanan gaz oluşumunun modellenmesi

Depolama alanlarından kaynaklanan gaz emisyonlarının hesabı ile ilgili çeşitli matematiksel modeller geliştirilmiştir. EPA (2005) gaz oluşumu ile ilgili aşağıdaki modelleri ortaya koymuştur.

Çizelge 3.3 : Çeşitli kaynaklara göre tipik depo gazı bileşimleri.

Bileşen	Yüzde (kuru hacim) (Tchobanoglous ve Kreith, 2002)	Yüzde (kuru hacim) (Öztürk, 2010a)	Yüzde (kuru hacim) (Lee, 2008)
Metan	45 - 60	45 - 58	45 - 48
Karbondioksit	40 - 60	35 - 45	35 - 45
Azot	2 - 5	1 - 20	1 - 20
Oksijen	0,1 - 10	1 - 5	1 - 5
Sülfür, merkaptan ve diğer org. bileşikler	0 - 1	1 - 3	1 - 3
Amonyak	0,1 - 1	-	-
Hidrojen	0 - 0,2	1 - 5	1 - 5
Karbonmonoksit	0 - 0,2	-	-
Su buharı	-	1 - 5	-
Eser bileşenler	0,01 - 0,6	-	-

3.3.1.1 Sıfırıncı mertebeden model

Bu modelde atık yaşının metan oluşumu üzerine bir etkisi yoktur.

$$Q = \frac{M * L_o}{(t_f - t_o)} \quad (3.2)$$

Burada;

Q = Birim zamanda metan oluşum miktarı (m³/yıl)

M = Atık kütlesi (ton)

L₀ = Birim kütle başına metan oluşum potansiyeli (m³/ton KKA)

t_o = Atık hücresinin kapatıldığı yıl (yıl)

t_f = Metan ölçümünün yapıldığı yıl (yıl)

3.3.1.2 Birinci mertebe kinetiği modeli

Bu modelde atık yaşının metan oluşumuna olan etkisi göz önünde bulundurulmuştur.

Metan oluşumu eksponansiyel olarak azalış göstermektedir.

$$Q = M * L_o * k * \exp [-k * (t - t_o)] \quad (3.3)$$

k = Birinci mertebe hız sabiti (yıl⁻¹)

3.3.1.3 Modifiye birinci mertebe kinetiği modeli

Bu modelde metan oluşum hızı başlangıçta yavaş olup belli bir süre sonra maksimuma ulaşır. Daha sonra eksponansiyel olarak azalış gösterir.

$$Q = M * L_o * \frac{k + s}{s} * [1 - \exp(-s(t - t_o))] * k * \exp(-k(t - t_o)) \quad (3.4)$$

s = Artış fazındaki birinci mertebeden hız sabiti (yıl⁻¹)

3.3.1.4 Çok bileşenli ayrışma kinetiği modeli

Matematiksel olarak birinci mertebeden model ile aynıdır. Aradaki fark ise farklı bozunma katsayılarına sahip atıkların ayrı gösterilmesidir.

$$Q = M * L_o [F_r * k_r * \exp(k_r * (t - t_o)) + F_s * k_s * \exp(k_s * (t - t_o))] \quad (3.5)$$

Burada;

k_r = Hızlı ayrışan atıkların birinci dereceden bozunma katsayısı (yıl⁻¹)

k_s = Hızlı ayrışan atıkların birinci dereceden bozunma katsayısı (yıl⁻¹)

F_r = Atık içindeki hızlı ayrışan atığın oranı (birimsiz)

F_s = Atık içindeki yavaş ayrışan atığın oranı (birimsiz)

3.3.1.5 Scholl Canyon modeli

Bu modelde gecikme fazı ihmal edilir ve metan oluşumunun birinci mertebe kinetikle arttığı kabul edilir. Model aşağıdaki eşitlikten hareket edilerek türetilmiştir.

$$-\frac{dG}{dt} = kG \quad (3.6a)$$

(3.6a) eşitliğindeki G ifadesi t zaman sonunda üretilen metan hacmini (m³) ifade etmektedir. Yukarıdaki eşitliğe çeşitli matematiksel işlemler uygulanarak aşağıdaki nihai eşitlik elde edilir.

$$Q = kG = \sum_{i=1}^n r_i k_i G_{0i} \exp(-k_i * t_i) \quad (3.6b)$$

Burada;

n = atık kabulünün yapıldığı yıl sayısı (yıl)

r_i = toplam atık içinde i bileşeninin oranı (birimsiz)

k_i = i bileşeninin gaz oluşum hız sabiti (yıl^{-1})

G_{0i} = başlangıçtaki metan oluşum potansiyeli ($\text{m}^3/\text{ton KKA}$)

t_i = i 'inci yılda depolanan atığın bulunduğu hücrenin yaşı (yıl)

3.3.1.6 Palos Verdes modeli

Bu modelde de birinci mertebe kinetiği kullanılmaktadır. Metan oluşumunun iki fazda meydana geldiği kabul edilmektedir. İlk fazda metan oluşumu zamanla eksponansiyel olarak artarken ikinci fazda eksponansiyel olarak azalmaktadır. Her iki fazda oluşan metan hacmi eşit kabul edilir.

Atığın organik kısmının nihai metan verimi aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$L_{0j} = \frac{P_j}{100} L_0 \quad (3.7a)$$

Bu eşitlikte:

L_{0j} = j bileşeninin metan üretim potansiyeli ($\text{m}^3/\text{ton KKA}$)

P_j = j bileşeninin tüm organik atık içindeki oranı (birimsiz)

L_0 = tüm atığın metan üretim potansiyeli ($\text{m}^3/\text{ton KKA}$)

Aşağıdaki eşitlikler de bu model çerçevesinde kullanılmaktadır.

1.Faz için: ($0 < t \leq t_{1/2}$)

$$\frac{dV}{dt} = k_1 V \quad (3.7b)$$

1.Faz için: ($t > t_{1/2}$)

$$\frac{dV}{dt} = -k_2 G \quad (3.7c)$$

Bu son eşitlikte:

V = Başlangıçtan t anına kadar üretilen gaz hacmi (m^3)

G = t süre sonra metan oluşum potansiyeli ($\text{m}^3/\text{ton KKA}$)

k_1, k_2 = Birinci ve ikinci fazlar için gaz üretim hızları (yıl^{-1})

1. Faz için yazılan eşitliğin integrali alınır:

$$V = V_0 \exp(k_1 * t) \quad (3.7d)$$

Bu denklemdeki V_0 başlangıçtaki gaz hacmidir.

1. Faz eşitliği gaz üretimi nihai üretimin yüzde biri olduğu zaman uygulanabilir.

$$(V_0 = G_0/100) \quad (3.7e)$$

1. Fazda olduğu gibi 2. Fazın da integrali alınır:

$$G = \frac{G_0}{2} \exp[-k_2(t - t_{1/2})] \quad (3.7f)$$

Ayrıca $V = G_0 - G$ olduğuna göre:

$$V = G_0[1 - \frac{1}{2} \exp(-k_2(t - t_{1/2}))] \quad (3.7g)$$

3.3.1.7 GASFILL modeli

Bu modelde gecikme fazı bulunmakla beraber, ilk fazda hiperbolik bir artış, ikinci fazda ise eksponansiyel bir azalış vardır. Metan üretimi ile eşit mol sayısında CO_2 üretimi olduğu da kabul edilmektedir. Atığın hızlı ayrışan, orta hızda ayrışan ve yavaş ayrışan olarak ayrılması söz konusudur.

$$Q_j = Q_{pj} \exp[\lambda_j(t - t_{1j})] \quad (3.8)$$

Burada;

Q_j = j bileşeninin birim zamandaki metan üretim hızı ($\text{m}^3/\text{yıl}$)

t_{1j} = j bileşeni için en yüksek metan üretiminin gerçekleştiği zaman (yıl)

Q_{pj} = Birim zamandaki en yüksek metan üretim hızı ($\text{m}^3/\text{yıl}$)

λ_j = sabit (birimsiz)

3.3.1.8 EPA modeli

Depolama alanlarından çıkan toplam biyogaz üretiminin hesaplanması amacıyla EPA tarafından üretilen bir modeldir. Bir depolama alanından çıkan toplam gaz miktarının hesabı için aşağıdaki bilgiler gereklidir.

- Depolama alanının kapasitesi
- Yıllık atık kabul miktarı
- Metan üretim hızı sabiti (k) ve metan üretim potansiyeli (L_0)
- Kaç yıl boyunca atık kabulünün gerçekleştiği

EPA tarafından geliştirilen gaz üretim formülü şu şekildedir.

$$Q = 2 \sum_{i=1}^n k L_0 M_i \exp(-k * t_i) \quad (3.9)$$

Burada;

Q = Düzenli depolama alanından çıkan yıllık toplam gaz emisyonu (m^3)

n = Toplam atık depolama süresi (yıl)

k = Metan üretim hızı ($yıl^{-1}$)

L_0 = Metan üretim potansiyeli (m^3/ton)

M_i = i yılında depolanan atık miktarı (ton)

t_i = t . yılda depolanan atığın yaşı (yıl)

EPA depo gazı üretimi tahmini modelinde,

$L_0 = 140-180 m^3/ton$ KKA

$k = 0,003-0,4 yıl^{-1}$

değerleri verilmektedir. k gaz üretim hızı sabiti, yağışlı bölgelerde 0,1-0,35, orta derecede yağış alan bölgelerde 0,05-0,15, kurak bölgelerde ise 0,02-0,10 aralığında alınmaktadır.

3.3.1.9 Tabasaran ve Rettenberg modeli

Bu modelde bir depolama alanından çıkan toplam biyogaz aşağıdaki gibi formüle edilmiştir.

$$G_t = 1,868 * C_{org} * (0,014\theta + 0,28) * (1 - 10^{-kt}) * M_t \quad (3.10)$$

Burada;

G_t : t. yıla kadar üretilecek toplam depo gazı miktarı (m^3)

k: Depo gazı üretim hızı sabiti ($yıl^{-1}$)

t: Atık kabulüne başlandığı yıldan (başlangıçtan) itibaren geçen süre (yıl)

M_t : t. yılda tesise kabul edilen atık miktarı (t/yıl)

C_{org} : Depolanan KKA'nın TOK değeri (170-200 kg/ton)

θ : Depolama tesisi içindeki sıcaklık (30-35°C)

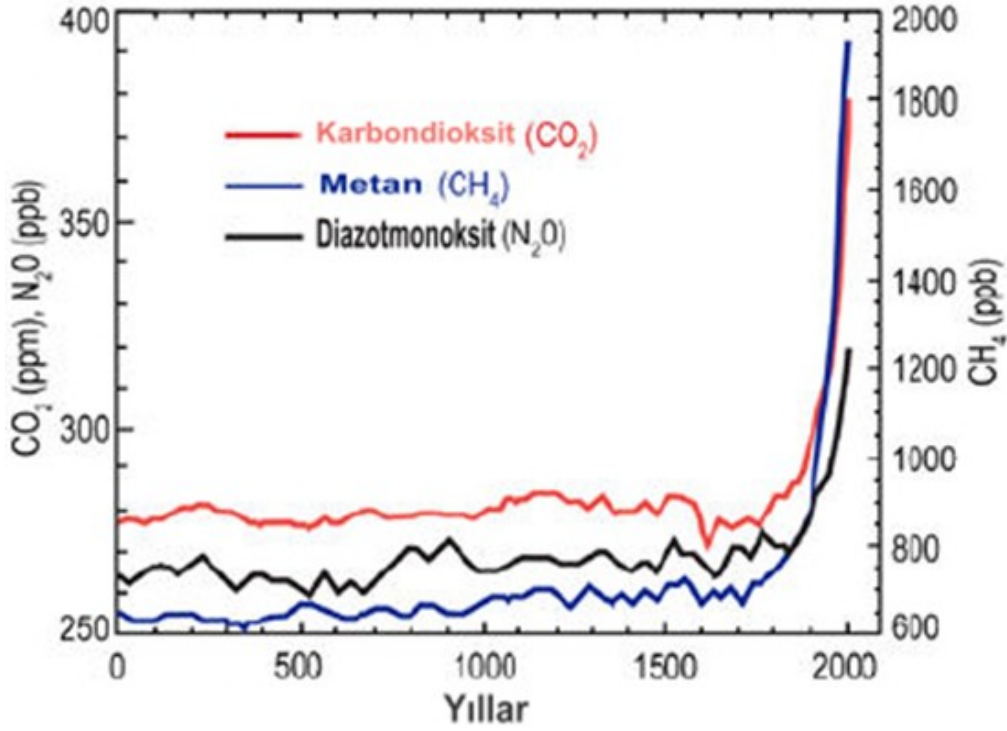
4. SERA GAZI SALIMI

4.1 Sera Etkisi

Dünya oluştuğundan bu yana çeşitli dönemlerde Dünya sıcaklığında periyodik değişimler görülmektedir. Yaklaşık olarak her 100.000 yılda bir Dünya buzul çağına girmektedir. Dünya'daki sıcaklık değişimlerinin Dünya'nın Güneş etrafındaki yörüngesindeki değişimlere ve hava bileşimine bağlı olduğu bilinmektedir. Buzul çağlarının yaşandığı dönemlerde atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunun azaldığı tespit edilmiştir (Tünay ve Alp, 1996). Sera etkisi kısaca, Dünya'ya ulaşan kızılötesi ışımların sera gazları tarafından soğurulması olarak tanımlanmaktadır. Eğer sera gazları olmasaydı Dünya'nın ortalama sıcaklığı yaklaşık olarak -18°C olacaktı. Sera gazlarının etkisiyle Dünya'nın ortalama sıcaklığı 15°C civarındadır. Bu bakımdan sera gazları Dünya için gereklidir (Reay ve diğ., 2007). Sera gazları Dünya etrafında, Dünya'dan ısınlanan ısıyı absorbe ederek ve bir kısmını da atmosfere geri yansıtarak bir ısı tabakası oluştururlar. Bu ısı tabakasının oluşması ile sera olayı meydana gelmektedir (Tünay ve Alp, 1996).

4.1.1 Sera gazları

Başlıca sera gazları CO₂, metan, diazotmonoksit (N₂O), kloroflorokarbonlar (CFC) ve ozon (O₃) olarak sıralanmaktadır. CFC dışındaki gazlar atmosferde doğal olarak bulunan gazlardır. Bu gazların atmosferdeki bileşimi sera olayını doğrudan etkilemektedir (Url-1). Bu gazların dışında atmosferik su da sera etkisi oluşturmaktadır. Ancak sera etkisinin antropojenik (insan) kaynaklı oluşumunda atmosferik suyun bir etkisi yoktur (Aksay ve diğ., 2005). Şekil 4.1'de sera gazlarının zaman içinde konsantrasyonundaki değişim verilmektedir.



Şekil 4.1 : Sera gazları konsantrasyonunun değişimi (Url-1).

Antartik buzullarında hava kabarcıkları içine saklanmış olan CO₂ ile eski devirlerde atmosferde bulunan CO₂ konsantrasyonu hakkında bilgi edinilebilmektedir. Buzullarda saklanmış olan CO₂'nin ölçümü ile sanayi devriminden önceki 160.000 yıllık süreçte atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunun 200-300 ppm arasında olduğu görülmektedir. Sanayi devriminin başlamasından hemen önce atmosferdeki CO₂ konsantrasyonu eski çağlar ile yaklaşık aynı seviyelerdeydi. 19.yy'da ise sanayi devriminin başlamasıyla beraber CO₂ konsantrasyonu önemli ölçüde artmıştır (Aksay ve diğ., 2005). Benzer şekilde atmosferdeki metan konsantrasyonu da son birkaç yüzyılda önemli ölçüde artmıştır. Sanayi devriminin başlamasından önce atmosferdeki metan konsantrasyonu yaklaşık 700 ppb civarında idi. Günümüzdeki metan konsantrasyonu ise 1800 ppb seviyelerine ulaşmıştır (Reay ve diğ., 2007). Çizelge 4.1'de 1750 yılı ile 2003 yılı arasında sera gazı konsantrasyonlarındaki değişim gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 : 1750 ve günümüzde atmosferdeki sera gazı konsantrasyonları (Url-1).

Sera Gazı	1750 Yılı	2003 Yılı	Değişim (%)
CO ₂	280 ppm	376 ppm	34
Metan	710 ppb	1790 ppb	152
N ₂ O	270 ppb	319 ppb	18
CFC-12	0	880 ppt	-

Farklı sera gazlarının atmosferde farklı yarı ömürleri ve farklı radyoaktiviteleri olduğu için her bir gazın küresel ısınma potansiyeli (KIP) farklıdır. Gazların birim kütleleri başına atmosferde absorbe edebildikleri ısı miktarı arttıkça KIP değerleri de artmaktadır. Atmosferdeki farklı gazların KIP değerlerinin belirlenmesinde referans olarak CO₂ alınmaktadır. Bu nedenle KIP rölatif bir ölçüdür. Gazların küresel ısınma potansiyelleri belli bir zaman süresindeki etkileri üzerinden belirtilir. Bu zamanın uzunluğu 20, 100 veya 500 yıl olabilir. Bazı gazların sera gazı etkisi zamanla azalırken, bazı gazların etkisi ise zamanla artmaktadır (IPCC, 2007).

Sera gazlarının KIP değerleri için literatürde verilmiş farklı değerler bulunmaktadır. IPCC (2007) sera gazlarının KIP değerleri ve yarı ömürleri ile ilgili kapsamlı bir liste hazırlamıştır. Çizelge 4.2’de IPCC’nin vermiş olduğu KIP değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.2 : IPCC’ye göre bazı sera gazlarının KIP değerleri ve yarı ömürleri (IPCC, 2007).

Sera Gazı	Yarı Ömür (yıl)	KIP Zaman Aralığı		
		20 yıl	100 yıl	500 yıl
CO ₂	120	1	1	1
Metan	12	72	25	7,6
N ₂ O	114	289	298	153
CFC-11	45	6.730	4.750	1.620
CFC-12	100	11.000	10.900	5.200
CFC-13	640	10.800	14.400	16.400
CFC-113	85	6.540	6.130	2.700
CFC-114	300	8.040	10.000	8.730
CFC-115	1.700	5.310	7.370	9.990
CCl ₄	26	2.700	1.400	435
CH ₃ Br	0,7	17	5	1
CH ₃ CCl ₃	5	506	146	45
HCFC-22	12	5.160	1.810	549
HCFC-123	1,3	273	77	24
HCFC-124	5,8	2.070	609	185
HCFC-141b	9,3	2.250	725	220
HCFC-142b	17,9	5.490	2.310	705
HCFC-225ca	1,9	429	122	37
HCFC-225cb	5,8	2.030	595	181
HFC-23	270	12.000	14.800	12.200
HFC-32	4,9	2.330	675	205
HFC-125	29	6.350	3.500	1.100
HCF-134a	14	3.830	1.430	435
HFC-143a	52	5.890	4.470	1.590
HFC-152a	1,4	437	124	38
SF ₆	3.200	16.300	22.800	32.600

Başlıca sera gazlarının Tünay ve Alp (1996) tarafından verilmiş olan KIP değerleri ise Çizelge 4.3’de verilmiştir.

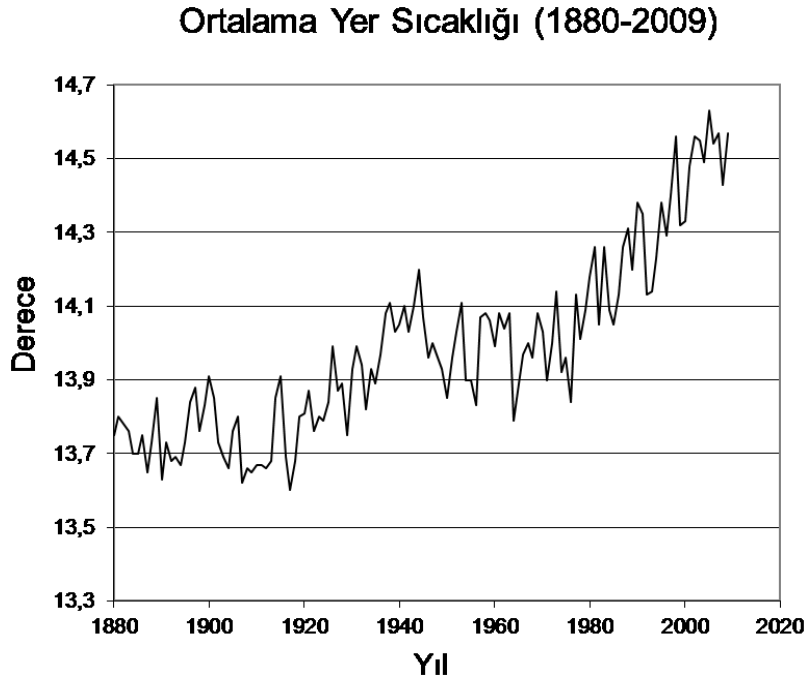
Çizelge 4.3 : Bazı sera gazları ve KIP değerleri (Tünay ve Alp, 1996).

Sera Gazı	KIP
CO ₂	1
CFC'ler	15.000
Metan	25
N ₂ O	230

4.1.2 Küresel ısınma

Küresel ısınma, Aksay ve diğ. (2005) tarafından verilen tanıma göre atmosferin Dünya yüzeyine yakın kısımlarında ortalama Dünya sıcaklığının doğal yollar ile veya insan kaynaklı faaliyetler ile artması olarak tanımlanmaktadır. Buna göre Dünya yüzeyindeki sıcaklık başlıca 4 faktör tarafından kontrol edilmektedir:

- Dünya'nın aldığı güneş ışığı miktarı
- Dünya'nın yansıttığı güneş ışığı miktarı
- Sıcaklığın atmosfer tarafından tutulması
- Su buharının buharlaşması ve yoğunlaşması



Şekil 4.2 : Dünya'nın ortalama sıcaklığının değişimi (Url-3).

Atmosferdeki sera gazı konsantrasyonunun artmasının sonucu olarak Dünya yüzeyinin ortalama sıcaklığı ilk çağlara göre 1,5-4,5°C arasında artmıştır (Url-1). Sıcaklık artışı sadece 20.yy'da ise 0,6 ($\pm 0,2$)°C'yi bulmuştur (Url-2). Yapılan bazı projeksiyonlara göre atmosferdeki CO₂ konsantrasyonu tahmin edildiği ölçüde arttığı

takdirde 21.yy sonunda Dünya'daki ortalama sıcaklık 2010 yılına göre 1,4-5,8°C arasında artacaktır (Reay ve diğ., 2007). Şekil 4.2'de Dünya'nın ortalama sıcaklığında meydana gelen değişim görülmektedir.

Türkiye küresel ısınmadan en fazla etkilenecek ülkeler arasında gelmektedir. Dünya genelinde ortalama sıcaklıkların artmasıyla birlikte çöl kuşağı kutuplara doğru hareket edecek ve bu nedenle Türkiye'nin birçok bölgesinde çölleşme görülecektir. Bununla birlikte topraktaki nem oranı düşecek bu da ekilebilen arazinin azalmasına neden olacaktır. Yapılan projeksiyonlara göre 2030 yılında Türkiye'nin büyük bir kısmının oldukça kuru ve sıcak bir iklimin etkisine girmesi beklenmektedir. Değişen iklim şartlarıyla birlikte 1990'da yılda kişi başına düşen su miktarının 3.070 m³ olduğu Türkiye'de bu miktarın 2050'de 700 ila 1.910 m³ olması tahmin edilmektedir (Aksay ve diğ., 2005).

4.1.2.1 Türkiye'de iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılmasına yönelik mevzuat çalışmaları

Türkiye'de iklim değişikliğinin etkilerinin azaltılması ve sera gazı emisyonunun kontrolüne yönelik olarak Ulusal İklim Değişikliği Strateji Belgesi (2010-2020) hazırlanmıştır. Bu belge kapsamında atık sektörü kaynaklı sera gazı emisyonunun kontrolü ile ilgili kısa, orta ve uzun vadede çeşitli önlemlerin alınması öngörülmüştür. Belgeye göre kısa vadede belediye atıkları ile ilgili mevzuat uyumlaştırma çalışmalarının tamamlanması, orta vadede Atık Eylem Planı kapsamında yeniden kullanım ve geri kazanılan atık miktarının artırılması ile 2012 sonuna kadar oluşan belediye atıklarının %76'sının DDT'lerde bertarafı sağlanacaktır. Uzun vadede ise atık yönetiminde kaynağında azaltma, yeniden kullanım ve geri dönüşümün daha etkin uygulanması, DDT'lere giden biyobozunur atık miktarının azaltılması ve DDT'lerde oluşan depo gazının toplanarak değerlendirilmesi, değerlendirilemiyorsa yakılması öngörülmektedir (Öztürk, 2010b).

AB uyum sürecinde Türkiye'deki atık sektörü mevzuatının uyumlaştırılması kapsamında sera gazı emisyonu azaltımını destekleyen temel direktif ve yönetmelikler Çizelge 4.4'de verilmektedir.

Çizelge 4.4 : Sera gazı azaltımına yönelik AB ve Türkiye’deki yasal çerçeve (Öztürk, 2010b).

AB Mevzuatı	Ulusal Mevzuat
Atık Çerçeve Direktifi	Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik (2008)
Düzenli Depolama Direktifi	Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik (2010)
Ambalaj ve Ambalaj Atıkları Direktifi	Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği (2007)

Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik, atıkların oluşumundan bertarafına kadar insan ve çevre sağlığına zarar vermeden yönetiminin sağlanmasına yönelik genel esasları içermektedir (Öztürk, 2010b).

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, DDT’lere atık kabulü esaslarını, DDT’lerde atık depolanmasına dair teknik esasları, işletme sırasında alınması gereken önlemleri kapsamaktadır. Yönetmelikte 2005 yılı baz alınarak DDT’lere kabul edilecek biyobozunur atık miktarı ile ilgili azaltım hedefleri de verilmektedir. Buna göre yönetmeliğin yürürlüğe girmesinden itibaren (2010 yılı) 5 yıl içinde depolanacak biyobozunur atık miktarı, 2005 yılında üretilen toplam biyobozunur atık miktarının ağırlıkça %75’ine, 8 yıl içinde %50’sine, 15 yıl içinde %35’ine indirilecektir (T.C. ÇOB, 2010).

Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, atık içindeki geri kazanılabilir kısım (cam, plastik, metal, kağıt/karton, ahşap) için 2020 yılına kadar bileşen bazında geri kazanım hedefleri vermiştir. Verilen geri kazanım hedefleri ile AB’ye uyum çerçevesinde yüksek oranlarda ($\geq$ %60) ambalaj atığının geri dönüşümü hedeflenmektedir (T.C. ÇOB, 2011).

4.2 Sera Gazı Emisyonları

Sera gazı salımı doğal ve antropojenik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Antropojenik emisyonlar arasında enerji temini (fosil yakıtların kullanımı), ulaşım, arazi kullanımı değişiklikleri (tarımsal faaliyetler) ve atık sektörü bulunmaktadır.

2009 yılı itibariyle Dünya genelindeki antropojenik faaliyetler sonucu atmosfere verilen sera gazı emisyonu $\sim 29 \times 10^9$ ton CO₂ eşdeğeri olarak gerçekleşmiştir. Bu emisyonun %0,88’u ($\sim 256 \times 10^6$ ton CO₂ eşdeğeri) Türkiye tarafından verilmiştir. Toplam emisyonun %23,6’sını veren Çin ise $\sim 6,8 \times 10^9$ ton CO₂ eşdeğeri ile en fazla sera gazının atmosfere verildiği ülke olmuştur (IEA, 2011).

Türkiye’de kişi başı sera gazı emisyonu 1990 yılında 3,39 ton CO₂ eş./kişi iken 2010 yılında %115’lik artışla 5,51 ton CO₂ eş./kişi olmuştur. 2010 yılı itibarı ile Türkiye’de atık sektöründen kaynaklanan toplam sera gazı salımı ise ~36x10⁶ ton CO₂ eşdeğeri/yıl (~%9) olup, enerji ve endüstri sektöründen sonra 3. sırada yer almaktadır (TÜİK, 2012a).

Türkiye’de sera gazlarının sektörler göre dağılımı Çizelge 4.5’de verilmektedir. Çizelgeden görüldüğü üzere atık sektörü sera gazı emisyonları 1990-2010 döneminde yaklaşık %270 oranında artmıştır.

Çizelge 4.5 : Türkiye’de sektörel sera gazı salımları (TÜİK, 2012a).

Milyon ton CO₂ eşdeğeri	1990	1995	2000	2005	2007	2009	2010
Enerji	132,13	160,79	212,55	241,75	288,69	278,33	285,07
Endüstriyel İşlemler	15,44	24,21	24,37	28,78	29,26	31,69	53,90
Tarımsal Faaliyetler	29,78	28,68	27,37	25,84	26,31	25,70	27,13
Atık	9,68	23,83	32,72	33,52	35,71	33,93	35,83
Toplam	187,03	237,51	297,01	329,90	379,98	369,65	401,92

Atık sektörü kaynaklı emisyonların yaklaşık %50-55’i metan içerikli olup 1990-2010 dönemindeki atık kaynaklı metan emisyonları Çizelge 4.6’da verilmektedir.

Çizelge 4.6 : Türkiye’de atık sektörü metan emisyonları (TÜİK, 2012a).

1000 ton CH₄	1990	1995	2000	2005	2007	2009	2010
Katı Atık Bertarafı	304,12	967,32	1.382,98	1.416,78	1.516,65	1.436,66	1.524,07
Düzenli Depolama	0,00	111,18	548,83	545,02	725,73	842,95	1.008,59
Düzensiz Depolama	304,12	856,14	834,15	871,76	790,93	593,70	515,48

Çizelge 4.5’e göre 2010 yılında katı atık bertarafından kaynaklanan metan emisyonu 1.524.070 ton olarak gerçekleşmiştir. Bu emisyonun yaklaşık %66’sı düzenli depolama sahalarından kaynaklanırken %34’ü düzensiz depolama sahalarından kaynaklanmıştır (TÜİK, 2012a).

4.3 Atık Sektörü Sera Gazı Emisyonları

1 ton atık yaklaşık 40-250 m³ sera gazı salımına neden olmaktadır. Bu geniş aralık oluşan çöp gazının miktarının çok değişken olduğunu göstermektedir. Atık

kompozisyonu, oluşacak sera gazı miktarında büyük önem taşır. Her atık bileşeninin içerdiği bozunabilen organik karbon miktarı ve bozunma sabiti farklı olduğu için neden olduğu sera gazı emisyonu da farklıdır (Lou ve Nair, 2009). Bir atık bileşeni ne kadar yüksek bozunabilen organik karbon miktarına sahipse bozunduğu zaman o kadar fazla sera gazı emisyonuna yol açar.

IPCC'ye (2006) göre farklı atık türlerinin sahip olduğu ayrışabilir organik karbon ve karbon yüzdeleri Çizelge 4.7'de verilmektedir. Söz konusu çizelgede yaş ve kuru atıktaki DOC ve toplam organik karbon yüzdeleri belirtilmektedir.

Çizelge 4.7 : KKA içerisindeki bileşenlerin ayrışabilir organik karbon ve karbon yüzdeleri (%) (IPCC, 2006).

KKA Türü	Yaş atık içindeki kuru yüzde	Yaş atıktaki DOC yüzdesi	Kuru atıktaki DOC yüzdesi	Kuru atıktaki toplam C yüzdesi	Toplam C içindeki fosil C yüzdesi
Kağıt/Karton	90	40	44	46	1
Tekstil	80	24	30	50	20
Mutfak atıkları	40	15	38	38	-
Ağaç	85	43	50	50	-
Bahçe atıkları	40	20	49	49	0
Çocuk bezi	40	24	60	70	10
Lastik	84	39	47	67	20
Plastik	100	-	-	75	100
Metal	100	-	-	Veri yok	Veri yok
Cam	100	-	-	Veri yok	Veri yok
İnert atıklar	90	-	-	3	100

Çizelge 4.8 : Hızlı ve yavaş ayrışabilen atık bileşenleri (Özçakıl, 2001).

Organik Atık Bileşeni	Hızlı Ayrışabilenler	Yavaş Ayrışabilenler
Yiyecek atıkları	+	
Gazete	+	
Kağıt	+	
Karton	+	
Plastikler ¹		
Tekstil atıkları		+
Kauçuk		+
Deri		+
Bahçe atıkları	+ ²	+ ³
Tahta		+
Çeşitli organikler		+

¹Plastikler genel olarak ayrışamayan atıkları olarak kabul edilirler.

²Yaprak ve ot artıkları. Bahçe atıklarının genel olarak % 60'ı hızlı ayrışabilen atıklardır.

³Bahçe atıklarının ağaç olan kısmı.

Katı atıklar içinde bulunan organik maddelerin bozunma hızları göz önünde bulundurulduğunda iki sınıfa ayrılabilirler (Özçakıl, 2001):

- Çabuk ayrışabilen maddeler (3 aydan 5 yıla kadar)
- Yavaş ayrışan maddeler (50 yıl veya daha fazla sürede)

Evsel katı atıkta bulunan hızlı ve yavaş ayrışabilen organik bileşenler ise Çizelge 4.8’de verilmiştir (Özçakıl, 2001).

Lee (2008)’in verdiği sera gazı emisyonları ise International Energy Agency’nin (IEA, 2011) verdiği değerlere göre daha yüksektir. Buna göre 2005’te ABD’deki DDT’lerden kaynaklanan metan emisyonu 132×10^9 ton CO₂ eşdeğeridir. Bu değer ABD’de 2005 yılı toplam antropojenik metan emisyonu olan $539,3 \times 10^9$ ton CO₂ eşdeğerinin %24,5’ine eşittir. Antropojenik kaynakların yanı sıra doğal kaynaklardan salınan metan emisyonu da dikkate alınırsa toplam metan emisyonunun %6-8’i DDT kaynaklıdır.

Başka bir çalışmaya göre ise küresel sera gazı emisyonlarının %5’i atık sektörü kaynaklıdır. Atık oluşumuna katkı sağlayan insan kaynaklı faaliyetlerin neden olduğu dolaylı emisyonların payı bu orana dahil değildir (Lou ve Nair, 2009). Daha kapsamlı bir değer için dolaylı emisyonlar da hesaba katılmalıdır.

Lou ve Nair (2009)’un hesapladığı atık sektörü kaynaklı sera gazı emisyonu içinde katı atığın anaerobik bozunması ile oluşan metan ve atıksudaki organik maddelerin bozunması ile oluşan CO₂ de bulunmaktadır.

Gelişmekte olan ülkelerde düzensiz depolamadan düzenli depolamaya geçiş artmakla birlikte sera gazı emisyonlarının artması nedeniyle düzenli depolama dışında da alternatifler düşünülmektedir (Lou ve Nair, 2009). Bu alternatiflerden bazıları şunlardır:

- Havalı düzenli depolama
- Atık azaltma
- Kompostlaştırma

Düzenli depolamadaki yer sıkıntısı, sızıntı suyunun arıtılması gerekliliği ve sera gazı emisyonlarının açığa çıkması yukarıdaki alternatiflerin uygulanmasını gerekli kılmaktadır.

Daha farklı bir yaklaşıma göre ise düzenli depolama tesislerinden atmosfere salınan metan ve CO₂’den sadece metanın sera etkisi oluşturduğu kabul edilmektedir. CO₂ de küresel ısınma potansiyeline (KIP) sahip olduğu halde atıkların bozunması

nedeniyle açığa çıkan CO₂'nin doğal kaynaklı olduğu kabul edilerek sera gazı emisyonuna katkısı olmadığı kabul edilebilir (Lou ve Nair, 2009).

Sera etkisi oluşturduğu düşünülen gazların türleri kurumlar ve protokoller arasında farklılık göstermektedir. Gentil ve diğ. (2009) sera etkisi oluşturduğu düşünülen gazları Çizelge 4.9'daki gibi gruplandırmışlardır.

Çizelge 4.9 : Farklı mekanizmalara göre kabul edilen sera gazları (Gentil ve diğ., 2009).

Gaz/Kuruluş- Protokol	Kyoto Protokolü ¹	EpE Protokolü ¹	LCA ^{1,2}	European Emission Trading Scheme ¹
CO ₂	+	+	+	+
CH ₄	+	+	+	-
N ₂ O	+	+	+	-
CO	-	-	+	-
SF ₆	+	-	+	-
Hidrokarbonlar	+	-	+	-
Perflorokarbonlar	+	-	+	-

¹Her birinde CO₂biyolojik ve CO₂fosil ayrı sayılmaktadır.

²LCA (Life Cycle Assessment/Yaşam Döngü Analizi) takip edilebilecek tüm gaz emisyonlarını izlemeyi hedeflemektedir.

Daha genel bir yaklaşımla başlıca sera gazları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Gentil ve diğ., 2009):

- Ana kaynaklar: CO₂biyolojik, metan, CO₂fosil, N₂O
- Daha az etkili kaynaklar: Kloroflorokarbonlar, SF₆ ve diğer iz gazlar

4.3.1 Doğrudan emisyonlar

Doğrudan emisyonlar düzenli depolama tesisleri (DDT), yakma tesisleri ve kompost tesislerinde KKA'nın kendisinden ve tesis içindeki atık işleme işlemlerinden kaynaklanan emisyonlardan oluşmaktadır.

4.3.1.1 DDT kaynaklı doğrudan emisyonlar

DDT'lerdeki en önemli doğrudan emisyon kaynağı KKA'nın anaerobik olarak bozunması sonucu açığa çıkan metan ve CO₂ emisyonlarıdır. Atığın kendisinden kaynaklanacak emisyonlar depolanan atığın bileşimine ve atık bileşenlerindeki DOC yüzdesine bağlıdır (Manfredi ve diğ., 2009).

Depolama tesislerindeki diğer doğrudan emisyon kaynakları atığın serilmesi ve sıkıştırılması işlemlerinde çalışan dozer ve kompaktörler ile tesiste başka amaçlarla

alışan araçların kullandığı yakıttan kaynaklanan emisyonlardır. Literatürde bu konu ile ilgili yeterli bilgi bulunmamakla birlikte DDT’lerde çalışan araçların toplam tükettiği yakıt 1-3 L yakıt/ton depolanan atık mertebelerindedir. 1 L dizelin kullanılmasıyla atmosfere verilen emisyon ise 2,7 kg CO₂ civarındadır (Manfredi ve diğ., 2009). Başka bir çalışmaya göre depolama sahasında tüketilen yakıt 0,60 L/m² alan’dır (Lou ve Nair, 2009). EPA (2005)’e göre ise sahadaki işlemler sonucu atmosfere verilen sera gazı emisyonu 0,72 ton CO₂ eş./ton yaş atık’tır.

Saha işlemlerinde kullanılan ekipmanlardan kaynaklanan sera gazı emisyonunu azaltmak için fosil kaynaklı yakıtlar yerine doğalgaz, biyodizel veya depo gazı kullanılabilir. Yenilenebilir yakıtların kullanılabilmesi için kullanılmakta olan ekipmanlar modifiye edilmeli ya da tamamen yenilenmelidir (Braman, 2005).

İşletme şartlarının seçimi işletme sırasında açığa çıkan sera gazı emisyonunu önemli derecede etkileyebilmektedir. Net sera gazı emisyonunun azaltılması düşünülürken işletme şartları da göz önünde bulundurulmalıdır. Kötü işletilen bir DTT daha fazla sera gazı emisyonuna yol açmaktadır. Depolama alanından açığa çıkan net sera gazı emisyonunun CO₂ eşdeğeri cinsinden hesabında dikkate alınan hususlar şöyledir (Braman, 2005):

- Atık aktarımı
- Depolama alanı faaliyetleri
- Metan üretimi
- Gazın tutulabilme miktarı
- Yakıt azaltma faydası

DDT’lerden kaynaklanacak metan emisyonu oluşumu pozitif ve negatif olmak üzere iki şekilde ifade edilebilir. Pozitif metan emisyonu doğrudan oluşan metan miktarını (g/m²-gün) ifade etmektedir. Oluşan metanın depolama yüzeyine yakın kısımlarında gerçekleşecek mikrobiyal metan oksidasyonu ile miktarı azalabilmektedir. Bu azalma negatif metan emisyonu ile ifade edilmektedir. Eğer net emisyon negatif ise, bu durum metanın okside olan kısmının okside olmayan kısmından daha fazla olduğunu gösterir. Metan oksidasyonunu arttıran etmenler şunlardır (Bogner, 1996):

- Toprağın ısınması
- İyi havalanmanın sağlanması
- Bakteriyel aktivitenin artması

- Nem durumu

4.3.1.2 Yakma tesisleri kaynaklı doğrudan emisyonlar

Yakma tesislerinden kaynaklanan doğrudan emisyonu belirleyen birinci husus KKA'nın karbon içeriğidir. Yakma tesislerindeki yakma fırınlarının sahip olduğu teknoloji ve proses sırasında tükettiği yakıt miktarı da doğrudan emisyonu önemli ölçüde belirlemektedir. (Proses sırasında tüketilen yakıttan kaynaklanan emisyonlar, proste KKA'nın yanı sıra başka bir yakıtın da kullanılması durumunda geçerlidir.) Yakma sonrası oluşan külün yönetimi (külün DDT'lerde bertarafı) nedeniyle yapılan işlemlerde de emisyon oluşmaktadır. Bunlarla birlikte yakma fırının devreye alınması sırasında gerekli yakma sıcaklığının sağlanması, fırının devreden çıkarılması sırasında ise gerekli yakma sıcaklığının muhafaza edilmesi için ek yakıt ihtiyacı olabilmektedir. Bu durumlarda ihtiyaç duyulan yakıt miktarı ve oluşan emisyonlar büyük farklılıklar göstermektedir (Astrup ve diğ., 2009).

4.3.1.3 Kompost tesisleri kaynaklı doğrudan emisyonlar

DDT ve yakma tesislerinde olduğu gibi kompost tesislerinde de en önemli doğrudan emisyon kaynağı KKA'nın kendisinden kaynaklanan emisyonlardır. Kompostlaştırma prosesi sırasında atığın mineralizasyonu nedeniyle oluşan emisyonun ardından ikinci doğrudan emisyon kaynağı tesis içinde kullanılan araçların neden olduğu emisyonlardır. Kompost tesislerinde kullanılan araçların başlıcaları parçalayıcılar, öğütücüler, yükleyiciler ve karıştırıcılarıdır. Tesis içinde kullanılan araçlardan kaynaklanan emisyonlar kullanılan kompostlaştırma tekniğine göre farklılık gösterebilmektedir. Genelde, açık sistemlerde kapalı sistemlere göre daha fazla yakıt kullanıldığı için açık sistemlerde daha fazla emisyonun atmosfere verildiği görülmüştür. Kompost tesislerinde kullanılan araçlardan kaynaklanan emisyonların hesaplanması için emisyon faktörü olarak ortalama 0,4-0,5 kg CO₂ eş./L yakıt değeri kullanılabilir (Boldrin ve diğ., 2009).

4.3.2 Dolaylı emisyonlar

Bu emisyonlar düzenli depolama tesisleri (DDT), yakma tesisleri ve kompost tesisleri ile ilgili olmalarına rağmen tesis sınırları içinde gerçekleşmedikleri için dolaylı emisyonlar olarak tanımlanır. Dolaylı emisyonlar kendi içinde de üst emisyonlar ve alt emisyonlar olmak üzere ikiye ayrılır. Eğer dolaylı emisyonlar

atmosferdeki toplam sera gazı miktarını arttırıcı yönde ise üst emisyonlar, azaltıcı yönde ise alt emisyonlar olarak adlandırılır (Astrup ve diğ., 2009).

4.3.2.1 DDT kaynaklı dolaylı emisyonlar

Üst emisyonlar

DDT'lerden kaynaklanan dolaylı üst emisyonlar aşağıda sıralanmaktadır (Manfredi ve diğ., 2009):

- DDT inşası sırasında yapılan toprak işlerinde (hafriyat/dolgu) çalışan iş makinaları için gerekli yakıtın temini nedeniyle oluşan emisyon
- DDT işletilmesi sırasında sahada çalışan araçlar için gerekli yakıtın temini nedeniyle oluşan emisyon
- İdari binada, pompalarda ve diğer ekipmanlarda kullanılan elektriğin temini nedeniyle oluşan emisyon
- Saha taban ve yüzeyinde geçirimsizlik tabakasının teşkilinde kullanılan malzemelerin (geomembran, geotekstil vb.) üretimi sırasında oluşan emisyon
- Sızıntı suyu ve yüzey suyu drenaj sistemlerinin teşkilinde kullanılan çakılın temini nedeniyle oluşan emisyon

DDT içindeki farklı işlemlerden kaynaklanan emisyonlar Çizelge 4.10'da özetlenmektedir.

Çizelge 4.10 : Depolama sahalarındaki işlemler sonucu oluşan emisyonlar (Manfredi ve diğ., 2009).

İşlem	Emisyon Faktörü
Yakıt temini	0,4 - 0,5 kg CO ₂ eş./L yakıt
Yakıtın yanması	2,7 kg CO ₂ eş./L yakıt
Elektrik temini	0,1 - 0,5 kg CO ₂ eş./kWh
HDPE temini	1,85 kg CO ₂ eş./kg HDPE
Çakıl temini	1,4 kg CO ₂ eş./ton yaş atık

Alt emisyonlar

Oluşan depo gazının elektrik veya ısıya çevrildikten sonra kullanılması ile fosil yakıtların kullanımından kazanç sağlanıyorsa bu yolla atmosfere verilen emisyon azaltılmış olur. Depo gazı %25-35 verimle elektriğe çevrilebilirken, ısıya çevrimde verim %40-50 civarındadır. Yaygın uygulama ise depo gazının elektriğe çevrilip değerlendirilmesidir. Eğer depo gazından elde edilen elektrik, su, rüzgar veya diğer

yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin yerini alıyorsa bu durumda emisyon kazancı olmadığı için alt emisyon sıfır olur (Manfredi ve diğ., 2009).

4.3.2.2 Yakma tesisleri kaynaklı dolaylı emisyonlar

Üst emisyonlar

Yakma tesislerinde en önemli dolaylı emisyonlar arasında proste veya yardımcı tesislerde kullanılan (eğer proste KKA'nın yanı sıra yakıt da kullanılıyorsa) yakıtın üretilmesi ve tesise taşınması sırasında oluşan emisyonlar bulunmaktadır. Proses sonucunda oluşan atık gazın arıtılması için kireç, amonyak, aktif karbon vb. maddeler kullanılmaktadır. Bu maddelerin, arıtma amacıyla üretilen kısmının üretimi sırasında ve üretim sonrasında yakma tesisine taşınmasında oluşan emisyonlar dolaylı üst emisyonlar arasındadır. Atık gazın arıtılmasının yanı sıra uçucu kül ve taban külünün bertarafı sırasında (külün DDT'lere taşınması vb.) oluşan emisyonlar da üst emisyonlar arasındadır. Yakma tesisi içindeki diğer yardımcı tesisler için gereken maddelerin üretimi ve taşınması sırasında oluşan emisyonlar ile yakma fırınında ve yardımcı tesislerde kullanılan elektrik ve ısının emisyon karşılığı da üst emisyonların hesabında göz önünde bulundurulmalıdır (Astrup ve diğ., 2009). Yakma tesislerindeki çeşitli işlemlerden kaynaklanan emisyonlar Çizelge 4.11'de özetlenmektedir.

Çizelge 4.11 : Yakma tesislerindeki işlemlerden kaynaklanan emisyonlar (Astrup ve diğ., 2009).

İşlem	Emisyon Faktörü
Yakıt temini	0,4 - 0,6 kg CO ₂ eş./L yakıt
Yakıtın yanması	2,7 - 2,9 kg CO ₂ eş./L yakıt
Doğalgazın temini	0,2 - 0,3 kg CO ₂ eş./Nm ³
Doğalgazın yanması	2,2 kg CO ₂ eş./ Nm ³
Elektrik temini	0,1 - 0,9 kg CO ₂ eş./kWh
Isınma	0,075 kg CO ₂ eş./MJ
CaCO ₃ temini	0,085 kg CO ₂ eş./kg
Ca(OH) ₂ temini	0,92 kg CO ₂ eş./kg
NaOH temini	3,6 kg CO ₂ eş./kg
NH ₃ temini	2,2 kg CO ₂ eş./kg
HCl temini	0,90 kg CO ₂ eş./kg
Su temini	0,2 kg CO ₂ eş./m ³
Uçucu küllerin arıtımı ve depolanması	10-50 kg CO ₂ eş./ton kalıntı
Taban külünün depolanması	5-18 kg CO ₂ eş./ton kalıntı

Alt emisyonlar

Yakma tesislerinde oluşan ısı enerjisi fosil yakıtlardan elde edilen elektrik ve ısıнын yerini alıyorsa emisyon kazancı gerçekleşmektedir. Ancak DDT’lerdeki alt emisyonlarda olduğu gibi yakma tesisinde oluşan ısı enerjisi su, rüzgar veya diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjiyi ikame ediyorsa alt emisyon sıfır olur. Yakma sonucu oluşan kül de inşaat işlerinde katkı malzemesi olarak kullanılabilir. Bu durumda külün yerine kullanılan inşaat malzemelerinin üretimi sırasında oluşan emisyonlardan kaçınılmış olur. Eğer tesiste oluşan kül çeşitli arıtma işlemlerinden geçirilmek yerine ön işlemden geçirilmeden DDT’lerde depolanırsa toplam emisyon artma veya azalma lehine olabilir.

4.3.2.3 Kompost tesisleri kaynaklı dolaylı emisyonlar

Üst emisyonlar

DDT’lerde olduğu gibi kompost tesislerinde çalışan araçların kullanacağı yakıtın temini nedeniyle oluşan emisyonlar üst emisyonlar arasındadır. Kompost tesislerinde çalışan araçların kullandığı yakıtlardan kaynaklanan doğrudan emisyonlarda olduğu gibi, dolaylı emisyonlardan olan elektrik tüketimi kaynaklı emisyonlar da kullanılan kompost tekniğine göre büyük farklılıklar göstermektedir. Ayrıca, kompost tesislerinde kullanılan diğer malzemelerin üretimi ve tedariki nedeniyle oluşan emisyonlar da üst emisyonlar altında incelenmelidir (Boldrin ve diğ., 2009). Kompost tesislerindeki bazı işlemler sonucu oluşan emisyonlar Çizelge 4.12’de verilmektedir.

Çizelge 4.12 : Kompost tesislerindeki işlemlerden kaynaklanan emisyonlar (Boldrin ve diğ., 2009).

İşlem	Emisyon Faktörü
Yakıt temini	0,4 - 0,5 kg CO ₂ eş./L yakıt
Yakıtın yanması	2,7 kg CO ₂ eş./L yakıt
Elektrik temini	0,1 - 0,5 kg CO ₂ eş./kWh
Azotlu gübre üretimi	4,7 - 13,0 kg CO ₂ eş./kg N
Fosforlu gübre üretimi	0,5 - 3,0 kg CO ₂ eş./kg P
Potasyumlu gübre üretimi	0,4 - 1,5 kg CO ₂ eş./kg K
Yakıt (turba) üretimi	550 – 1.197 kg CO ₂ eş./ton turba

Alt emisyonlar

Kompostlaştırma prosesi sonunda elde edilen ürünün (kompost) birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Kompostun başlıca kullanım alanları aşağıda sıralanmaktadır (Öztürk ve diğ., 2010):

- Bahçe, tarla uygulamaları
- DDT nihai örtü toprağı
- Terkedilmiş maden ocaklarının rehabilitasyonu
- Erozyon kontrolü
- Zarar görmüş toprakların iyileştirilmesi (biyoıslah)
- Yanmış orman alanlarının rehabilitasyonu

Kompostun yukarıda verilen alanlarda kullanılması sonucunda yukarıda verilen kullanım alanlarında kullanılmayan malzemelerin üretiminden kaynaklanan emisyonlar atmosfere verilmemiş olur. Böylece atmosfere verilen emisyonlardan kazanç sağlanmış olur (Boldrin ve diğ., 2009).

5. TÜRKİYE İÇİN NÜFUS VE KENTSEL KATI ATIK ÜRETİMİ TAHMİNLERİ

Çalışma kapsamında emisyon hesapları Katı Atık Ana Planı'nda (KAAP, 2006) belirtilmiş olan atık havzaları için ayrı ayrı yapılmıştır. Bu hesabın yapılabilmesi için her bir atık havzasında oluşan katı atık miktarı, her bir atık havzasında oluşan katı atık miktarını hesaplamak için ise atık havzalarına özgü nüfus projeksiyonu yapılmıştır. Hangi illerin hangi atık havzasında yer aldığı Çizelge 5.1'de verilmiştir.

KAAP'ta belirtilen atık havzalarından 1a, 1b, 2a, 2b, 2c, 3a ve 3b atık havzaları Türkiye'deki 16 büyükşehir belediyesini temsil ederken, diğer atık havzaları ise büyükşehir belediyesi olmayan belediyelerden oluşmaktadır.

Çizelge 5.1 : Atık havzalarını temsil eden iller (KAAP, 2006).

Atık Havzası	İller
1a	İstanbul, İzmir
1b	Bursa, Kocaeli, Sakarya
1c	Afyon, Aydın, Balıkesir, Bilecik, Çanakkale, Denizli, Edirne, Kırklareli, Kütahya, Manisa, Muğla, Tekirdağ, Uşak, Yalova
2a	Ankara
2b	Antalya, Mersin
2c	Adana, Eskişehir, Kayseri, Konya, Samsun
2d	Amasya, Artvin, Bartın, Bayburt, Bolu, Çorum, Düzce, Giresun, Gümüşhane, Karabük, Kastamonu, Ordu, Rize, Sinop, Tokat, Trabzon, Zonguldak
2e	Aksaray, Burdur, Çankırı, Hatay, Isparta, Karaman, Kırıkkale, Kırşehir, K.Maraş, Nevşehir, Niğde, Osmaniye, Sivas, Yozgat
3a	Gaziantep
3b	Diyarbakır, Erzurum
3c	Adıyaman, Ağrı, Ardahan, Batman, Bingöl, Bitlis, Elazığ, Erzincan, Hakkari, Iğdır, Kars, Kilis, Malatya, Mardin, Muş, Siirt, Şanlıurfa, Şırnak, Tunceli, Van

5.1 Nüfus Projeksiyonu

Atık havzaları için yapılan nüfus projeksiyonunda Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı'nın (UNDP) revizyonunu 2009 yılında yaptığı nüfus tahminleri

kullanılmıştır. Çizelge 5.2’de UNDP’nin Türkiye için yaptığı nüfus tahminleri verilmektedir.

Çizelge 5.2 : UNDP’nin Türkiye için nüfus tahminleri (UNDP, 2009).

Yıl	Şehir Nüfusu (x1000)	Kırsal Nüfus (x1000)
1950	5.322	16.162
1955	7.022	17.583
1960	8.898	19.335
1965	10.951	21.045
1970	13.844	22.364
1975	17.138	24.073
1980	20.210	25.952
1985	26.900	24.389
1990	33.204	22.882
1995	38.023	23.183
2000	43.027	23.433
2005	47.886	23.283
2009	51.763	23.053
2010	52.728	22.977
2015	57.475	22.491
2020	62.033	21.840
2025	66.316	21.048
2030	70.247	20.128
2035	73.280	19.097
2040	76.963	17.976
2045	79.640	16.975
2050	81.812	15.577

Çizelge 5.2’deki nüfus değerlerine göre 2032 yılına kadar beklenen nüfus değişim yüzdeleri Çizelge 5.3’de verilmektedir.

Çizelge 5.3 : UNDP’nin nüfus tahminlerine göre hesaplanan nüfus değişimleri.

Yıl	Şehir Nüfusu (%)	Kırsal Nüfus (%)
2000-2005	2,3	-0,1
2005-2009	2,0	-0,3
2009-2010	1,9	-0,3
2010-2015	1,8	-0,4
2015-2020	1,6	-0,6
2020-2025	1,4	-0,7
2025-2030	1,2	-0,9
2030-2035	0,9	-1,0

TÜİK tarafından 2008 yılında yapılan nüfus projeksiyonu ise Çizelge 5.4’de verilmektedir. TÜİK’in yaptığı projeksiyonda, UNDP’nin yaptığı projeksiyondan farklı olarak Türkiye nüfusu şehir ve kırsal nüfus olarak ikiye ayrılmamıştır. 2025 yılına kadar yapılan projeksiyonda Türkiye nüfusu bir bütün olarak incelenmiştir.

Çizelge 5.4 : TÜİK nüfus projeksiyonuna göre nüfus değişim tahminleri (TÜİK, 2008a).

Yıl	Nüfus Artış Hızı (%)	Yıl	Nüfus Artış Hızı (%)
1986	17,2	2006	11,9
1987	17,1	2007	11,7
1988	17,2	2008	13,4
1989	17,2	2009	13,3
1990	17,0	2010	13,0
1991	16,6	2011	12,8
1992	16,3	2012	12,5
1993	16,0	2013	11,8
1994	15,7	2014	11,7
1995	15,4	2015	11,4
1996	15,0	2016	11,1
1997	14,7	2017	10,8
1998	14,4	2018	10,2
1999	14,1	2019	9,9
2000	13,8	2020	9,7
2001	13,5	2021	9,4
2002	13,2	2022	9,1
2003	12,8	2023	8,3
2004	12,4	2024	8,0
2005	12,2	2025	7,7

UNDP ve TÜİK'in nüfus projeksiyonları karşılaştırıldığında her iki projeksiyonun öngördüğü nüfus değişim tahminlerinin yaklaşık olarak aynı olduğu görülmektedir. Yapılan çalışmada, şehir ve kırsal nüfusun ayrı değerlendirilmesi gerektiği ve her iki projeksiyonun yaklaşık aynı sonucu vermesi nedeniyle UNDP'nin nüfus projeksiyonu kullanılmıştır.

Atık havzalarının nüfuslarının hesaplanmasında Çizelge 5.3'de verilen nüfus değişim yüzdeleri kullanılmıştır. Nüfus hesaplamalarında TÜİK'in Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi'ne (ADNKS) göre belirlenmiş olan 2011 yılı nüfus değerleri kullanılmıştır (TÜİK, 2012b). Her bir il için şehir ve kırsal nüfus 2032 yılına kadar hesaplanmıştır. Hesaplanan nüfus değerleri EK A'da verilmiştir.

Atık havzalarında oluşan katı atık miktarını hesaplamak için öncelikle katı atık hizmeti alan nüfusunun belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında büyükşehir belediyesi olan illerde şehir nüfusunun %100'ünün, kırsal nüfusun ise %95'inin katı atık hizmeti aldığı kabul edilmiştir. Büyükşehir belediyelerinden sadece Diyarbakır ve Erzurum'un dahil olduğu 3b atık havzası bu kapsamın dışında tutulmuştur. 3b atık havzası ile diğer belediyelerin bulunduğu illerde ise şehir nüfusunun %100'ünün, kırsal nüfusun %85'inin katı atık hizmeti aldığı kabul

edilmiştir. Katı atık hizmeti alan büyükşehir belediyesi içindeki nüfus Çizelge 5.5’de, diğer belediyeler içindeki nüfus ise Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Yapılan nüfus projeksiyonuna göre Türkiye genelinde toplam katı atık hizmeti alan nüfusun 2012 yılında 73.034.449 kişi iken bu değerin 2032 yılında 89.553.623 kişiye yükseleceği tahmin edilmektedir. 2012-2032 yılları arasında katı hizmeti alan nüfuslar Çizelge 5.7’de, nüfusun yıllar içindeki değişimi ise Şekil 5.1’de verilmektedir.

Çizelge 5.5 : Atık havzalarının 2012-2032 yılları arasında katı atık hizmeti alan nüfusu (Büyükşehir belediyesi olan havzalar için).

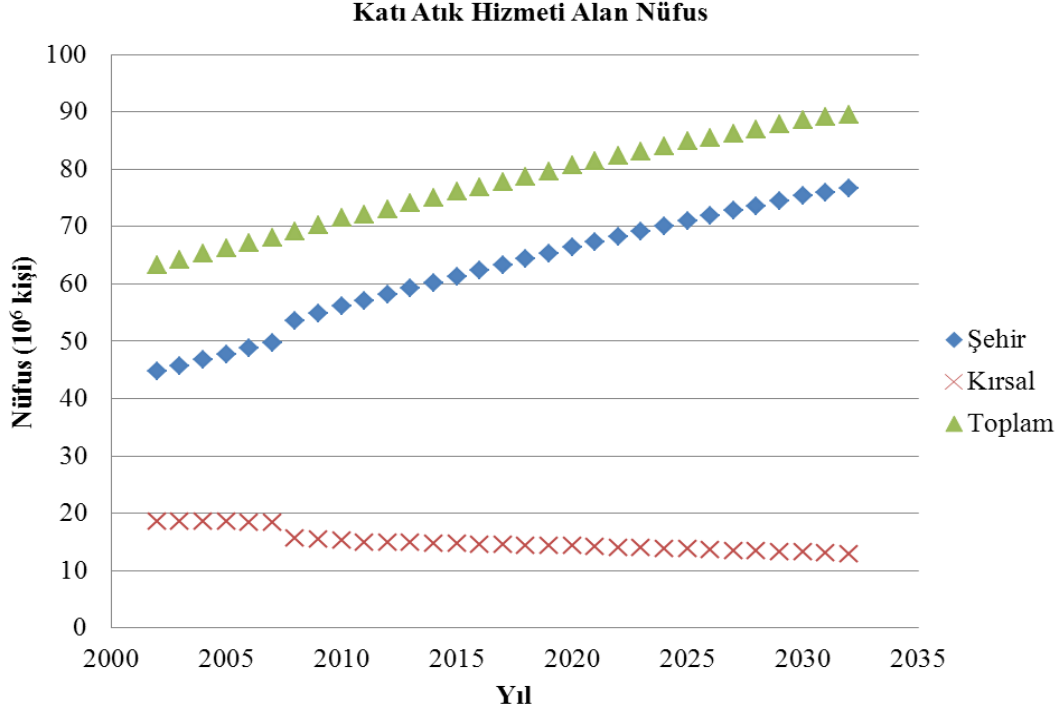
Yıl	1a		1b		2a		2b		2c		3a		3b	
	Şehir	Kırsal	Şehir	Kırsal	Şehir	Kırsal	Şehir	Kırsal	Şehir	Kırsal	Şehir	Kırsal	Şehir	Kırsal
2012	17.414.511	456.809	4.606.017	584.470	4.847.834	121.824	2.802.785	906.461	6.119.411	1.347.567	1.584.160	186.787	1.667.082	604.508
2017	18.957.064	445.861	5.014.010	570.462	5.277.249	118.905	3.051.051	884.735	6.661.463	1.315.267	1.724.483	182.310	1.814.751	590.018
2022	20.422.095	431.861	5.401.499	552.549	5.685.083	115.170	3.286.841	856.956	7.176.271	1.273.972	1.857.754	176.585	1.954.998	571.492
2027	21.784.445	415.194	5.761.831	531.223	6.064.333	110.725	3.506.106	823.885	7.654.997	1.224.811	1.981.684	169.770	2.085.416	549.437
2032	22.954.532	396.122	6.071.311	506.824	6.390.061	105.638	3.694.426	786.040	8.066.162	1.168.550	2.088.125	161.971	2.197.429	524.199

Çizelge 5.6 : Atık havzalarının 2012-2032 yılları arasında katı atık hizmeti alan nüfusu (Büyükşehir belediyesi olmayan havzalar için).

Yıl	1c		2d		2e		3c	
	Şehir	Kırsal	Şehir	Kırsal	Şehir	Kırsal	Şehir	Kırsal
2012	5.913.773	2.992.373	2.279.206	1.385.615	3.995.727	2.061.883	5.515.262	3.988.145
2017	6.437.606	2.920.651	2.481.098	1.352.403	4.349.663	2.012.460	6.003.797	3.892.556
2022	6.935.114	2.828.944	2.672.842	1.309.939	4.685.812	1.949.274	6.467.780	3.770.335
2027	7.397.752	2.719.771	2.851.143	1.259.388	4.998.400	1.874.048	6.899.246	3.624.833
2032	7.795.102	2.594.841	3.004.286	1.201.541	5.266.874	1.787.966	7.269.815	3.458.334

Çizelge 5.7 : 2012-2032 yılları arasında Türkiye’de katı atık hizmeti alan nüfus.

Yıl	Şehir Nüfusu	Kırsal Nüfus	Toplam Nüfus
2012	58.144.358	14.952.892	73.034.449
2017	63.294.710	14.533.197	77.827.907
2022	68.186.224	14.076.870	82.128.892
2027	72.734.901	13.533.625	86.128.448
2032	76.641.645	12.911.978	89.553.623



Şekil 5.1 : Türkiye’de katı atık hizmeti alan nüfusun değişimi.

5.2 Atık Üretimi Projeksiyonu

Oluşan atık miktarının hesabında Bölüm 5.1’de hesaplanan nüfuslar ile KAAP’tan (2006) alınan birim atık oluşum değerleri kullanılmıştır. Birim atık oluşum değeri her bir atık havzası için farklı değerdedir. KAAP’ta birim atık oluşum değerleri verilmeyen yıllar için önceki yıllarda beklenen değişim hızına bakılarak birim atık oluşum değerleri tahmin edilmiştir. EK B’de her bir atık havzası için birim atık oluşum değerleri verilmektedir. Birim atık oluşum değerleri kullanılarak hesaplanan katı atık üretim miktarları Çizelge 5.8 ve Çizelge 5.9’da verilmiştir.

Çizelge 5.8 : Atık havzalarının 2012-2032 yılları arasında katı atık üretim miktarı (ton/yıl) (Büyükşehir belediyesi olan havzalar için).

Yıl	1a	1b	2a	2b	2c	3a	3b
2012	8.806.093	2.406.050	2.448.799	1.719.421	3.379.554	820.923	978.374
2017	10.693.922	2.874.048	2.974.090	2.054.284	4.017.879	1.057.889	1.149.840
2022	12.939.879	3.411.967	3.599.057	2.435.102	4.780.725	1.262.307	1.364.810
2027	15.557.507	4.088.597	4.237.325	2.860.608	5.671.978	1.492.033	1.615.692
2032	18.835.805	4.946.100	4.907.825	3.336.155	6.606.513	1.773.976	1.897.383

Çizelge 5.9 : Atık havzalarının 2012-2032 yılları arasında katı atık üretim miktarı (ton/yıl) (Büyükşehir belediyesi olmayan havzalar için).

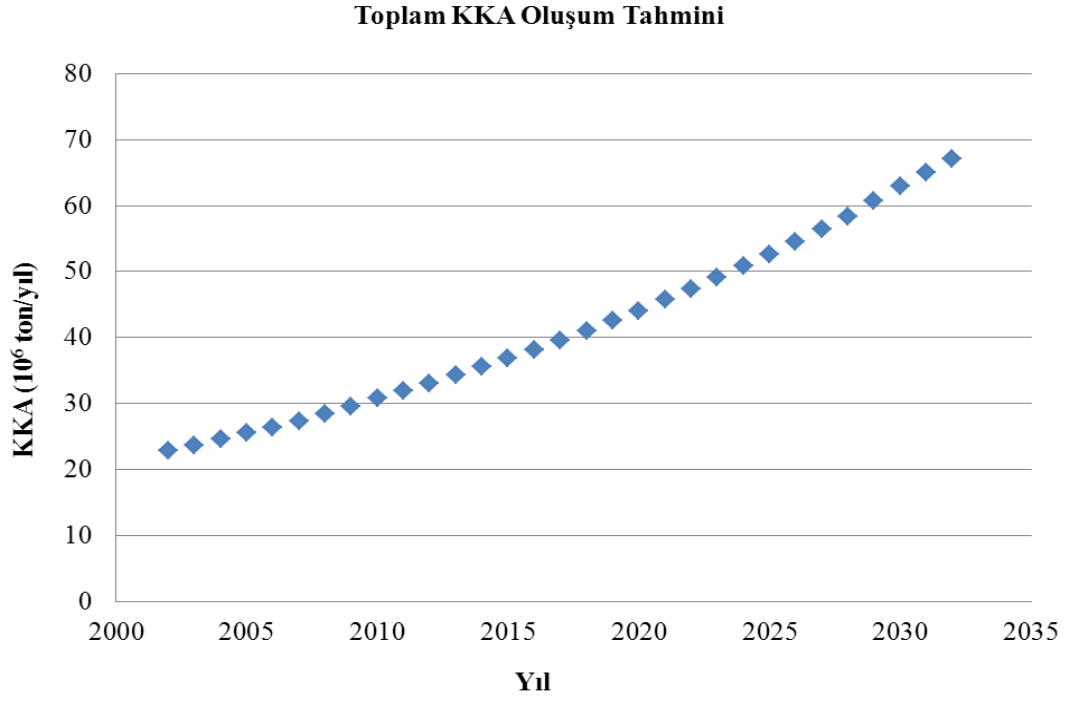
Yıl	1c	2d	2e	3c
2012	3.900.892	2.418.166	2.466.647	3.737.952
2017	4.645.439	2.868.183	2.888.792	4.418.767
2022	5.524.016	3.425.620	3.375.494	5.225.119
2027	6.610.284	4.092.395	4.006.298	6.192.810
2032	7.888.045	4.880.948	4.691.252	7.341.068

Türkiye genelinde oluşması beklenen toplam kentsel katı atık (KKA) miktarı Çizelge 5.10'da, katı atık üretiminin yıllar içindeki değişimi ise Şekil 5.2'de verilmektedir.

Çizelge 5.10 : 2012-2032 yılları arasında Türkiye'deki toplam katı atık oluşum tahminleri.

Yıl	Katı Atık Oluşumu (10 ⁶ ton/yıl)
2012	33,082
2017	39,643
2022	47,344
2027	56,425
2032	67,105
2012-2032 TOPLAM (ton)	1.287,484

Sera gazı emisyonlarının oluşumunda KKA kompozisyonu büyük önem taşımaktadır. Biyobozunur atık yüzdesi yüksek olan atık kütlelerinden kaynaklanacak sera gazı emisyonu, biyobozunur atık yüzdesi düşük atık kütlelerine göre daha fazla olmaktadır. Çalışma kapsamında tüm atık havzalarından oluşacak sera gazı emisyonları ayrı ayrı hesaplandığı için her bir atık havzasına ait KKA kompozisyonun belirlenmesi gerekmektedir. Atık havzalarına ait KKA kompozisyonları KAAP'tan (2006) alınmıştır. KAAP'ta KKA kompozisyonu verilmeyen yıllar için önceki yıllardaki değişime bakılarak KKA kompozisyonu tahmin edilmiştir. EK C'de her bir atık havzası için esas alınan KKA kompozisyonları verilmektedir.



Şekil 5.2 : Türkiye’de toplam katı atık oluşumu tahmini.

6. ÇALIŞMA KAPSAMINDA İNCELENEN ATIK YÖNETİM SENARYOLARI

Bu çalışma kapsamında Türkiye'nin katı atık sektöründen kaynaklanacak sera gazı emisyonları üç farklı senaryo için incelenmiştir. Çalışmada 2003-2032 dönemindeki atık bertaraf işlemlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda 2003-2032 yılları arasında oluşan katı atık miktarı göz önünde bulundurulmuştur. Emisyonların hesabı ise 2003-2052 yılları arasındaki dönemi kapsamaktadır. Düzensiz depolama sahalarından kaynaklanan emisyonların hesabı ise 2003-2020 yılları arasındaki dönemi içermektedir. Tüm DDT'ler 2032 yılında kapatılmasına rağmen kapatma sonrası gaz oluşumu devam ettiği için 2033-2052 yılları arasında kapatılan DDT'lerden kaynaklanan emisyonlar da hesaba katılmıştır. Depolama dışındaki bertaraf metotlarından kaynaklanan emisyonlar ise 2003-2032 dönemini kapsamaktadır.

Çalışmada düzenli ve düzensiz depolama sahalarından kaynaklanan emisyonlar IPCC'nin depolama sahalarından kaynaklanan depo gazını hesaplayan "National Greenhouse Gas Inventories Programme" modeli ile hesaplanmıştır (IPCC, 2006). Kompost, biyometanizasyon ve yakma tesislerinden kaynaklanan emisyonlar ise literatürden derlenen emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanmıştır (Boldrin ve diğ., 2009; Öztürk, 2010; EPA, 1996).

6.1 Mevcut Depolama Alanlarının Durumu

Çalışma kapsamında 2002 yılından günümüze dek halen atık dökümünün yapıldığı düzensiz depolama sahalarından kaynaklanan sera gazı emisyonları hesaba katılmıştır. TÜİK'ten (2002; 2008b) alınan verilere göre Türkiye genelinde 2002 yılında düzenli depolama yolu ile bertaraf edilen katı atık miktarı yaklaşık %28 iken bu oran 2008 yılında yaklaşık %46'ya yükselmiştir. 2008'de yayımlanan ÇOB Atık Eylem Planı'na göre Türkiye'de 2.000'i küçük, 50'si büyük olmak üzere yaklaşık 2.050 adet düzensiz depolama sahası bulunmaktadır. Düzensiz ve düzenli depolama metotları dışındaki atık bertaraf metotlarının tüm bertaraf metotları içindeki katkısı

çok düşük olduğu için, sonraki bölümlerde, ayrıca belirtilen bölgeler dışında, düzenli depolama yapılmayan bölgelerde düzensiz depolama yapıldığı kabul edilmiştir.

Çalışmada düzensiz depolama sahaları derin ve sığ depolama sahaları olmak üzere iki ayrı kategoride değerlendirilmiştir. Derin depolama sahalarındaki atık yüksekliğinin 5 m.'den yüksek olduğu kabul edilmektedir. Bu sahalarda önemli ölçüde CH₄ oluşumu gerçekleşmektedir. Sığ depolama sahaları ise genellikle küçük yerleşim yerlerinde bulunup atık yüksekliğinin 5 m.'den düşük olduğu kabul edilebilir. Bu tür sahalarda atık yüksekliği düşük olduğundan atık kütlesi içinde anaerobik koşullar tam anlamıyla oluşamaz. Bu nedenle sahada oluşan depo gazının büyük kısmı CO₂ olarak atmosfere salınır. Bu çalışmada düzensiz depolama sahalarının %50'sinin derin, %50'sinin ise sığ depolama sahalarından oluştuğu kabul edilmiştir.

Türkiye genelinde 2020 yılı itibariyle düzensiz depolama ile atık bertarafı yapılmayacağı öngörülerek 2020'den itibaren tüm depolama sahalarının DDT olarak işletileceği kabul edilmiştir. Bu kabul uyarınca 2002-2020 arasındaki depolama sahalarının türlerine göre dağılımı Çizelge 6.1'de verilmiştir.

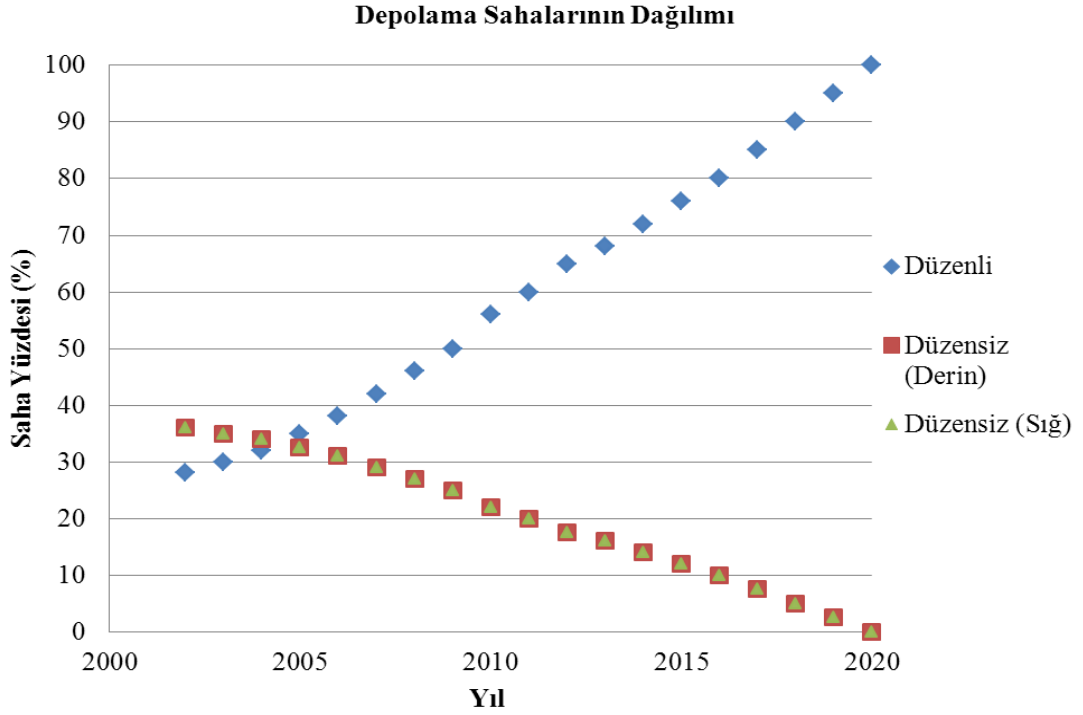
Çizelge 6.1 : Depolama sahalarının türlerine göre dağılımı (%).

Yıl*	Düzenli	Düzensiz (derin)	Düzensiz (sığ)
2002	28,0	36,0	36,0
2003	30,0	35,0	35,0
2004	32,0	34,0	34,0
2005	35,0	32,5	32,5
2006	38,0	31,0	31,0
2007	42,0	29,0	29,0
2008	46,0	27,0	27,0
2009	50,0	25,0	25,0
2010	56,0	22,0	22,0
2011	60,0	20,0	20,0
2012	65,0	17,5	17,5
2013	68,0	16,0	16,0
2014	72,0	14,0	14,0
2015	76,0	12,0	12,0
2016	80,0	10,0	10,0
2017	85,0	7,5	7,5
2018	90,0	5,0	5,0
2019	95,0	2,5	2,5
2020	100,0	0,0	0,0

*2020 ve sonrasında tüm depolama sahaları DDT olarak işletilecektir.

Yukarıdaki çizelge 1a, 2a ve 3a atık havzaları dışında kalan tüm atık havzaları için geçerlidir. 1a (İstanbul ve İzmir), 2a (Ankara) ve 3a (Gaziantep) atık havzalarında

2002 yılından beri işletilmekte olan düzenli depolama tesisleri bulunduğu için bu bölgelerde tüm yıllar için düzensiz depolama yapılmadığı kabul edilmiştir. Diğer atık havzaları içinde bazı illerde gazdan enerji üretilmeyen DDT'ler bulunmasına rağmen (Bursa, Kocaeli, Samsun, Isparta vb.) bu illerin içinde olduğu atık havzalarının diğer tüm illerinde DDT bulunmadığı için hesap kolaylığı bakımından depolama sahalarının dağılımının Çizelge 6.1'deki gibi olduğu kabul edilmiştir. Depolama sahalarının dağılımı Şekil 6.1'de verilmektedir.



Şekil 6.1 : Depolama sahalarının dağılımı.

6.2 Mevcut Kompost Tesislerinin Durumu

Çalışma kapsamında işletme halinde olan kompost tesislerinden 1a atık havzasındaki İstanbul ile İzmir, 1c atık havzasındaki Denizli ve 2b atık havzasındaki Kemer (Antalya) kompost tesisleri göz önünde bulundurulmuştur. Diğer illerdeki mevcut küçük kapasiteli kompost tesisleri ise DDT'lerde olduğu gibi hesap kolaylığı açısından ihmal edilmiştir.

Çizelge 6.2'de söz konusu kompost tesislerin yaklaşık olarak işledikleri atık miktarı verilmiştir. Çizelgedeki değerler ÇOB Atık Eylem Planı'ndan (2008) alınmış olup 2008 öncesi ve sonrasındaki yıllarda işlenen atık miktarları bölgedeki toplam atık miktarı değişimine göre tahmin edilmiştir. Kompost tesislerine kabul edilen atık söz

konusu bölgelerde kısmen ikili toplamanın yapılabildiği bölgelerden gelen ağırlıklı olarak mutfak atıkları ile park ve bahçe atıklarından oluşmaktadır. 2012’den itibaren kompost tesislerine alınacak atık miktarları senaryolar arasında farklılık göstermekte olup bu farklılık daha sonraki bölümlerde açıklanmaktadır.

Çizelge 6.2 : Kompost tesislerinin atık işleme miktarları.

Tesis	Atık Miktarı (ton/gün)
İstanbul	700
İzmir	100
Denizli	3
Kemer (Antalya)	125

6.3 Sokak Toplayıcıları ve Ambalaj Atıklarının Mevcut Durumu

Türkiye genelinde hali hazırda ağırlıklı olarak karışık toplamanın devam etmesi nedeniyle sokak toplayıcıları hala önemli ölçüde ambalaj atığının geri dönüşümünü sağlamaktadır. Çalışma kapsamındaki hesaplarda sınırlı kapasitede işletilen maddesel geri kazanım tesislerinde (MGT) ayrılabilen ambalaj atıklarının miktarı ihmal edilmiştir. 2002 yılından 2012’ye dek sokak toplayıcıları tarafından ambalaj atıklarının %33’ünün tekrar piyasaya dönüşümünün sağlanacağı kabul edilmiştir. 2013 ve sonraki yıllarda ambalaj atıkları ile ilgili ne yapılacağı senaryolar arasında farklılık göstermekte olup bu farklılık daha sonraki bölümlerde açıklanmaktadır.

6.4 Senaryolar

Bu çalışma kapsamında Türkiye için üç ayrı atık yönetim senaryosunun uygulanması durumunda oluşacak sera gazı emisyonları hesaplanmıştır. Bu senaryolardan birincisi KKA’nın ağırlıklı olarak düzenli/düzensiz depolama sahalarında depolanmasını öngörürken, ikinci senaryo ise büyükşehir belediyelerinin olduğu atık havzalarında yakma tesislerinin, diğer belediyelerde ise ikili toplama ile maddesel geri kazanım tesisleri (MGT) ve biyometanizasyon tesislerinin ağırlıkta olduğu senaryodur. Üçüncü ve son senaryoda büyükşehir belediyelerinde uygulanacak atık yönetimi ikinci senaryo ile aynı olup diğer belediyelerde ise ikili toplama ile ayrı toplanabilen biyobozunur atıklar biyometanizasyon tesisleri yerine kompost tesislerine gönderilecektir. İlk senaryo ile ikinci ve üçüncü senaryonun en önemli farkı ikinci ve üçüncü senaryolarda birinci senaryoya göre depolanan atık miktarının oldukça düşük olmasıdır.

Atık yönetimi bileşenlerinin senaryolarda bulunup bulunmama durumu Çizelge 6.3’de verilmektedir.

Çizelge 6.3 : Senaryolardaki atık yönetim bileşenleri.

	Birinci Senaryo	İkinci Senaryo	Üçüncü Senaryo
Düzenli Depolama	+	+	+
Düzensiz Depolama	+ ¹	+ ¹	+ ¹
Kompost	+	+ ²	+ ³
Biyometanizasyon	-	+ ⁴	-
Yakma	-	+ ⁵	+ ⁵
Sokak Toplayıcıları	+	+ ⁶	+ ⁶
MGT	-	+ ⁴	+ ⁴

¹2020’de devre dışı bırakılacaktır.

²1a ve 2b’de 2015’de, 1c’de 2013’de devre dışı bırakılacaktır.

³Tesis bulunmayan yerlerde 2013’de devreye alınacak ve tam kapasiteye 2015’de ulaşılacaktır.

⁴2013’de devreye alınacak ve tam kapasiteye 2015’de ulaşılacaktır.

⁵2015’de devreye alınacak ve tam kapasiteye 2025’de ulaşılacaktır.

⁶2013’de devre dışı bırakılacaktır.

6.4.1 Birinci senaryo

Bu senaryo oluşan KKA’nın ağırlıklı olarak depolanmasını öngören senaryo olarak düşünülmüştür. Senaryoda düzensiz depolama sahaları 2020’ye kadar kapatılıp rehabilite edilecek ve 2020’den itibaren oluşan tüm KKA düzenli depolama tesislerinde depolanacaktır. Bu durumun istisnası Bölüm 6.2’de belirtilmiş olan kompost tesislerinin 2032’ye dek işletilecek olmasıdır. Tüm Türkiye’de pilot ölçekli uygulamaların dışında genel olarak karışık toplama sisteminin devam edeceği öngörülmüştür.

Birinci senaryoda geri kazanılabilir atıkların sokak toplayıcıları tarafından geri kazanımının senaryo süresince devam edeceği ve bu şekilde ambalaj atıklarının %33’ünün atıktan çekileceği kabul edilmiştir. Atıktan çekilemeyen ambalaj atıklarının ise DDT’lere gönderileceği kabul edilmiştir. Mevcut MGT’lerin kapasitesi düşük olduğundan ve işlenebilecek atık miktarı toplam atık içinde önemli bir miktar oluşturmayacağından bu kısım hesaplamalarda ihmal edilmiştir.

Biyobozunur atıklardan mutfak atıkları ile park ve bahçe atıklarının ise geri kazanılabilir atıklarda olduğu gibi tamamen düzenli depolama tesislerinde bertaraf edileceği ancak Bölüm 6.2’de ifade edildiği gibi mevcut kompost tesislerinin atık kabulüne devam edeceği öngörülmüştür.

6.4.2 İkinci senaryo

Bu senaryoda büyükşehir belediyeleri ile diğer belediyelerin atık havzalarındaki katı atık yönetimi senaryolarının farklı olması öngörülmüştür. Diyarbakır ve Erzurum'un bulunduğu 3b atık havzası ise büyükşehir belediyelerinden oluşmasına rağmen diğer belediyelerde oluşturulması düşünülen atık yönetim planına dahil edilmiştir.

6.4.2.1 Büyükşehir belediyeleri için ikinci senaryo (3b havzası hariç)

İkinci senaryo'da büyükşehir belediyeleri için atık bertarafının ağırlıklı olarak yakma tesisleri vasıtasıyla gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Büyükşehir belediyelerinde kurulacak yakma tesislerinin ilk olarak ilgili atık havzasında 2015'de oluşan toplam atığın %25'ini bertaraf edebilecek kapasitede olması öngörülmektedir. Yakma tesislerinin 2025'e gelindiğinde tam kapasite ile hizmet vermeye başlaması ve oluşan toplam atığın %75'inin bu tesislerde bertaraf edilmesi öngörülmektedir. Sonraki yıllarda da oluşan atığın %75'inin yakma tesisine alınacağı kabul edilmektedir.

Çizelge 6.4 : İkinci senaryoda büyükşehir belediyelerinde bertaraf yöntemlerinin dağılımı (1a, 2b ve 3b havzaları hariç) (%).

Yıl	Depolama ve MGT	Yakma ¹
2012	100 ²	0
2013	100 ²	0
2014	100 ²	0
2015	75	25
2016	70	30
2017	65	35
2018	60	40
2019	55	45
2020	50	50
2021	45	55
2022	40	60
2023	35	65
2024	30	70
2025	25	75

¹2025 ve sonrasında toplam atığın %75'i yakmaya gidecektir.

²2012-2014 arasında 1a ve 2b atık havzalarında toplam KKA'daki biyobozunur atığın bir kısmı kompost tesislerinde işlenecektir.

2015 yılına dek oluşan tüm atıklar DDT'lere gönderilirken yakma tesislerinin devreye alınmasıyla birlikte depolamanın toplam atık bertarafı içindeki yüzdesi tedrici olarak azalacak ve 2025 yılında ise minimum seviyeye düşecektir. Çizelge 6.4'de ikinci senaryoda büyükşehir belediyelerinin bulunduğu (1a, 2b ve 3b havzaları hariç) atık havzalarındaki atık yönetimi bileşenleri verilmektedir.

Büyükşehir belediyelerinde yakma tesislerine gönderilmeyecek atıklardan geri kazanılabilir ambalaj atıklarının bir kısmı depolama tesislerine, bir kısmı ise MGT'lere alınacaktır. Yakma tesislerine gitmeyecek ambalaj atıklarının hangi oranlarda ayrı toplanabileceği Çizelge 6.5'de verilmektedir.

Çizelge 6.5 : İkinci senaryoda ikili toplama hedefleri (%).

Yıl	Hedef*
2012	0
2013	22
2014	45
2015	67

*2015 ve sonrasında toplam atığın %67'si ikili toplama ile ayrı toplanabilecektir.

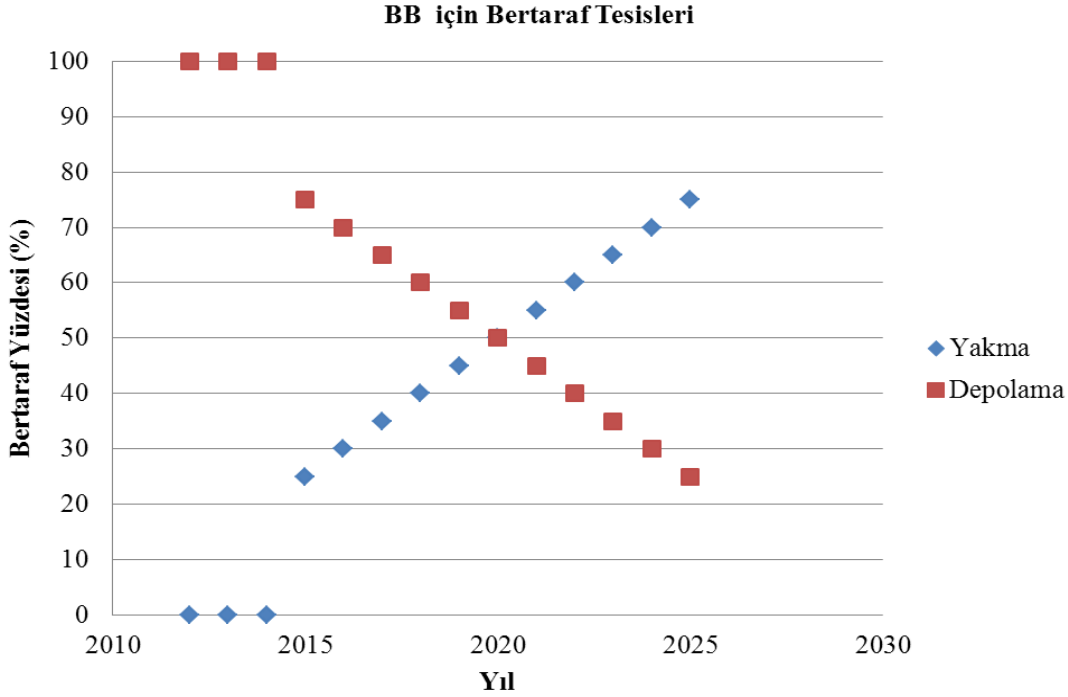
Bölgede ağırlıklı olarak yakma tesisleri bulunacağı için genel olarak karışık toplama yapılacaktır. Ancak ambalaj atıklarının ayrı toplanabilmesi için özellikle yüksek gelirli bölgelerde ikili toplama sistemine geçilmesi düşünülmektedir. Böylece hedeflenen miktarda ambalaj atığının ayrı toplanıp MGT'ye alınması sağlanabilecektir. Bölüm 6.2'de belirtilen kompost tesislerinin ise 2014 sonu itibariyle devre dışı bırakılacağı öngörülmüştür.

Büyükşehir belediyelerinde biyobozunur atıkların geri kazanımı için kompost/biyometanizasyon tesisi teşkil edilemeyecek olup bu atıkların bertarafı yakma veya DDT'lerde gerçekleşecektir.

İkinci senaryoda büyükşehir belediyelerinin bulunduğu (1a, 2b ve 3b havzası hariç) atık havzalarındaki atık yönetimi bileşenlerinin yıllara göre değişimi Şekil 6.2'de verilmektedir.

6.4.2.2 Diğer belediyeler için ikinci senaryo (3b havzası dahil)

Bu senaryoda diğer belediyeler için düşünülen atık yönetim planında yakma tesisleri bulunmayacaktır. Bunun yerine etkin bir geri kazanım sisteminin kurulması hedeflenmektedir. Yüksek verimli bir geri kazanım sistemi ise ancak ikili toplama sistemi ile mümkün olabilmektedir. Bu nedenle büyükşehir belediyelerde uygulanacak atık yönetiminden farklı olarak diğer belediyelerde daha kapsamlı bir ikili toplama sistemine geçilmesi öngörülmektedir.



Şekil 6.2 : İkinci senaryoda BB için bertarafı tesisleri dağılımı (1a, 2b ve 3b havzası hariç).

Bu kategorideki belediyelerden 2d atık havzasındaki Doğu Karadeniz illerinde (Artvin, Giresun, Ordu, Rize ve Trabzon) ise büyükşehir belediyeleri için öngörülen atık yönetim planının uygulanması düşünülmektedir.

İkili toplama sistemine 2013'ten itibaren geçilmeye başlanacaktır. 2 yıllık bir geçiş döneminin ardından 2015'te sistemin tam verimle hizmet vermeye başlayacağı kabul edilmiştir. Nihai olarak ikili toplama ile KKA'nın %67'sinin ayrı toplanabileceği öngörülmektedir. Geriye kalan %33'lük KKA ise karışık olarak toplanmaya devam edilecektir. Çizelge 6.5'de 2012-2015 arasında hedeflenen ikili toplama hedefleri verilmektedir.

2015'de %67'lik bir oranda ayrı toplanan atıkların biyobozunur kısmı (mutfak atıkları ile park ve bahçe atıkları) biyometanizasyon tesislerine kabul edilirken, ambalaj atıkları ise MGT'ye kabul edilecektir. İkili olarak toplanamayan ve karışık olarak toplanan atıklar ise depolama tesislerinde bertaraf edilecektir.

6.4.3 Üçüncü senaryo

Üçüncü senaryoda büyükşehir belediyeleri için önerilen atık yönetim planı ikinci senaryo ile aynı olup diğer belediyelerde ise ikinci senaryodan farklı olarak ayrı

toplanabilen biyobozunur atıklar (mutfak atıkları ile park ve bahçe atıkları) biyometanizasyon tesisleri yerine kompost tesislerinde işlenecektir. Bunun dışında bertaraf yöntemlerinin dağılımı ve ikili toplama hedefleri ise ikinci senaryo ile aynıdır.

7. SENARYO UYGULAMA SONUÇLARININ ANALİZİ

Çalışma kapsamında üç farklı atık yönetim senaryosunun uygulanması halinde oluşacak sera gazı emisyonlarının ne miktarda olacağı hesaplanmıştır. Bu amaçla her bir senaryo için 2003-2052 yılları arasında oluşan sera gazı emisyonları ayrı ayrı hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

7.1 Hesaplamalarda Yapılan Kabuller

Sera gazı emisyonlarının hesabında her bir bertaraf metodu için çeşitli kabuller ve sabitler kullanılmıştır. Depolama sahalarından kaynaklanan emisyonlarda oluşan metan ile CO₂'nin eşit hacimde (%50/%50) olduğu kabul edilmiştir. Önceki bölümlerde belirtildiği gibi depolama sahaları düzensiz (derin ve sık) ve düzenli depolama sahaları olmak üzere üç sınıfta incelenmiştir. DDT'lerde oluşan biyogazın aktif toplama ile sahadan çekilip elektrik üretim tesislerine alınacağı kabul edilmiştir. Düzenli depolama sahalarında oluşan gazın aktif sistemle %70 verim ile toplanabileceği esas alınmıştır. Böylelikle depolama sahasında oluşan metanın %70'i yakılarak CO₂'ye dönüştürüldükten sonra atmosfere salınacaktır. Tutulamayan gaz içindeki metan doğrudan atmosfere verilecektir. Düzensiz depolama sahalarının ise %40'ında oluşan biyogazın gaz yakıcılarında (flare) yakıldıktan sonra atmosfere verileceği, %60'ında pasif toplama ile gazın yakılmadan atmosfere verileceği kabul edilmiştir. Gaz yakıcı bulunan sahalarda oluşan gazın %50 verim ile toplanabileceği kabul edilmektedir. Dolayısıyla bu tür sahalarda oluşan metanın %50'si CO₂'ye dönüştükten sonra atmosfere salınacaktır. Gaz yakıcı bulunmayan düzensiz depolama sahalarında ise oluşan metanın tamamı atmosfere verilecektir.

Depolama sahalarından kaynaklanan sera gazı emisyonlarının hesabı öncesinde salınan toplam emisyonun ne kadarının hangi tür depolama sahasından kaynaklanacağı hesaplanmıştır. Depolama sahalarından kaynaklanan emisyonların saha türüne göre dağılımı, Çizelge 6.1'de verilen depolama sahalarının türlerine göre dağılımı göz önünde bulundurularak, Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1 : Depolama sahalarından kaynaklanan emisyonların saha türüne göre dağılımı (%).

YIL	Düzenli	Düzensiz (derin)	Düzensiz (sığ)	TOPLAM
2003	39,3	40,4	20,2	100
2004	40,5	39,7	19,8	100
2005	41,7	38,9	19,4	100
2006	43,1	37,9	19,0	100
2007	44,6	36,9	18,5	100
2008	46,4	35,7	17,9	100
2009	48,2	34,5	17,3	100
2010	47,3	32,8	19,9	100
2011	47,6	31,2	21,2	100
2012	50,4	30,0	19,6	100
2013	53,1	28,7	18,1	100
2014	55,6	27,5	16,9	100
2015	57,9	26,3	15,8	100
2016	60,2	25,1	14,7	100
2017	62,3	23,9	13,8	100
2018	64,5	22,6	12,9	100
2019	66,6	21,4	12,0	100
2020	68,7	20,2	11,2	100
2021	70,7	18,9	10,4	100
2022	72,5	17,8	9,7	100
2023	74,1	16,8	9,1	100
2024	75,5	15,9	8,6	100
2025	76,8	15,1	8,1	100
2026	77,9	14,4	7,7	100
2027	79,0	13,7	7,3	100
2028	79,9	13,1	6,9	100
2029	80,8	12,6	6,6	100
2030	81,6	12,1	6,3	100
2031	82,3	11,6	6,1	100
2032	83,0	11,2	5,8	100
2033	83,6	10,8	5,6	100
2034	84,2	10,4	5,4	100
2035	84,7	10,1	5,2	100
2036	85,2	9,8	5,1	100
2037	85,6	9,4	4,9	100
2038	86,1	9,2	4,8	100
2039	86,5	8,9	4,6	100
2040	86,9	8,6	4,5	100
2041	87,2	8,4	4,4	100
2042	87,6	8,2	4,3	100
2043	87,9	8,0	4,1	100
2044	88,2	7,8	4,0	100
2045	88,5	7,6	3,9	100
2046	88,8	7,4	3,8	100
2047	89,0	7,2	3,8	100
2048	89,3	7,0	3,7	100
2049	89,5	6,9	3,6	100
2050	89,8	6,7	3,5	100
2051	90,0	6,6	3,4	100
2052	90,2	6,4	3,4	100

Çizelge 7.1’de hesaplanmış olan yüzdeler ile Bölüm 7.1’de belirtilen kabuller çerçevesinde genel olarak oluşan biyogazın ne kadarının tutulabileceği Çizelge 7.2’de verilmektedir.

Çizelge 7.2 : Genel gaz tutma verimi (%).

YIL	Verim (%)	YIL	Verim (%)
2003	39,7	2028	60,0
2004	40,3	2029	60,4
2005	40,8	2030	60,8
2006	41,6	2031	61,2
2007	42,3	2032	61,5
2008	43,2	2033	61,8
2009	44,1	2034	62,1
2010	43,7	2035	62,3
2011	43,8	2036	62,6
2012	45,2	2037	62,8
2013	46,6	2038	63,0
2014	47,8	2039	63,2
2015	49,0	2040	63,4
2016	50,1	2041	63,6
2017	51,2	2042	63,8
2018	52,2	2043	63,9
2019	53,3	2044	64,1
2020	54,3	2045	64,2
2021	55,4	2046	64,4
2022	56,3	2047	64,5
2023	57,1	2048	64,6
2024	57,8	2049	64,8
2025	58,4	2050	64,9
2026	59,0	2051	65,0
2027	59,5	2052	65,1

Kompost, biyometanizasyon ve yakma tesislerinden kaynaklanan emisyonlar ise literatürden derlenen ve Çizelge 7.3’de verilen emisyon faktörleri ile hesaplanmıştır. Verilen emisyon faktörlerinde sadece atığın kendi yapısından kaynaklanan emisyonlar göz önünde bulundurulmuştur. Atığın kendisi dışında emisyonu neden olabilecek işlemler verilen emisyon faktörlerine yansıtılmamıştır.

Çizelge 7.3 : Hesaplarda kullanılan emisyon faktörleri.

Bertaraf Yöntemi	CO ₂	CH ₄
Kompostlaştırma (Boldrin ve diğ., 2009)	320 kg/ton atık	0,91 kg/ton atık
Biyometanizasyon (Öztürk, 2010a)	353 m ³ /ton atık	454 m ³ /ton atık
Yakma* (EPA, 1996)	1.000 kg/ton atık	-

*Uçucu küllerin ve taban külünün arıtımı/depolanması dahil

Depolama tesislerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları 2003-2052 dönemi için hesaplanmıştır. Diğer bertaraf yöntemlerinde olduğu gibi DDT’lerden kaynaklanan

emisyonlar da sadece atığın kendi yapısından kaynaklanan emisyonları içermektedir. Depolama sahalarına atık kabulü 2032 yılı sonu itibariyle sona ermesine rağmen kapatılan bir depolama sahasında kapatmayı müteakip yaklaşık 20 sene boyunca önemli ölçüde biyogaz oluşumu sürdüğü için depolama sahalarından kaynaklanan emisyonlar 2052 yılı sonuna kadar hesaplanmıştır. Diğer bertaraf tesislerinden kaynaklanan emisyonlar ise bertaraf tesislerine atık kabulünün sona ereceği 2032 yılı sonuna kadar hesaplanmıştır.

Tüm hesaplamalar neticesinde elde edilen emisyon değerleri CO₂ eşdeğeri cinsinden verilmiştir. Bu nedenle hesaplanan metan emisyonları CO₂ eşdeğerine çevrilmiştir. Hesaplamalarda 1 birim metanın eşdeğeri olarak 25 birim CO₂ alınmıştır (Tünay ve Alp, 1996).

Emisyonlar ton olarak verildiği için, m³ cinsinden hesaplanmış olan emisyonlar CO₂ ve metanın standart koşullar altındaki (0°C ve 1 atm) yoğunlukları ile çarpılarak emisyonlar tona dönüştürülmüştür. Hesaplamalarda CO₂'nin yoğunluğu 1,977 kg/m³, metanın yoğunluğu ise 0,717 kg/m³ alınmıştır.

7.2 IPCC Modelinin Kullanılması

Bu çalışmada düzensiz ve düzenli depolama sahalarından kaynaklanan emisyonların hesabında Hükümetler Arası İklim Değişimi Paneli'nin (IPCC) 2006'da yayımlanan ve Excel programı ile oluşturulan modeli kullanılmıştır. Modelin kullanılabilmesi için öncelikle Bölüm 5'de yapılan nüfus ve atık projeksiyonları ile model girdilerinin oluşturması gerekmektedir. Atık miktarları modelde "Activity/Faaliyet" çalışma sayfasına direkt olarak girilebileceği gibi nüfus ve birim atık oluşum değeri verilerek de hesaplatılabilmektedir. Hesaplama öncesinde oluşan atığın ne kadarının depolama sahasına gönderileceğinin yüzde olarak modele girilmesi gerekmektedir. Aynı çalışma sayfasında KKA kompozisyonu da emisyon hesabı yapılan atık havzasına özgü olacak şekilde değiştirilebilmektedir. Modelde çocuk bezi, tekstil ve tahta bileşenleri atık türleri arasında bulunduğu halde Katı Atık Ana Planı'nda diğer yanabilen atık bileşenleri altında yer almaktadır. Bu atık bileşenlerinin yüzdeleri hakkında kesin bir veri olmaması nedeniyle bu atık türlerinin yüzdeleri ile ilgili varsayımda bulunularak tahmini değerler modele girilmiştir. Şekil 7.1'de model algoritması verilmektedir.



Şekil 7.1 : IPCC modeli algoritması.

IPCC'nin modeli düzensiz ve düzenli depolama sahaları için farklı metan düzeltme faktörleri (methane correction factor/MCF) belirlemiştir. Modelde düzensiz depolama sahaları da sığ ve derin olmak üzere ikiye ayrılmıştır. En yüksek metan düzeltme faktörü anaerobik koşulların daha iyi oluşması nedeniyle düzenli depolama sahalarında bulunmaktadır. Sığ olan düzensiz depolama sahalarında ise anaerobik koşullar yeterince sağlanmadığı için metan düzeltme faktörü bu tür sahalar için en düşüktür. Hesaplama yapılacak atık havzalarındaki düzensiz ve düzenli depolama sahalarının yüzdesi “MCF” çalışma sayfasına girilmektedir.

Emisyon hesaplarında ayrışabilir organik karbon (degradable organic carbon/DOC) ve metan oluşum katsayıları kullanılmaktadır. Modelde her bir atık türü için ayrışabilir organik karbon ve metan oluşum katsayıları verilmiştir. İstendiği takdirde bu katsayılar “Parameters/Parametreler” çalışma sayfasına girilerek değiştirilebilmektedir. Bu çalışmada ise modelin verdiği katsayılar değiştirilmeden kullanılmıştır.

Modelde yapılan uygulamalar ile ilgili bazı örnek resimler EK G’de verilmektedir.

7.3 Birinci Senaryo ile İlgili Uygulama Sonuçları

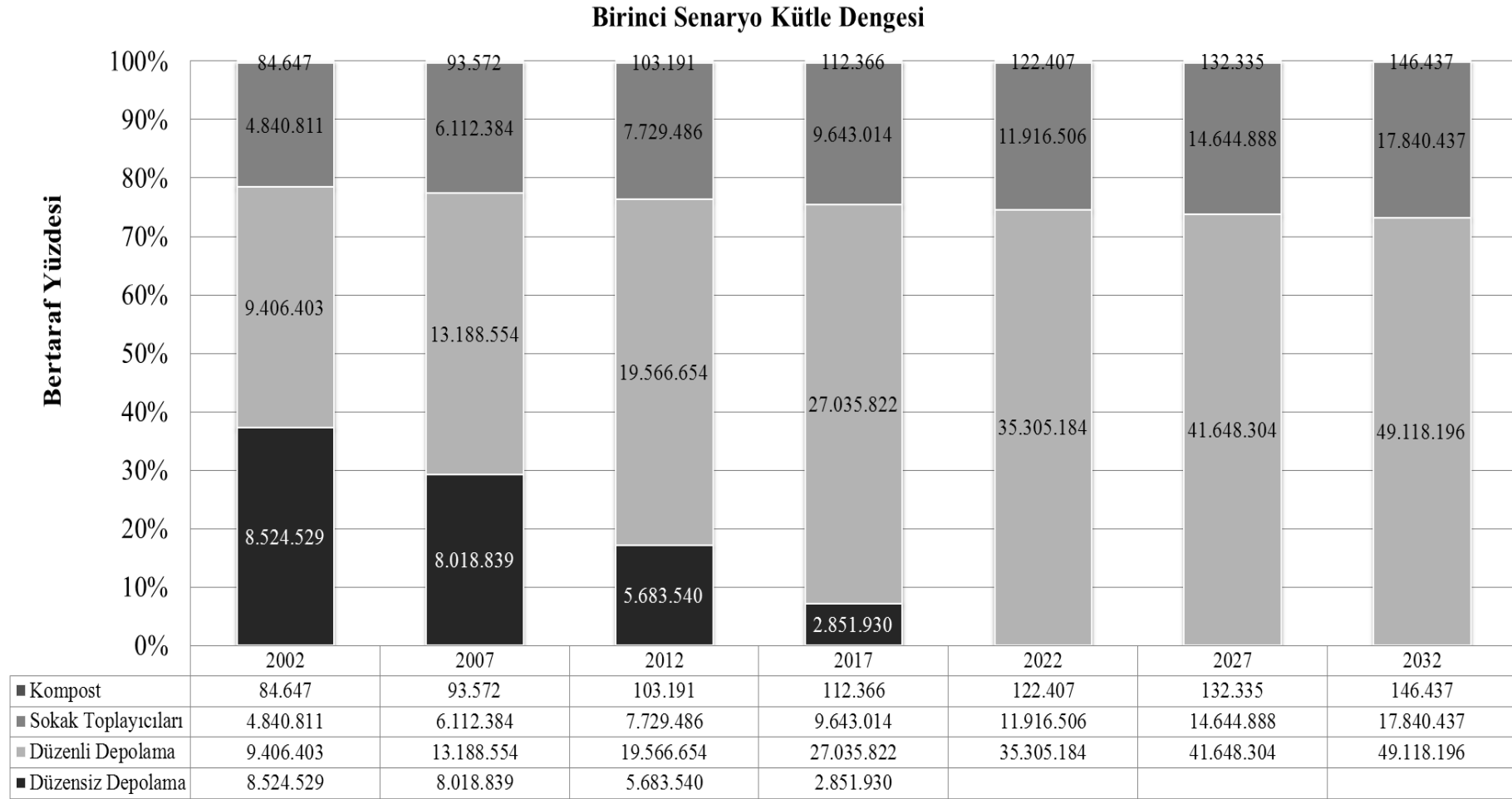
Bölüm 6.4.1’de bahsedildiği üzere birinci senaryoda atıklar ağırlıklı olarak düzenli/düzensiz depolama sahalarında bertaraf edilecektir. Depolama dışında mevcut kompost tesisleri de hizmet vermeye devam edecektir.

7.3.1 Birinci senaryo için atık akışı

Birinci senaryoda atıkların ağırlıklı olarak düzenli depolanması öngörüldüğünden oluşan atıkların büyük çoğunluğu DDT’lerde bertaraf edilecektir. DDT’lerin toplam atık bertarafı içindeki yüzdesi düzensiz depolama sahalarının rehabilite edilip kapatılmaya başlanmasıyla birlikte artmaktadır. Düzensiz depolama sahalarının tamamen kapatılmasıyla düzenli depolama tesislerinin toplam atık bertarafı içindeki katkısı %100’e yaklaşmaktadır. Çizelge 7.4’de ve Şekil 7.2’de birinci senaryo için öngörülen atık akışı verilmektedir.

Çizelge 7.4 : Birinci senaryo atık akış çizelgesi (ton atık).

YIL	Düzensiz Depolama	Düzenli Depolama	Sokak Toplayıcıları	Kompost	TOPLAM
2002	8.524.529	9.406.403	4.840.811	84.647	22.856.391
2007	8.018.839	13.188.554	6.112.384	93.572	27.413.349
2012	5.683.540	19.566.654	7.729.486	103.191	33.082.872
2017	2.851.930	27.035.822	9.643.014	112.366	39.643.133
2022		35.305.184	11.916.506	122.407	47.344.097
2027		41.648.304	14.644.888	132.335	56.425.527
2032		49.118.196	17.840.437	146.437	67.105.070



Şekil 7.2 : Birinci senaryo atık akışı (ton atık).

7.3.2 Depolama sahası sera gazı emisyonları

Atık depolama sahalarından kaynaklanan emisyonlar hesaplanırken her bir atık havzası için ayrı hesap yapılmış, daha sonra ise tüm atık havzalarında oluşan emisyonlar toplanarak toplam emisyon belirlenmiştir.

Çizelge 7.5’de birinci senaryoda hesaplanan ve depolama sahalarından kaynaklanan emisyon değerleri verilmektedir. Çizelgede metan emisyonları ile CO₂ emisyonlarının hacim olarak birbirine eşit olduğu görülmektedir. Verilen emisyonlar tüm depolama sahalarından kaynaklanan emisyonlardır. Tutulabilen metan emisyonları oluşan metan emisyonlarının Çizelge 7.2’de verilen genel gaz tutma verimi ile çarpılmasıyla elde edilmiştir. Tutulamayan metan emisyonları ise metan emisyonlarından tutulabilen metan emisyonlarının çıkarılmasıyla hesaplanmıştır. Toplam emisyon miktarının hesabında tutulamayan metan emisyonlarının CO₂ eşdeğeri, tutulabilen metan emisyonları ve oluşan CO₂ emisyonları toplanmıştır. Tutulabilen metan CO₂’ye dönüştüğü için hesaptaki bu terim CO₂ eşdeğerine çevrilmemiştir. Çizelgenin son kısmında ise hesaplanan toplam emisyonlar ton biriminde yıllık ve eklenik olarak verilmiştir.

Çizelgeye göre maksimum emisyon değeri 2033’te görülmektedir. Bu yıldaki yıllık emisyon değeri yaklaşık 30 milyon ton CO₂ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Bu tarihten itibaren ise yıllık emisyon değerinin azalarak 2052’ye gelindiğinde yaklaşık 7,5 milyon ton CO₂ eşdeğerine düşeceği tahmin edilmektedir.

Çizelge 7.5 : Birinci senaryo için depolama sahası sera gazı emisyonları.

YIL	Metan (m³)	CO₂ (m³)	Tutulabilen metan (m³)	Tutulamayan metan (m³)	Toplam metan Emisyonu (ton)	Toplam CO₂ Emisyonu (ton)	Toplam Emisyon (ton CO₂ eşdeğeri)	Eklenik Emisyon (ton CO₂ eşdeğeri)
2003	122.818.975	122.818.975	63.550.782	59.268.193	42.495	368.453	1.430.835	1.430.835
2004	235.549.219	235.549.219	122.833.048	112.716.171	80.817	708.522	2.728.959	4.159.794
2005	339.567.810	339.567.810	178.338.550	161.229.261	115.601	1.023.901	3.913.935	8.073.730
2006	437.343.566	437.343.566	231.647.852	205.695.714	147.484	1.322.596	5.009.692	13.083.422
2007	529.663.711	529.663.711	282.974.642	246.689.069	176.876	1.606.586	6.028.488	19.111.909
2008	618.470.650	618.470.650	333.630.626	284.840.023	204.230	1.882.304	6.988.062	26.099.971
2009	705.016.729	705.016.729	384.082.782	320.933.948	230.110	2.153.150	7.905.891	34.005.862
2010	815.175.047	815.175.047	439.069.254	376.105.793	269.668	2.479.641	9.221.337	43.227.199
2011	920.953.477	920.953.477	494.640.689	426.312.788	305.666	2.798.630	10.440.286	53.667.485
2012	1.000.539.003	1.000.539.003	546.713.449	453.825.554	325.393	3.058.918	11.193.741	64.861.226
2013	1.081.173.140	1.081.173.140	600.242.619	480.930.521	344.827	3.324.159	11.944.839	76.806.065
2014	1.162.493.314	1.162.493.314	654.498.408	507.994.906	364.232	3.592.193	12.698.001	89.504.066
2015	1.245.493.504	1.245.493.504	710.382.778	535.110.726	383.674	3.866.767	13.458.627	102.962.693
2016	1.330.378.482	1.330.378.482	768.026.399	562.352.083	403.206	4.148.546	14.228.708	117.191.401
2017	1.416.891.918	1.416.891.918	827.304.296	589.587.622	422.734	4.436.776	15.005.134	132.196.535
2018	1.506.849.182	1.506.849.182	889.538.049	617.311.133	442.612	4.737.658	15.802.960	147.999.495
2019	1.600.231.620	1.600.231.620	954.830.724	645.400.896	462.752	5.051.358	16.620.169	164.619.664
2020	1.697.145.587	1.697.145.587	1.023.225.310	673.920.277	483.201	5.378.173	17.458.194	182.077.858
2021	1.797.752.640	1.797.752.640	1.094.828.709	702.923.931	503.996	5.718.633	18.318.545	200.396.403
2022	1.898.648.694	1.898.648.694	1.166.537.043	732.111.650	524.924	6.059.872	19.182.974	219.579.376
2023	2.000.587.917	2.000.587.917	1.238.858.886	761.729.031	546.160	6.404.386	20.058.379	239.637.756
2024	2.103.808.092	2.103.808.092	1.311.934.090	791.874.002	567.774	6.752.922	20.947.264	260.585.019
2025	2.208.150.385	2.208.150.385	1.385.658.518	822.491.867	589.727	7.104.960	21.848.127	282.433.146
2026	2.314.565.715	2.314.565.715	1.460.644.470	853.921.244	612.262	7.463.591	22.770.129	305.203.275
2027	2.422.872.955	2.422.872.955	1.536.806.553	886.066.402	635.310	7.828.286	23.711.027	328.914.302
2028	2.533.564.515	2.533.564.515	1.614.469.007	919.095.508	658.991	8.200.662	24.675.449	353.589.751
2029	2.646.919.885	2.646.919.885	1.693.838.175	953.081.710	683.360	8.581.679	25.665.668	379.255.419
2030	2.764.597.655	2.764.597.655	1.775.985.620	988.612.035	708.835	8.976.733	26.697.604	405.953.023

Çizelge 7.5 (devam) : Birinci senaryo depolama sahası emisyonları.

2031	2.885.987.519	2.885.987.519	1.860.577.044	1.025.410.475	735.219	9.383.958	27.764.441	433.717.464
2032	3.010.057.805	3.010.057.805	1.946.951.569	1.063.106.236	762.247	9.800.008	28.856.187	462.573.651
2033	3.137.093.728	3.137.093.728	2.035.297.868	1.101.795.860	789.988	10.225.818	29.975.509	492.549.160
2034	2.877.600.024	2.877.600.024	1.872.611.555	1.004.988.469	720.577	9.391.168	27.405.587	519.954.747
2035	2.646.900.614	2.646.900.614	1.727.325.069	919.575.545	659.336	8.647.844	25.131.236	545.085.982
2036	2.441.011.979	2.441.011.979	1.597.120.498	843.891.482	605.070	7.983.388	23.110.143	568.196.125
2037	2.256.569.638	2.256.569.638	1.480.023.502	776.546.136	556.784	7.387.245	21.306.834	589.502.959
2038	2.090.727.032	2.090.727.032	1.374.351.046	716.375.986	513.642	6.850.459	19.691.499	609.194.458
2039	1.941.071.250	1.941.071.250	1.278.666.852	662.404.398	474.944	6.365.422	18.239.021	627.433.479
2040	1.805.552.778	1.805.552.778	1.191.743.559	613.809.219	440.101	5.925.655	16.928.185	644.361.664
2041	1.682.426.915	1.682.426.915	1.112.530.632	569.896.283	408.616	5.525.631	15.741.022	660.102.686
2042	1.570.204.892	1.570.204.892	1.040.127.204	530.077.688	380.066	5.160.627	14.662.269	674.764.955
2043	1.467.613.084	1.467.613.084	973.759.122	493.853.962	354.093	4.826.593	13.678.925	688.443.881
2044	1.373.558.940	1.373.558.940	912.759.559	460.799.380	330.393	4.520.052	12.779.881	701.223.761
2045	1.287.102.529	1.287.102.529	856.552.668	430.549.861	308.704	4.238.006	11.955.613	713.179.374
2046	1.207.432.749	1.207.432.749	804.639.783	402.792.965	288.803	3.977.867	11.197.931	724.377.305
2047	1.133.847.417	1.133.847.417	756.587.798	377.259.619	270.495	3.737.390	10.499.769	734.877.074
2048	1.065.736.618	1.065.736.618	712.019.363	353.717.254	253.615	3.514.624	9.855.005	744.732.079
2049	1.002.568.737	1.002.568.737	670.604.627	331.964.110	238.018	3.307.864	9.258.320	753.990.400
2050	943.878.759	943.878.759	632.054.267	311.824.493	223.578	3.115.620	8.705.074	762.695.473
2051	889.258.441	889.258.441	596.113.616	293.144.825	210.185	2.936.581	8.191.202	770.886.675
2052	838.348.052	838.348.052	562.557.704	275.790.347	197.742	2.769.591	7.713.133	778.599.808

7.3.3 Kompost tesisi emisyonları

Birinci senaryoda Bölüm 6.2’de belirtilmiş olan mevcut kompost tesislerinin 2032 sonuna dek işletileceği kabul edilmiştir. Kompost tesislerinden kaynaklanan emisyonlar hesaplanırken Boldrin ve diğ. (2009) tarafından belirtilen emisyon faktörü kullanılmıştır. Çizelge 7.3’de hesaplarda kullanılan emisyon faktörleri verilmiştir. Birinci senaryoda kompost tesislerden kaynaklanacak emisyonlar Çizelge 7.6’de gösterilmektedir.

Çizelge 7.6 : Birinci senaryo kompost tesisi emisyonları.

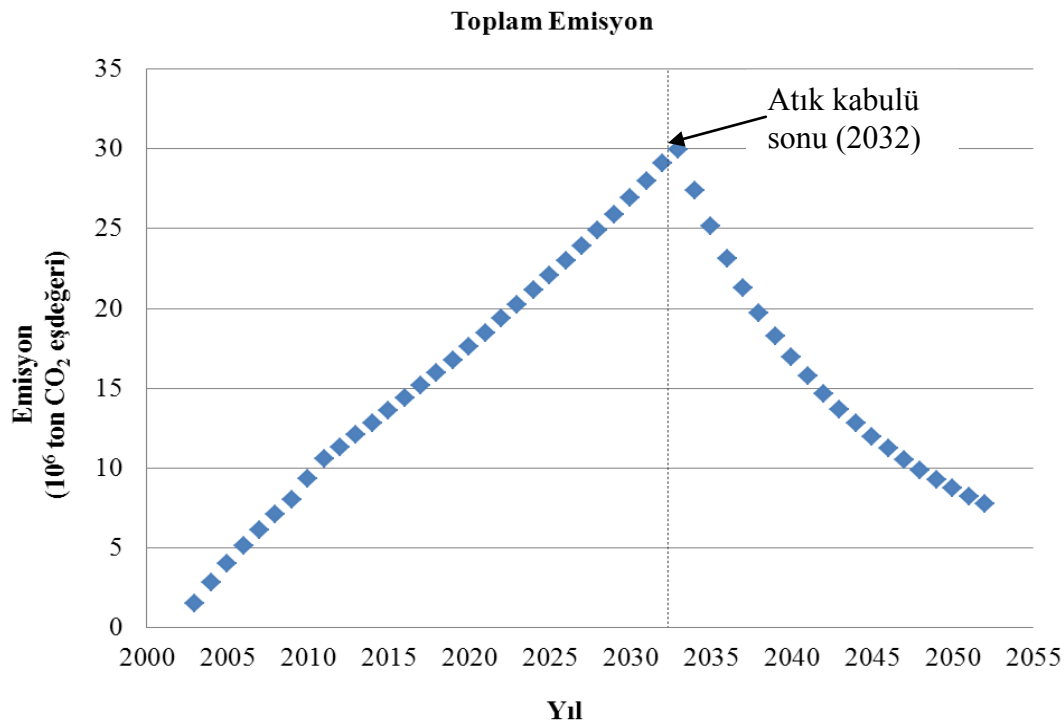
YIL	Kompostlaştırılacak Atık (ton)	CO ₂ (ton)	Metan (ton)	Toplam Emisyon (ton CO ₂ eşdeğeri)	Eklenik Emisyon (ton CO ₂ eşdeğeri)
2003	277.245	88.718	252	95.026	95.026
2004	287.597	92.031	262	98.574	193.600
2005	300.498	96.159	273	102.996	296.595
2006	311.234	99.595	283	106.675	403.270
2007	324.198	103.743	295	111.119	514.389
2008	338.000	108.160	308	115.850	630.239
2009	352.466	112.789	321	120.808	751.046
2010	369.618	118.278	336	126.686	877.733
2011	384.231	122.954	350	131.695	1.009.428
2012	399.176	127.736	363	136.818	1.146.246
2013	414.965	132.789	378	142.229	1.288.475
2014	433.821	138.823	395	148.692	1.437.167
2015	450.521	144.167	410	154.416	1.591.583
2016	466.673	149.335	425	159.952	1.751.536
2017	483.671	154.775	440	165.778	1.917.314
2018	503.422	161.095	458	172.548	2.089.862
2019	523.675	167.576	477	179.489	2.269.351
2020	541.983	173.434	493	185.765	2.455.116
2021	562.594	180.030	512	192.829	2.647.945
2022	583.644	186.766	531	200.044	2.847.989
2023	605.152	193.649	551	207.416	3.055.404
2024	627.138	200.684	571	214.951	3.270.356
2025	649.600	207.872	591	222.650	3.493.006
2026	674.365	215.797	614	231.139	3.724.145
2027	699.607	223.874	637	239.790	3.963.935
2028	725.335	232.107	660	248.608	4.212.543
2029	754.820	241.542	687	258.714	4.471.258
2030	785.376	251.320	715	269.188	4.740.445
2031	813.998	260.479	741	278.998	5.019.443
2032	843.024	269.768	767	288.947	5.308.390

Çizelge incelendiğinde 2032 yılında kompost tesislerinden kaynaklanan yıllık emisyon yaklaşık 289.000 ton CO₂ eşdeğeri olmaktadır. Buradan da görüldüğü üzere

kompost tesislerinden kaynaklanan emisyon depolama tesislerinden kaynaklanan emisyonlardan çok daha düşük seviyelerdedir.

7.3.4 Toplam emisyonlar

Birinci senaryoda oluşacak toplam emisyon depolama sahası emisyonları ile kompost tesisi emisyonlarının toplamına eşit olmaktadır. Bu senaryoda 2052 yılına gelindiğinde eklenik olarak yaklaşık 783,2 milyon ton CO₂ eşdeğeri emisyonun atmosfere salınacağı tahmin edilmektedir. Birinci senaryoda hesaplanan yıllık emisyon değerleri Şekil 7.3’de verilmektedir.



Şekil 7.3 : Birinci senaryo için yıllık sera gazı emisyonları.

7.4 İkinci Senaryo ile İlgili Uygulama Sonuçları

Bölüm 6.4.2’de bahsedildiği üzere ikinci senaryoda büyükşehir belediyelerinde ve diğer belediyelerde iki ayrı atık yönetimi uygulanacaktır. Bu senaryoda büyükşehir belediyelerinde (3b atık havzası hariç) atıklar ağırlıklı olarak yakma tesislerinde yakılarak bertaraf edilecektir. Diğer belediyelerde ise etkin ikili (ayrı) toplama sistemi uygulanarak biyobozunur atıkların (mutfak atıkları ile park ve bahçe atıkları) biyometanizasyon, ambalaj atıklarının ise MGT’lere yönlendirilmesi hedeflenmektedir. Ayrı toplanamayan tüm atıklar ise DDT’lerde bertaraf edilecektir.

7.4.1 İkinci ve üçüncü senaryo için atık akışı

İkinci ve üçüncü senaryoda birinci senaryoda olduğu gibi ilk yıllarda oluşan atıkların büyük çoğunluğu düzensiz depolama sahalarına gönderilmektedir. İlerleyen yıllarda ise düzenli depolama tesislerinin sayısının artmasıyla düzenli depolama tesislerine alınan atık miktarı artmaya başlamaktadır. 2015’den itibaren büyükşehir belediyelerinde yakma tesislerinin faaliyete alınması ve aynı tarihten itibaren diğer belediyelerde ikili toplamının yaygınlaşmasıyla birlikte depolamanın toplam atık bertarafı içindeki yüzdesi azalmaya, yakma, MGT ve kompost/biyometanizasyon tesislerinin yüzdesi ise artmaya başlamaktadır. Çizelge 7.8’de ve Şekil 7.4’de ikinci ve üçüncü senaryo için öngörülen atık akışı verilmektedir.

7.4.2 Yakma tesisi sera gazı emisyonları

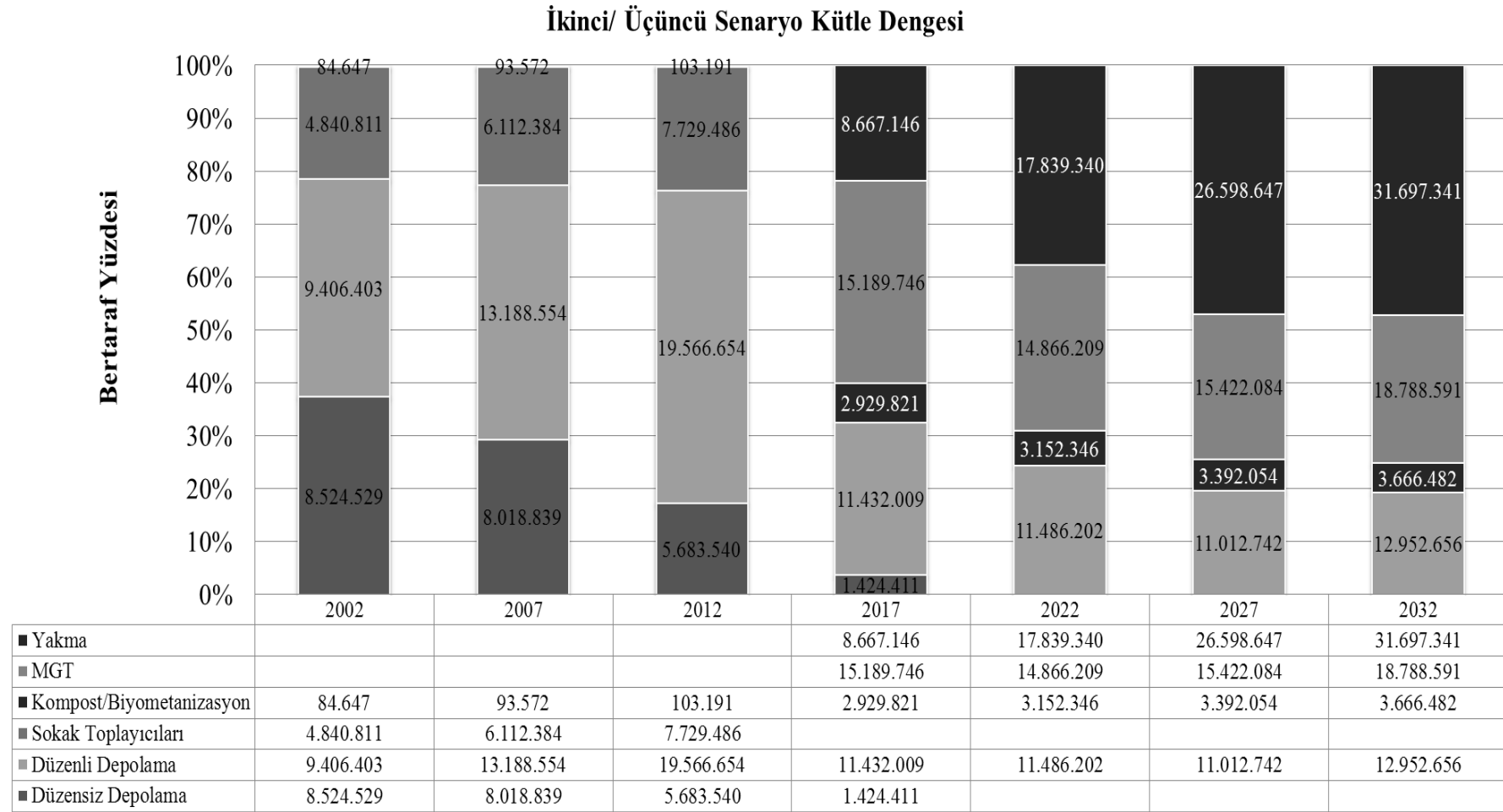
Yakma tesislerinden kaynaklanan emisyonlar hesaplanırken EPA’nın (1996) hava kirleticileri için verdiği emisyon faktörleri (AP-42) kullanılmıştır. Çizelge 7.2’de hesaplarda kullanılan emisyon faktörü verilmiştir. İkinci senaryoda yakma tesislerden kaynaklanacak emisyonlar Çizelge 7.7’de gösterilmektedir.

Çizelge 7.7 : İkinci senaryo yakma tesisi emisyonları.

YIL	Yakmaya Gönderilen Atık (ton)	Toplam Emisyon (ton CO ₂ eşdeğeri)	Eklenik Emisyon (ton CO ₂ eşdeğeri)
2015	5.675.968	5.675.968	5.675.968
2016	7.062.838	7.062.838	12.738.806
2017	8.552.390	8.552.390	21.291.196
2018	10.150.847	10.150.847	31.442.043
2019	11.849.153	11.849.153	43.291.196
2020	13.648.704	13.648.704	56.939.900
2021	15.562.395	15.562.395	72.502.295
2022	17.594.467	17.594.467	90.096.762
2023	19.758.495	19.758.495	109.855.257
2024	22.051.669	22.051.669	131.906.926
2025	24.472.903	24.472.903	156.379.829
2026	25.332.442	25.332.442	181.712.271
2027	26.223.685	26.223.685	207.935.955
2028	27.137.437	27.137.437	235.073.393
2029	28.172.375	28.172.375	263.245.768
2030	29.238.331	29.238.331	292.484.099
2031	30.234.389	30.234.389	322.718.487
2032	31.248.992	31.248.992	353.967.479

Çizelge 7.8 : İkinci ve üçüncü senaryo atık akış çizelgesi (ton atık).

YIL	Düzensiz Depolama	Düzenli Depolama	Sokak Toplayıcıları	Kompost/ Biyometanizasyon	MGT	Yakma	TOPLAM
2002	8.524.529	9.406.403	4.840.811	84.647			22.856.391
2007	8.018.839	13.188.554	6.112.384	93.572			27.413.349
2012	5.683.540	19.566.654	7.729.486	103.191			33.082.872
2017	1.424.411	11.432.009		2.929.821	15.189.746	8.667.146	39.643.133
2022		11.486.202		3.152.346	14.866.209	17.839.340	47.344.097
2027		11.012.742		3.392.054	15.422.084	26.598.647	56.425.527
2032		12.952.656		3.666.482	18.788.591	31.697.341	67.105.070



Şekil 7.4 : İkinci ve üçüncü senaryo atık akışı (ton atık).

Çizelge 7.7'ye göre 2032 yılındaki emisyon değerinin yaklaşık 31 milyon ton CO₂ eşdeğeri olacağı tahmin edilmektedir. Yakma tesislerinin tam kapasite olarak 2025'te hizmet vermeye başlamasıyla birlikte emisyon değerlerinin sonraki yıllarda aynı oranda arttığı görülmektedir.

7.4.3 Depolama sahası sera gazı emisyonları

İkinci senaryoda büyükşehir belediyeleri için (3b atık havzası hariç) depolama sahası emisyonları yakma tesislerinin devreye girmesine paralel olarak 2015'ten itibaren azalmaktadır. 2015'ten itibaren benzer durum diğer belediyelerde de görülmektedir. Diğer belediyelerdeki depolama sahası emisyonlarının azalış nedeni ise ikili toplama ile biyobozunur atıkların ağırlıklı olarak biyometanizasyon tesislerine kabul edilmesidir.

İkinci senaryoda hesaplanan depolama sahası emisyonları Çizelge 7.9'da verilmektedir. Çizelgeye göre maksimum emisyon değeri 2020'de görülmektedir. 2019'daki yıllık emisyon değeri yaklaşık 11,5 milyon ton CO₂ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Daha önce de ifade edildiği gibi, depolama sahalarından kaynaklanan emisyonlarda 2015 yılından itibaren yakma tesislerinin devreye alınması dolayısıyla önemli bir artış görülmemektedir. 2015-2033 döneminde yıllık emisyon değeri yaklaşık olarak aynı olmaktadır. 2033 tarihinden itibaren ise yıllık emisyon değerinin azalarak 2052'ye gelindiğinde yaklaşık 3 milyon ton CO₂ eşdeğerine düşeceği tahmin edilmektedir.

Çizelge 7.9 : İkinci senaryo depolama sahası emisyonları.

YIL	Metan (m³)	CO₂ (m³)	Tutulabilen metan (m³)	Tutulamayan metan (m³)	Toplam metan Emisyonu (ton)	Toplam CO₂ Emisyonu (ton)	Toplam Emisyon (ton CO₂ eşdeğeri)	Eklenik Emisyon (ton CO₂ eşdeğeri)
2003	119.196.628	119.196.628	70.435.688	48.760.940	34.962	374.903	1.248.943	1.248.943
2004	228.743.058	228.743.058	135.742.996	93.000.063	66.681	720.589	2.387.615	3.636.558
2005	329.938.268	329.938.268	196.558.267	133.380.001	95.633	1.040.884	3.431.720	7.068.278
2006	425.160.194	425.160.194	254.456.353	170.703.841	122.395	1.343.602	4.403.468	11.471.746
2007	515.132.411	515.132.411	309.778.895	205.353.516	147.238	1.630.850	5.311.811	16.783.558
2008	601.750.448	601.750.448	363.774.022	237.976.426	170.629	1.908.842	6.174.569	22.958.127
2009	686.177.958	686.177.958	417.091.961	269.085.997	192.935	2.181.165	7.004.531	29.962.658
2010	792.952.854	792.952.854	479.157.247	313.795.607	224.991	2.514.962	8.139.748	38.102.406
2011	895.615.144	895.615.144	540.455.439	355.159.705	254.650	2.839.112	9.205.349	47.307.755
2012	973.468.674	973.468.674	592.985.565	380.483.109	272.806	3.096.880	9.917.040	57.224.795
2013	1.052.343.821	1.052.343.821	646.655.139	405.688.682	290.879	3.358.921	10.630.891	67.855.686
2014	1.119.242.866	1.119.242.866	694.868.192	424.374.675	304.277	3.586.498	11.193.414	79.049.099
2015	1.170.882.836	1.170.882.836	735.896.359	434.986.477	311.885	3.769.702	11.566.835	90.615.934
2016	1.183.149.488	1.183.149.488	752.095.366	431.054.123	309.066	3.825.979	11.552.624	102.168.559
2017	1.194.251.299	1.194.251.299	766.261.945	427.989.354	306.868	3.875.935	11.547.644	113.716.203
2018	1.204.546.769	1.204.546.769	778.940.958	425.605.811	305.159	3.921.355	11.550.339	125.266.542
2019	1.213.601.330	1.213.601.330	790.027.884	423.573.446	303.702	3.961.175	11.553.729	136.820.271
2020	1.220.892.844	1.220.892.844	799.288.050	421.604.794	302.291	3.993.898	11.551.164	148.371.434
2021	1.226.000.233	1.226.000.233	806.545.942	419.454.291	300.749	4.018.344	11.537.062	159.908.496
2022	1.227.207.238	1.227.207.238	810.420.044	416.787.194	298.836	4.028.389	11.499.300	171.407.796
2023	1.224.552.491	1.224.552.491	811.070.273	413.482.218	296.467	4.024.426	11.436.095	182.843.891
2024	1.217.842.579	1.217.842.579	808.464.361	409.378.218	293.524	4.006.009	11.344.113	194.188.004
2025	1.206.757.861	1.206.757.861	802.459.137	404.298.725	289.882	3.972.222	11.219.277	205.407.281
2026	1.191.332.811	1.191.332.811	793.124.904	398.207.906	285.515	3.923.273	11.061.150	216.468.431
2027	1.181.257.661	1.181.257.661	787.295.112	393.962.550	282.471	3.891.829	10.953.608	227.422.038
2028	1.176.016.787	1.176.016.787	784.648.301	391.368.486	280.611	3.876.235	10.891.515	238.313.553
2029	1.175.138.178	1.175.138.178	784.886.164	390.252.014	279.811	3.874.968	10.870.235	249.183.789
2030	1.178.653.813	1.178.653.813	788.031.119	390.622.693	280.076	3.888.136	10.890.048	260.073.837

Çizelge 7.9 (devam) : İkinci senaryo depolama sahası emisyonları.

2031	1.185.963.937	1.185.963.937	793.708.082	392.255.856	281.247	3.913.812	10.944.998	271.018.834
2032	1.196.441.530	1.196.441.530	801.505.300	394.936.230	283.169	3.949.941	11.029.173	282.048.007
2033	1.209.889.919	1.209.889.919	811.292.767	398.597.152	285.794	3.995.878	11.140.732	293.188.739
2034	1.114.170.359	1.114.170.359	748.460.227	365.710.131	262.214	3.682.421	10.237.775	303.426.514
2035	1.028.634.648	1.028.634.648	692.153.349	336.481.299	241.257	3.401.998	9.433.425	312.859.939
2036	951.910.415	951.910.415	641.514.071	310.396.344	222.554	3.150.200	8.714.055	321.573.994
2037	882.835.961	882.835.961	595.812.274	287.023.687	205.796	2.923.288	8.068.187	329.642.181
2038	820.426.022	820.426.022	554.425.831	266.000.190	190.722	2.718.082	7.486.136	337.128.317
2039	763.843.215	763.843.215	516.823.772	247.019.443	177.113	2.531.879	6.959.702	344.088.019
2040	712.374.237	712.374.237	482.552.075	229.822.162	164.782	2.362.369	6.481.932	350.569.950
2041	665.409.990	665.409.990	451.221.702	214.188.288	153.573	2.207.581	6.046.906	356.616.856
2042	622.429.007	622.429.007	422.498.529	199.930.478	143.350	2.065.822	5.649.576	362.266.432
2043	582.983.598	582.983.598	396.094.867	186.888.731	133.999	1.935.638	5.285.619	367.552.050
2044	546.688.283	546.688.283	371.762.337	174.925.945	125.422	1.815.777	4.951.324	372.503.375
2045	513.210.112	513.210.112	349.285.870	163.924.242	117.534	1.705.155	4.643.497	377.146.871
2046	482.260.575	482.260.575	328.478.666	153.781.909	110.262	1.602.831	4.359.372	381.506.244
2047	453.588.822	453.588.822	309.177.954	144.410.869	103.543	1.507.990	4.096.555	385.602.798
2048	426.975.982	426.975.982	291.241.416	135.734.566	97.322	1.419.916	3.852.958	389.455.756
2049	402.230.400	402.230.400	274.544.187	127.686.213	91.551	1.337.983	3.626.759	393.082.515
2050	379.183.634	379.183.634	258.976.319	120.207.315	86.189	1.261.642	3.416.358	396.498.873
2051	357.687.098	357.687.098	244.440.649	113.246.449	81.198	1.190.407	3.220.349	399.719.222
2052	337.609.224	337.609.224	230.850.992	106.758.233	76.546	1.123.846	3.037.487	402.756.710

7.4.4 Biyometanizasyon ve kompost tesisi emisyonları

İkinci senaryoda Bölüm 6.2’de belirtilmiş olan mevcut kompost tesislerinin 2014 sonuna dek işletileceği kabul edilmiştir. Bu tarihten itibaren bu tesisler devre dışı bırakılacaktır. Biyometanizasyon tesisleri ise 2013 yılında devreye alınmaya başlanacak ve 2015’de tam kapasite ile hizmet vermeye başlayacaktır. Biyometanizasyon tesislerinden kaynaklanan emisyonlar hesaplanırken anaerobik bozunma reaksiyonundaki stokiyometrik katsayılar kullanılarak emisyon değerleri hesaplanmıştır. Oluşan metanın ise yakılarak tamamının atmosfere CO₂ olarak verileceği kabul edilmiştir. Çizelge 7.3’de hesaplamalarda kullanılan emisyon faktörleri verilmiştir.

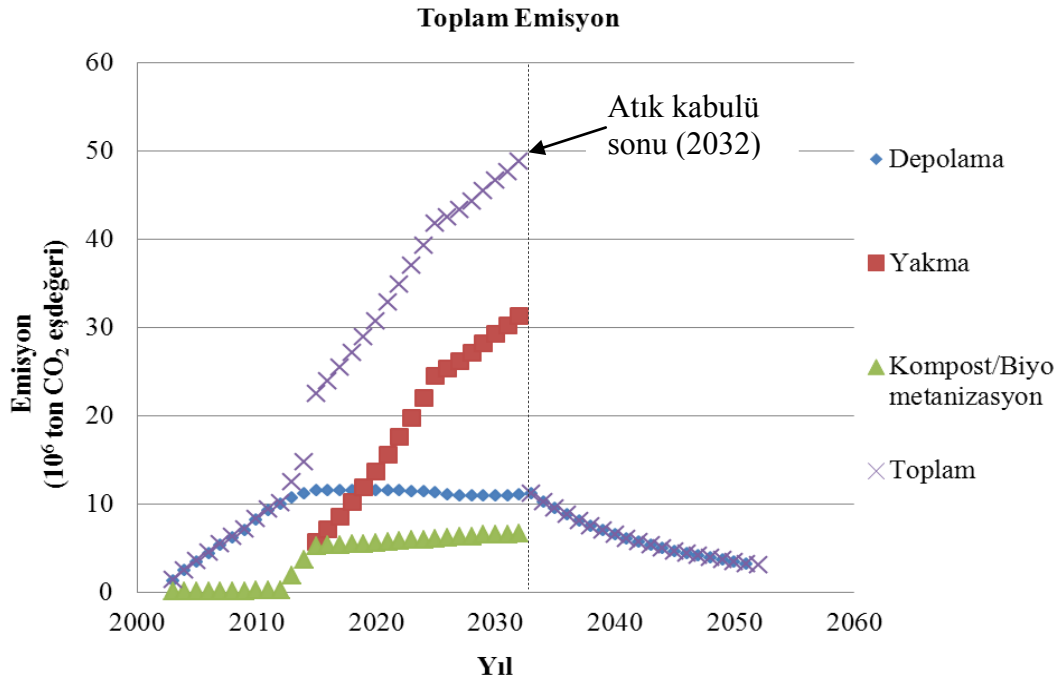
Çizelge 7.10 : İkinci senaryo biyometanizasyon ve kompost tesisi emisyonları.

YIL	Atık (ton)	CO ₂ (ton)	Metan (ton)	Toplam Emisyon (ton CO ₂ eşdeğeri)	Eklenik Emisyon (ton CO ₂ eşdeğeri)
2003	277.245	88.718	252	95.026	95.026
2004	287.597	92.031	262	98.574	193.600
2005	300.498	96.159	273	102.996	296.595
2006	311.234	99.595	283	106.675	403.270
2007	324.198	103.743	295	111.119	514.389
2008	338.000	108.160	308	115.850	630.239
2009	352.466	112.789	321	120.808	751.046
2010	369.618	118.278	336	126.686	877.733
2011	384.231	122.954	350	131.695	1.009.428
2012	399.176	127.736	363	136.818	1.146.246
2013	1.036.597	365.918.907	470.615.251	1.795.650	2.941.896
2014	2.147.840	758.187.590	975.119.450	3.575.018	6.516.914
2015	3.241.829	1.144.365.761	1.471.790.525	5.172.141	11.689.055
2016	3.283.239	1.158.983.310	1.490.590.432	5.238.207	16.927.262
2017	3.323.610	1.173.234.204	1.508.918.778	5.302.616	22.229.879
2018	3.365.650	1.188.074.481	1.528.005.140	5.369.689	27.599.568
2019	3.413.442	1.204.944.988	1.549.702.619	5.445.938	33.045.506
2020	3.458.205	1.220.746.243	1.570.024.913	5.517.355	38.562.861
2021	3.561.595	1.257.243.142	1.616.964.268	5.682.308	44.245.169
2022	3.614.676	1.275.980.639	1.641.062.918	5.766.995	50.012.164
2023	3.671.395	1.296.002.518	1.666.813.436	5.857.487	55.869.651
2024	3.715.879	1.311.705.296	1.687.009.078	5.928.458	61.798.110
2025	3.774.647	1.332.450.282	1.713.689.597	6.022.219	67.820.328
2026	3.824.551	1.350.066.532	1.736.346.192	6.101.838	73.922.166
2027	3.883.299	1.370.804.547	1.763.017.745	6.195.567	80.117.733
2028	3.943.647	1.392.107.500	1.790.415.879	6.291.849	86.409.581
2029	4.020.923	1.419.385.654	1.825.498.829	6.415.137	92.824.718
2030	4.082.691	1.441.189.950	1.853.541.748	6.513.685	99.338.403
2031	4.070.312	1.436.820.095	1.847.921.596	6.493.934	105.832.337
2032	4.126.729	1.456.735.458	1.873.535.121	6.583.945	112.416.282

İkinci senaryoda biyometanizasyon ve kompost tesislerden kaynaklanacak emisyonlar Çizelge 7.10’da verilmektedir. Çizelge incelendiğinde 2013 yılından itibaren biyometanizasyon tesislerinin devreye girmesiyle emisyon değerlerinde artış görülmektedir. 2015 yılında ise biyometanizasyon tesislerinin tam kapasite ile hizmet vermeye başlamasıyla emisyon değerlerinde daha belirgin bir artış olacağı tahmin edilmektedir. 2032 yılına gelindiğinde ise yıllık emisyonun yaklaşık 6,5 milyon ton CO₂ eşdeğerine ulaşması beklenmektedir.

7.4.5 Toplam emisyonlar

İkinci senaryoda oluşacak toplam emisyon, yakma tesisi emisyonları, depolama sahası emisyonları ile kompost ve biyometanizasyon tesisi emisyonlarının toplamına eşit olmaktadır. Bu senaryoda 2052 yılına gelindiğinde eklenik olarak yaklaşık 869,6 milyon ton CO₂ eşdeğeri emisyonun gerçekleşeceği tahmin edilmektedir. İkinci senaryoda hesaplanan yıllık emisyon değerleri Şekil 7.5’de verilmektedir.



Şekil 7.5 : İkinci senaryo için yıllık sera gazı emisyonları.

7.5 Üçüncü Senaryo ile İlgili Uygulama Sonuçları

Çalışılan üçüncü senaryoda ikinci senaryoda olduğu gibi büyükşehir belediyelerinde (3b atık havzası hariç) KKA'nın ağırlıklı olarak yakma tesislerinden yakılarak bertaraf edilmesi öngörülmektedir. Yakma tesislerinde bertaraf edilmeyen KKA ise düzenli depolama tesislerinde depolanacaktır. Yakma tesislerine ve depolama tesislerine gidecek atık miktarları ikinci senaryo ile aynı olacaktır. Üçüncü senaryoda yakma tesislerine ve depolama tesislerine gidecek atık miktarları ve buna bağlı olarak oluşacak emisyonlar Bölüm 7.4.2 Çizelge 7.7'de ve Bölüm 7.4.3 Çizelge 7.9'da verilmiştir.

Çizelge 7.11 : Üçüncü senaryo kompost tesisi emisyonları.

YIL	Atık (ton)	CO ₂ (ton)	Metan (ton)	Toplam Emisyon (ton CO ₂ eşdeğeri)	Eklenik Emisyon (ton CO ₂ eşdeğeri)
2003	277.245	88.718	252	95.026	95.026
2004	287.597	92.031	262	98.574	193.600
2005	300.498	96.159	273	102.996	296.595
2006	311.234	99.595	283	106.675	403.270
2007	324.198	103.743	295	111.119	514.389
2008	338.000	108.160	308	115.850	630.239
2009	352.466	112.789	321	120.808	751.046
2010	369.618	118.278	336	126.686	877.733
2011	384.231	122.954	350	131.695	1.009.428
2012	399.176	127.736	363	136.818	1.146.246
2013	1.036.597	331.711	943	497.115	1.643.361
2014	2.147.840	687.309	1.955	884.443	2.527.804
2015	3.241.829	1.037.385	2.950	1.111.137	3.638.941
2016	3.283.239	1.050.636	2.988	1.125.330	4.764.271
2017	3.323.610	1.063.555	3.024	1.139.167	5.903.438
2018	3.365.650	1.077.008	3.063	1.153.577	7.057.015
2019	3.413.442	1.092.301	3.106	1.169.957	8.226.972
2020	3.458.205	1.106.625	3.147	1.185.300	9.412.272
2021	3.561.595	1.139.710	3.241	1.220.737	10.633.008
2022	3.614.676	1.156.696	3.289	1.238.930	11.871.939
2023	3.671.395	1.174.846	3.341	1.258.371	13.130.309
2024	3.715.879	1.189.081	3.381	1.273.618	14.403.927
2025	3.774.647	1.207.887	3.435	1.293.760	15.697.687
2026	3.824.551	1.223.856	3.480	1.310.865	17.008.552
2027	3.883.299	1.242.656	3.534	1.331.001	18.339.553
2028	3.943.647	1.261.967	3.589	1.351.685	19.691.238
2029	4.020.923	1.286.695	3.659	1.378.171	21.069.409
2030	4.082.691	1.306.461	3.715	1.399.342	22.468.751
2031	4.070.312	1.302.500	3.704	1.395.099	23.863.851
2032	4.126.729	1.320.553	3.755	1.414.436	25.278.287

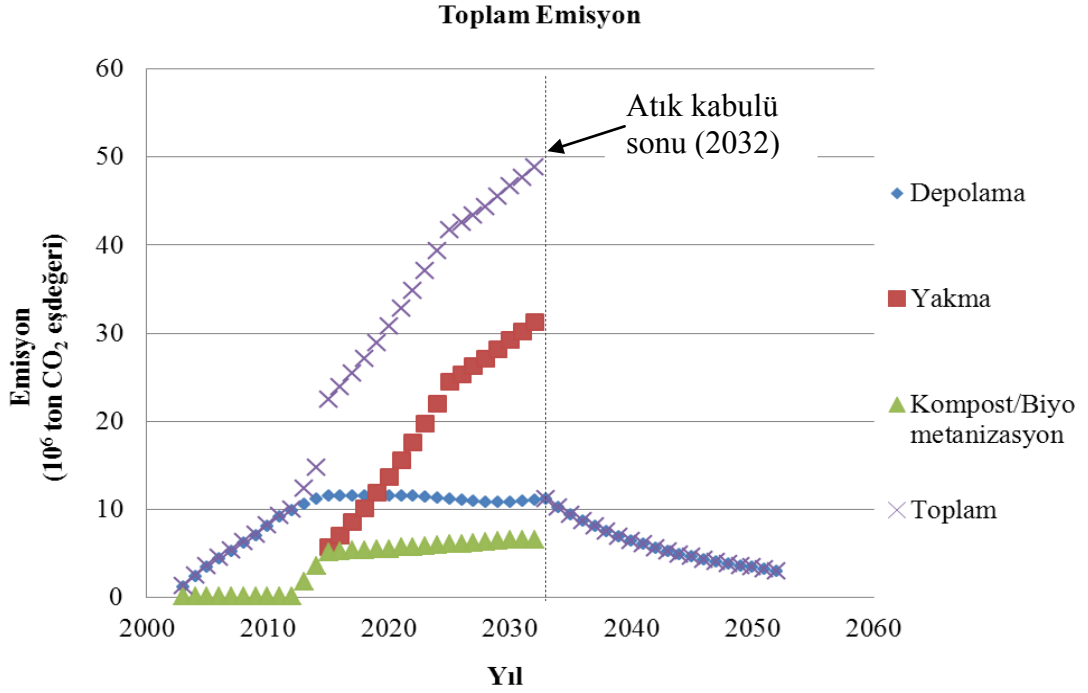
7.5.1 Kompost tesisi emisyonları

Bu senaryoda işletilmekte olan kompost tesislerinin 2032 yılı sonuna dek işletilmeye devam edileceği, kompost tesisi olmayan diğer belediyelerde ise 2013'ten itibaren kompost tesisleri kurulacağı kabul edilmiştir. 2013'te kurulacak kompost tesislerinin ikili toplama veriminin %67'ye ulaşacağı 2015'de tam kapasite ile hizmet vermeye başlayacağı öngörülmektedir. Kompost tesisi emisyonlarının hesabında Çizelge 7.2'de verilen emisyon faktörü kullanılmıştır. Üçüncü senaryoda kompost tesislerinden kaynaklanacak emisyonlar Çizelge 7.11'de verilmektedir.

Çizelge 7.11'e göre 2013 yılından itibaren kompost tesislerinin devreye girmesiyle emisyon değerlerinde artış görülmektedir. 2015 yılında ise kompost tesisleri tam kapasite ile hizmet vermeye başlayacağından oluşan emisyon değerlerinin hızlı bir şekilde artması beklenmektedir. 2032 yılında yıllık emisyon değerlerinin yaklaşık 1,4 milyon ton CO₂ eşdeğerine ulaşacağı tahmin edilmektedir.

7.5.2 Toplam emisyonlar

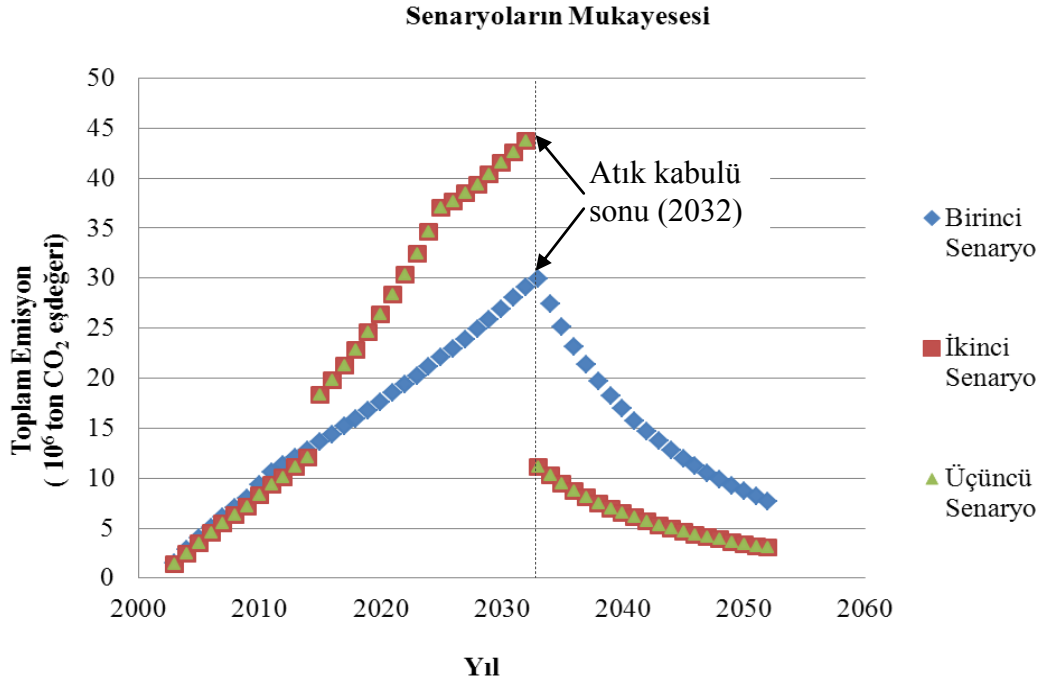
Üçüncü senaryoda büyükşehir belediyelerindeki atık bertarafı faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları ikinci senaryo ile aynı olmaktadır. Bu senaryoda ikinci senaryodan farklı olarak diğer belediyelerde ikili olarak ayrı toplanabilen biyobozunur atıklar biyometanizasyon tesisleri yerine kompost tesislerine gönderilmiştir. Üçüncü senaryoda 2052 yılındaki eklenik emisyonun yaklaşık 782,1 milyon ton CO₂ eşdeğeri olacağı tahmin edilmektedir. Bu bölümde hesaplanan yıllık emisyon değerleri Şekil 7.6'da verilmektedir.



Şekil 7.6 : Üçüncü senaryo için yıllık sera gazı emisyonları.

7.6 Senaryoların Mukayesesi

Çalışmada önerilen senaryolardan KKA'nın ağırlıklı olarak depolanmasını öngören birinci senaryo ile büyükşehir belediyelerindeki KKA'nın ağırlıklı olarak yakılmasını, diğer belediyelerdeki KKA'nın ise MGT ve kompost tesislerinde işlenmesini öngören üçüncü senaryonun 2003-2052 dönemi için yaklaşık aynı miktarda sera gazı salımına neden olacağı görülmüştür. Söz konusu dönemde birinci senaryonun uygulanması durumunda ~783,2 milyon ton CO₂ eşdeğeri emisyonun atmosfere verileceği hesaplanırken üçüncü senaryonun uygulanması durumunda bu değer ~782,1 milyon ton CO₂ eşdeğeri olduğu belirlenmiştir. Büyükşehir belediyelerindeki KKA'nın ağırlıklı olarak yakılmasını, diğer belediyelerdeki KKA'nın MGT ve biyometanizasyon tesislerinde işlenmesini öngören ikinci senaryo ise ~869,6 milyon ton CO₂ eşdeğeri emisyon ile sera gazı salımı açısından en olumsuz senaryo olmuştur. Şekil 7.7'de çalışılan üç senaryoda elde edilen yıllık emisyonlar mukayese edilmiştir. Eklenik emisyonların mukayesesi ise Şekil 7.8'de verilmektedir.

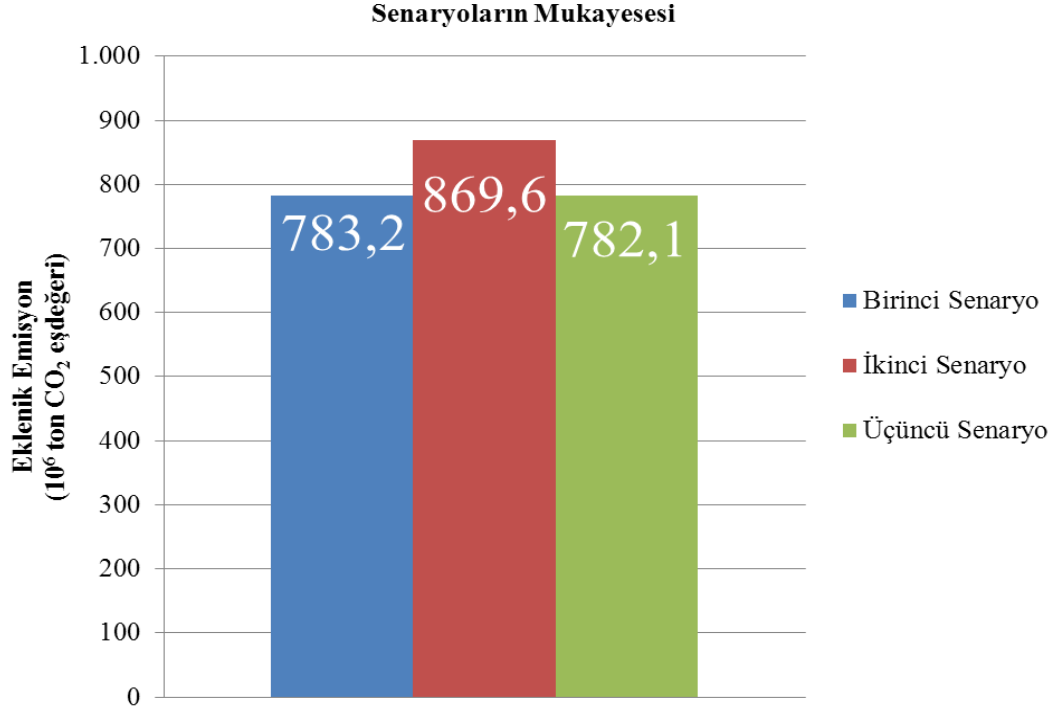


Şekil 7.7 : Senaryolardaki yıllık emisyonların mukayesesi.

DDT'lere atık kabulünün sona erdiği yıldan sonra oluşan emisyonlar incelendiğinde ise en fazla emisyonun birinci senaryodan kaynaklandığı görülmüştür. Bunun nedeni en fazla KKA'nın DDT'lerde bertaraf edildiği senaryonun birinci senaryo olmasıdır. Bu senaryoda 2032 senesinden sonra oluşan emisyon, toplam emisyonun (2003-2052) %37'sine tekabül etmektedir (~286,0 milyon ton CO₂ eşdeğeri). İkinci ve üçüncü senaryoda ise 2033 sonrasında oluşan emisyon ~109,6 milyon ton CO₂ eşdeğeri ile toplam emisyonun sırasıyla %13 ve %14'ünü oluşturmaktadır.

7.7 Sonuçların belirsizlik analizi

Yapılan hesaplarla ilgili belirsizlikler kullanılan metottan, eldeki veriden, kullanılan katsayılarından veya emisyon faktörlerinden kaynaklanmaktadır. Depolama sahalarından kaynaklanan emisyonların hesabında kullanılan IPCC modeli, atığın biyolojik olarak ayrışmasının birinci mertebeden bozunmaya göre gerçekleştiğini kabul etmektedir. Ancak Bölüm 3.3.1'de gösterildiği üzere atığın biyolojik olarak bozunması birçok farklı şekilde modellenenilmektedir. Atığın bozunması daha yüksek mertebelere göre ifade edilebileceği gibi, her bir bozunma safhasındaki bozunma için ayrı bir matematiksel ifade de verilebilir. DDT'lerdeki çevresel koşullar da (sıcaklık, nem, sıkışma vb.) depo gazı oluşumunu etkilemektedir.



Şekil 7.8 : Senaryolardaki eklenik emisyonların mukayesesi.

IPCC modelinde kullanılan parametrelerden kaynaklanan belirsizlikler de elde edilen sonuçların güvenilirliğini etkilemektedir. Saha tipinin belirlenmesinde karşılaşılan zorluklar, hesaplarda seçilen metan düzeltme faktörleri (MCF) üzerindeki belirsizliği arttırmaktadır. Atık bileşenleri için modele girilmiş olan ayrışabilir organik karbon (DOC) değerleri her bir atık bileşeni için büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Bu nedenle atık bileşenlerinin ayrışabilir organik karbon değerlerinden kaynaklanan belirsizlikler de önem taşımaktadır.

Yakma tesislerinden kaynaklanan emisyonların hesabında kullanılan emisyon faktörleri KKA'nın karbon içeriği kullanılarak belirlenmektedir. KKA'nın karbon içeriği ile ilgili belirsizlikler elde edilen sonuçların güvenilirliğini etkilemektedir. Yakma tesislerindeki işletme koşulları yakmanın hangi oranda gerçekleşeceğini belirlediğinden işletme şartları da önemli bir belirsizlik kaynağıdır. Aynı belirsizlik kaynağı biyometanizasyon tesislerinde açığa çıkan metan gazının yakılmasında da mevcuttur. İşletme şartları kompost tesislerinde işlenen atığın dönüşüm verimini etkileyeceğinden, işletme koşulları kompost tesisleri için de belirsizlik kaynağıdır.

Bertaraf tesislerinden kaynaklanan emisyonların yüksek bir güvenilirlikle hesaplanabilmesi için oluşan toplam KKA miktarının doğru tespit edilmesi gerekmektedir. Katı atık hizmeti alan nüfusun belirlenmesi toplam bertaraf edilecek

atık miktarını etkilemektedir. KKA miktarının belirlenmesindeki belirsizliklere ek olarak atık kompozisyonunun tahmininde yaşanan güçlükler arttıkça sonuçların güvenilirliği azalmaktadır. Geleceğe yönelik yapılan atık yönetimi projeksiyonlarında oluşan KKA'nın hangi metotlarla bertaraf edileceği ise bertaraf tesislerine giden atık miktarını etkilemektedir. Bu konuda yapılan öngörüler de belirsizlik oluşturmaktadır.

Çalışma kapsamında kullanılan metot, katsayılar ve veriler göz önünde bulundurularak elde edilen sonuçların $\pm\%30$ 'luk değişkenlik içerdiği kabul edilmiştir. EK H'de IPCC (2006) tarafından depolama sahaları için verilen belirsizlik kaynakları ve belirsizlik aralıkları verilmiştir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı önceki bölümlerde de açıklandığı gibi, katı atık yönetiminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının farklı katı atık bertaraf metotları göz önünde bulundurularak değerlendirilmesidir. Bu amaç doğrultusunda Türkiye’de uygulanabilecek üç farklı katı atık yönetim senaryosu çalışılmış ve atmosfere salınan sera gazı emisyonları mukayese edilmiştir.

Çalışmada uygulanan ilk senaryo Birinci Senaryo olarak adlandırılmış ve bu senaryoda atıkların ağırlıklı olarak depolama sahalarında bertaraf edilmesi öngörülmüştür. Bu senaryoda Türkiye genelinde oluşan biyobozunur atıkların çok küçük bir kısmının mevcut kompost tesislerinde işleneceği kabul edilmiştir. Çalışma kapsamında incelenen ikinci senaryo ise büyükşehir belediyeleri ve diğer belediyeler için ayrı atık yönetim uygulamalarını öngören İkinci senaryo olarak tanımlanmıştır. İkinci senaryo gereğince büyükşehir belediyelerinde (3b atık havzası hariç) 2015’ten itibaren yakma tesislerinin kurulması ve 2025’e kadar oluşan KKA’nın %75’inin yakma tesislerinde yakılması düşünülmüştür. Büyükşehir belediyesi olmayan diğer belediyelerde ise yakma tesisleri yerine MGT ve biyometanizasyon tesislerinin bulunması planlanmıştır. MGT ve biyometanizasyon tesislerine istenen atık bileşenlerinin alınabilmesi için bu bölgelerde etkin bir ikili toplama sisteminin oluşturulması gerektiği belirtilmiştir. İkili toplama sistemine 2013’ten itibaren geçilmesi ve 2015’te %67’lik ikili toplama verimine ulaşılması hedeflenmiştir. Bu senaryoda mevcut kompost tesislerinin 2014 sonunda kapatılacağı planlanmıştır. İkinci senaryoda yakma tesisi, MGT veya biyometanizasyon tesisine gitmeyen atıkların ise depolama sahalarına alınacağı öngörülmüştür. Üçüncü ve son senaryoda büyükşehir belediyeleri için ikinci senaryonun öngördüğü şekilde atık bertarafının gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Büyükşehir belediyesi olmayan belediyelerde ise ikili toplama ile ayrı toplanan biyobozunur atıkların ikinci senaryodaki gibi biyometanizasyon tesisleri yerine kompost tesislerine gönderilmesi öngörülmüştür. Üçüncü senaryodaki diğer hedef yılların ikinci senaryo ile aynı olması düşünülmüştür.

Yapılan emisyon hesaplarında depolama tesisi emisyonları için IPCC'nin depolama sahalarından kaynaklanan depo gazını hesaplayan "National Greenhouse Gas Inventories Programme" modeli kullanılmıştır. Yakma, kompost ve biyometanizasyon tesisi hesaplarında ise önceki bölümlerde belirtilen emisyon faktörleri kullanılmıştır. Emisyon hesaplarında 2002-2032 dönemindeki atık üretiminden kaynaklanan atık miktarı göz önünde bulundurulmuştur. Depolama tesislerinden kaynaklanan emisyonlar depolama sahalarının kapatılmasını müteakip 20 yıl için de hesaplanmıştır. Dolayısıyla depolama tesisleri için 2003-2052 dönemindeki emisyonlar hesaplanırken, diğer bertaraf metotlarından kaynaklanan emisyonlar ise 2003-2032 dönemi için hesaplanmıştır. Toplam emisyon değerleri ise her üç senaryo için 2003-2052 dönemi için elde edilmiştir. Hesaplanan sera gazı emisyonları sadece KKA'nın kendisinden kaynaklanan emisyonları içermektedir. Atık bertarafı işlemleri sırasında oluşan sera gazı emisyonları ile dolaylı emisyonlar hesaplamalara dahil edilmemiştir.

Hesaplar neticesinde birinci senaryo ile üçüncü senaryoda 2052 yılı eklenik sera gazı emisyonu birbirine oldukça yakın çıkmış olup sırasıyla ~783 ve ~782 milyon ton CO₂ eşdeğeri hesaplanmıştır. İkinci senaryo ~870 milyon ton CO₂ eşdeğeri eklenik emisyon ile en fazla sera gazı emisyonuna neden olan senaryo olmuştur. DDT'lerde depolanan KKA'nın biyolojik olarak tam ayrışamaması, yakma tesislerinde yakılan KKA'nın ise tamamına yakınının oksidasyona uğraması birinci senaryodan kaynaklanan sera gazı emisyonunun diğer senaryolardan az olmasına neden olmuştur. Buna ek olarak biyometanizasyon ve kompost tesislerinde işlenen KKA'nın daha yüksek oranda son ürüne dönüşmesi de birinci senaryodan kaynaklanan sera gazı salımının diğer senaryolara göre fazla olmamasına neden olmuştur.

Çalışma sonucunda birinci senaryoda öngörülen atık yönetiminin uygulanması halinde diğer senaryolardan daha fazla sera gazı emisyonunun atmosfere verilmeyeceği ortaya çıkmıştır. Bu sonuca rağmen birinci senaryoda KKA'nın ağırlıklı olarak depolanması öngörüldüğü için gelecekte bu senaryonun uygulanması durumunda arazi ihtiyacının çok yüksek olacağı açıktır. Ayrıca sızıntı suyu, koku ve toz oluşumu vb. nedenlerden ötürü oluşan tüm KKA'nın depolanması mümkün görünmemektedir. İkinci senaryo birinci senaryo ile aynı miktarda, üçüncü senaryo

ise birinci senaryodan daha fazla miktarda sera gazı emisyonuna neden olmasına rağmen bu senaryolar KKA'nın daha az depolanmasını öngördüğünden atık bertarafı için arazi gereksinimi daha az olmaktadır. Bu senaryolar aynı zamanda Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımları Projesi'nin (EHCIP) AB'ye uyum senaryosu ile uyumludur.

Her üç senaryoda 2010 yılı için hesaplanan sera gazı emisyonları TÜİK'ten alınan değere göre daha düşük olmuştur. TÜİK'in verdiği değerlere göre 2010 yılında atık sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonu $35,83 \times 10^6$ ton CO₂ eşdeğeri iken birinci senaryoda bu değer $9,33 \times 10^6$ ton CO₂ eşdeğeri olarak hesaplanmıştır. Aynı yılda ikinci ve üçüncü senaryo için hesaplanan sera gazı emisyonları ise $8,27 \times 10^6$ ton CO₂ eşdeğeri olmuştur.

Bu tez kapsamında biyobozunur atıkların yönetiminde kompost/biyometanizasyon tesislerinin kurulmasının önemi üzerinde durulmuştur. Kurulacak biyometanizasyon tesislerinde arıtma çamurları ile birlikte ayrı toplanan restoran atıklarının çürütülmesi diğer bir biyobozunur atık yönetim seçeneği olarak düşünülebilir. Mutfak atıklarının öğütücülerden geçirilerek atıksu kanal sistemine verilmesi ve merkezi atıksu arıtma tesislerinde atıksularla birlikte arıtımı ile biyometan geri kazanımı mümkün olabilmektedir. Çalışma kapsamında öngörülen ikinci ve üçüncü atık yönetim senaryoları üzerinden geliştirilecek 2a ve 3a senaryolarında ikili toplama ile restoran atıklarının mevcut çamur çürütücülerde arıtma çamurlarıyla birlikte arıtımı veya mutfak atıklarının kompostlaştırılması yoluna gidilebilir.

Ambalaj atıklarının istenen hedefler doğrultusunda geri kazanımının sağlanabilmesi için ikili toplamanın etkin ve yaygın biçimde uygulanmasının sağlanması önem taşımaktadır. Etkin bir ikili toplama sistemi ile kağıt/karton vb. biyobozunur atıkların ambalaj atıkları geri dönüşümü üzerinden DDT'lere gitmesi önlenmelidir. Bu şekilde ambalaj atıklarının geri dönüşümü yoluyla elde edilecek gelir azami seviyelere çıkabilecektir. Ambalaj atıklarının geri kazanımında önemli bir role sahip olan sokak toplayıcılarının geri dönüşüm sektörüne entegre edilmesi, ambalaj atıklarının yüksek bir verimle geri dönüşümünü sağlayacaktır.

Bu çalışma kapsamında DDT, biyometanizasyon, kompost ve yakma tesislerinde sadece KKA'nın kendisinden emisyonlar hesaplanmıştır. Ancak Bölüm 4.3'de ifade edildiği üzere her bir katı atık bertaraf tesisinde atık bertarafı işlemleri sırasında

oluşan emisyonlar ile atık bertarafı işlemleriyle ilişkili olan dolaylı emisyonlar da bulunmaktadır. Atık bertarafı işlemlerinde oluşan emisyonlar ile dolaylı emisyonların hesabında birçok farklı parametre bulunmaktadır. Bu nedenle bu emisyonların hesabı oldukça detaylı bir analizi gerektirmektedir. Dolaylı emisyonlar miktar bakımından doğrudan emisyonlar kadar önem taşımaktadır. Bundan sonra bu konuyla ilgili yapılacak çalışmalarda, atık yönetiminden kaynaklanan dolaylı emisyonların da göz önünde bulundurulmasının, katı atık bertaraf yöntemlerinin sera gazı emisyonları bakımından karşılaştırmalı analizinde büyük fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Gelişmekte olan bir ülke olması nedeniyle oluşan katı atık miktarının günden güne arttığı Türkiye’de sürdürülebilir bir katı atık yönetiminin belirlenmesi zorunlu hale gelmiştir. Uygulanacak sürdürülebilir katı atık yönetimi politikaları ile atık bertarafı en verimli şekilde sağlanacağı gibi atmosfere verilen CO₂ miktarı da önemli ölçüde düşürülebilir. Bu sayede atmosfere daha az CO₂ salımı yapıldığı için küresel ısınmanın geciktirilmesine katkı sağlanmış olur. Bunun yanı sıra Dünya genelinde yaygınlaşmakta olan karbon ticareti ile gelecekte maddi kazanç sağlanabilmesi de mümkün hale gelebilecektir. Dolayısıyla hem ekonomik hem de çevre açısından sürdürülebilir bir atık yönetiminin uygulanması ülkemiz için büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Aksay, C.S., Ketenoğlu, O., Kurt, L., (2005). Küresel Isınma ve İklim Değişikliği. *SÜ Fen Ed. Fak. Fen Derg.*, 25, 29-41.
- Arslançan A. Ç., Byström J., Demir İ., Jacobsen M., Kerestecioğlu M., Martens B., Moliin L., Özabalı A., Öztürk İ., Semenienne D., (2005). Düzenli Depolama Direktifi için Direktife Özgü Yatırım Planı, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Astrup, T., Moller, J., Fruergaard, T., (2009). Incineration and Co-Combustion of Waste: Accounting of Greenhouse Gases And Global Warming Contributions, *Waste Management & Research*, 27, 789-799.
- Atık Eylem Planı, (2008). T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Bilgili, M.S., (2002). *Katı Atık Düzenli Depo Sahalarında Depo Gazı Oluşumunu Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi*, (yüksek lisans tezi), Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bogner, J.E., (1996). *Rates of Greenhouse Gas Emissions at The Mallard Lake Landfill, Dupage County, Illinois-Major Controls and Implications For Global Methane Budgets*, (doktora tezi), Northern Illinois University, Ann Arbor, MI, ABD.
- Boldrin, A., Andersen, J.K., Moller, J., Christensen, T.H., Favoino, E., (2009). Composting and Compost Utilization: Accounting of Greenhouse Gases and Global Warming Contributions, *Waste Management & Research*, 27, 800-812.
- Braman, J.R., (2005). *Strategies to Reduce Landfill Greenhouse Gas Emissions in a Semi-Arid Environment*, (yüksek lisans tezi), Royal Roads University, Ann Arbor, MI, ABD.
- EPA, (1996). Emission Factors & AP 42, Compilation of Air Pollutant Emission Factors, Fifth Edition, Volume I, Chapter 2: Solid Waste Disposal.
- EPA, (2005). First - Order Kinetic Gas Generation Model Parameters for Wet Landfills, United States Environmental Protection Agency, EPA-600/R-05/072.
- Gülşen, H., (2009). *Katı Atık Depolama Alanı Sızıntı Sularının Anaerobik Akışkan Yataklı Reaktörde Arıtılabilirliği*, (doktora tezi), İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- IEA, (2011). International Energy Agency, CO₂ Emissions From Fuel Combustion: Highlights (2011 edition), Paris, Fransa.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC), (2000). Emissions From Waste Incineration. Johnke, B. Hoppaus R., Lee E., Irving B., Martinsen T., Mareckova K. *Good Practice Guidance and*

Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories, Montreal, Kanada.

Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC), (2006). IPCC Waste Model, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 5, Waste.

Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC), (2007). Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. Forster, P., Ramaswamy V., Artaxo P., Bernsten T., Betts R., Fahey D.W., Haywood J., Lean J., Lowe D.C., Myhre G., Nganga J., Prinn R., Raga G., Schulz M. Van Dorland R. *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, New York, ABD.

Karakaya, İ., (2008). *İstanbul için Stratejik Kentsel Katı Atık Yönetimi Yaklaşımı*, (yüksek lisans tezi), İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Katı Atık Ana Planı, (KAAP), (2006). 1.Aşama Nihai Raporu, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.

Küçükgül, O., (1999). *Katı Atık Düzenli Depolama Sahaları Sızıntısını Özelliklerinin Değişimini İfade Eden Bir Matematiksel Model*, (doktora tezi), İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Lee, S.W., (2008). *Microbial Mitigation of Greenhouse Gas Emissions From Landfill Cover Soils*, (doktora tezi), The University of Michigan, Ann Arbor, MI, ABD.

Lou, X.F., Nair, J., (2009). The Impact of Landfilling and Composting on Greenhouse Gas Emissions - A review, *Bioresource Technology*, 100, 3792-3798.

Manfredi, S., Tonini, D., Christensen, T.H., Scharff, H., (2009). Landfilling of Waste: Accounting of Greenhouse Gases and Global Warming Contributions, *Waste Management & Research*, 27, 825-836.

Mihelcic J.R., Troschinetz A.M., (2009). Sustainable Recycling of Municipal Solid Waste in Developing Countries, *Waste Management*, 29, 915-923.

Özçakıl, M., (2001). *Türkiye’de Katı Atık Depo Gazı Geri Kazanım Tesislerinin Değerlendirilmesi*, (yüksek lisans tezi), İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Öztürk, İ., (2010a). Kentsel Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları. İSTAÇ Teknik Kitaplar Serisi, İstanbul.

Öztürk, İ., (2010b). Atık Sektörü Mevcut Durum Değerlendirmesi Raporu, Türkiye’nin Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı’nın Geliştirilmesi Projesi, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.

Öztürk, İ., Demir, İ., Altınbaş, M., Arıkan, O.A., Çiftçi, T., Çakmak, İ., Öztürk, L., (2010). Kompost El Kitabı. İSTAÇ Teknik Kitaplar Serisi, İstanbul.

Reay, D., Hewitt, C.N., Smith, K., Grace, J., (2007). Greenhouse Gas Sinks. CABI, Oxfordshire, İngiltere.

- Rinne, J., Pihlatie, M., Lohila, A., Thum, T., Aurela, M., Tuovinen, J. P., Laurila, T., Vesela, T.,** (2005). Nitrous Oxide Emissions From a Municipal Landfill, *Environmental Science Technology*, 39, 7790 – 7793.
- Stenstrom, M.K., Ng, A.S., Bhunia, P.K., Abramson, S.D.,** (1981). Anaerobic Digestion of Classified Municipal Solid Wastes, A Final Report to Cal Recovery Systems, Inc. and Southern California Edison Company, ABD.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı,** (2010). *Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik*, T.C. Resmi Gazete No: 27533, Tarih: 26.03.2010.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı,** (2011). *Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği*, T.C. Resmi Gazete No: 28035, Tarih: 24.08.2011.
- Tchobanoglous G., Kreith F.,** (2002). Handbook of Solid Waste Engineering. The McGraw – Hill, ABD.
- Tünay, O., Alp, K.,** (1996). Hava Kirlenmesi Kontrolü. İstanbul Ticaret Odası Yayın No: 1996-36, İstanbul.
- Türkiye İstatistik Kurumu, (TÜİK),** (2002). Belediye Atık İstatistikleri, Ankara.
- Türkiye İstatistik Kurumu, (TÜİK),** (2008a). Nüfus Artış Hızları, Ankara.
- Türkiye İstatistik Kurumu, (TÜİK),** (2008b). Belediye Atık İstatistikleri, Ankara.
- Türkiye İstatistik Kurumu, (TÜİK),** (2012a). Sektörlere Göre Toplam Seragazi Emisyonları, Ankara.
- Türkiye İstatistik Kurumu, (TÜİK),** (2012b). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) Nüfus Sayımı Sonuçları, Ankara.
- Url-1** <<http://www.mgm.gov.tr/genel/saglik.aspx?s=123>>, alındığı tarih: 04.12.2011.
- Url-2** <http://tr.wikipedia.org/wiki/Küresel_ısınma>, alındığı tarih: 25.07.2012.
- Url-3** <http://www.earth-policy.org/indicators/C51/global_temperature_2010>, alındığı tarih: 25.07.2012.
- Vesilind, P.A., Worrell, W.A., Reinhart, D.R.,** (2002). Solid Waste Engineering, Brooks/Cole, ABD.

EKLER

EK A: Nüfus Projeksiyonları

EK B: Atık Havzalarının Birim Atık Oluşum Tahminleri

EK C: Atık Havzaları KKA Kompozisyonu Tahminleri

EK D: Atık Havzalarındaki Atık Bileşenlerinin Dağılımı

EK E: Senaryolarda Yıllara Göre Atık Akışı

EK F: Senaryolardaki Bertaraf Yöntemlerinin Dağılımı

EK G: IPCC Modeli ile Uygulama Örnekleri

EK H: IPCC Modelindeki Belirsizlik Kaynakları ve Belirsizlik Aralıkları

EK A

Çizelge A.1 : Atık havzalarının 2012-2032 yılları için hesaplanan nüfus (Büyükşehir belediyesi olan havzalar için).

Yıl	1a		1b		2a		2b		2c		3a		3b	
	Şehir	Kırsal	Şehir	Kırsal	Şehir	Kırsal	Şehir	Kırsal	Şehir	Kırsal	Şehir	Kırsal	Şehir	Kırsal
2012	17.414.511	480.852	4.606.017	615.232	4.847.834	128.236	2.802.785	954.169	6.119.411	1.418.492	1.584.160	196.618	1.667.082	711.186
2013	17.727.972	478.833	4.688.925	612.647	4.935.095	127.697	2.853.235	950.162	6.229.561	1.412.535	1.612.675	195.792	1.697.089	708.199
2014	18.047.076	476.822	4.773.325	610.074	5.023.927	127.161	2.904.593	946.171	6.341.694	1.406.602	1.641.703	194.970	1.727.637	705.224
2015	18.371.924	474.819	4.859.246	607.512	5.114.358	126.627	2.956.876	942.198	6.455.845	1.400.694	1.671.254	194.151	1.758.735	702.262
2016	18.662.201	472.065	4.936.022	603.989	5.195.165	125.893	3.003.594	936.733	6.557.848	1.392.570	1.697.660	193.025	1.786.524	698.189
2017	18.957.064	469.327	5.014.010	600.486	5.277.249	125.163	3.051.051	931.300	6.661.463	1.384.492	1.724.483	191.905	1.814.751	694.139
2018	19.256.586	466.605	5.093.231	597.003	5.360.630	124.437	3.099.258	925.899	6.766.714	1.376.462	1.751.730	190.792	1.843.424	690.113
2019	19.560.840	463.899	5.173.704	593.541	5.445.328	123.715	3.148.226	920.529	6.873.628	1.368.478	1.779.407	189.685	1.872.550	686.110
2020	19.869.902	461.208	5.255.448	590.098	5.531.364	122.997	3.197.968	915.190	6.982.231	1.360.541	1.807.522	188.585	1.902.136	682.130
2021	20.144.106	457.887	5.327.973	585.849	5.607.697	122.111	3.242.100	908.600	7.078.586	1.350.747	1.832.466	187.227	1.928.386	677.219
2022	20.422.095	454.590	5.401.499	581.630	5.685.083	121.232	3.286.841	902.059	7.176.271	1.341.023	1.857.754	185.879	1.954.998	672.343
2023	20.703.920	451.317	5.476.040	577.442	5.763.537	120.359	3.332.200	895.564	7.275.303	1.331.369	1.883.391	184.541	1.981.977	667.502
2024	20.989.634	448.068	5.551.609	573.284	5.843.074	119.492	3.378.184	889.116	7.375.702	1.321.784	1.909.382	183.212	2.009.329	662.696
2025	21.279.291	444.842	5.628.221	569.156	5.923.708	118.632	3.424.803	882.714	7.477.487	1.312.268	1.935.731	181.893	2.037.058	657.925
2026	21.530.386	440.927	5.694.634	564.147	5.993.608	117.588	3.465.216	874.946	7.565.722	1.300.720	1.958.573	180.292	2.061.095	652.135
2027	21.784.445	437.046	5.761.831	559.182	6.064.333	116.553	3.506.106	867.247	7.654.997	1.289.275	1.981.684	178.705	2.085.416	646.397
2028	22.041.501	433.200	5.829.820	554.262	6.135.892	115.527	3.547.478	859.615	7.745.326	1.277.929	2.005.068	177.132	2.110.024	640.709
2029	22.301.591	429.387	5.898.612	549.385	6.208.296	114.510	3.589.338	852.050	7.836.720	1.266.683	2.028.728	175.573	2.134.922	635.070
2030	22.564.750	425.608	5.968.216	544.551	6.281.554	113.502	3.631.692	844.552	7.929.193	1.255.536	2.052.667	174.028	2.160.115	629.481
2031	22.758.806	421.267	6.019.543	538.997	6.335.575	112.344	3.662.924	835.937	7.997.385	1.242.729	2.070.320	172.253	2.178.692	623.060
2032	22.954.532	416.970	6.071.311	533.499	6.390.061	111.198	3.694.426	827.411	8.066.162	1.230.053	2.088.125	170.496	2.197.429	616.705

Çizelge A.2 : Atık havzalarının 2012-2032 yılları için hesaplanan nüfusları (Büyükşehir belediyesi olmayan havzalar için).

Yıl	1c		2d		2e		3c	
	Şehir	Kırsal	Şehir	Kırsal	Şehir	Kırsal	Şehir	Kırsal
2012	5.913.773	3.520.439	2.279.206	1.630.135	3.995.727	2.425.745	5.515.262	3.988.145
2013	6.020.220	3.505.653	2.320.231	1.623.288	4.067.650	2.415.557	5.614.536	3.971.393
2014	6.128.584	3.490.930	2.361.996	1.616.472	4.140.867	2.405.410	5.715.597	3.954.713
2015	6.238.899	3.476.268	2.404.513	1.609.682	4.215.403	2.395.305	5.818.480	3.938.105
2016	6.337.472	3.456.105	2.442.505	1.600.345	4.282.008	2.381.411	5.910.413	3.915.264
2017	6.437.606	3.436.060	2.481.098	1.591.062	4.349.663	2.367.600	6.003.797	3.892.556
2018	6.539.322	3.416.130	2.520.300	1.581.834	4.418.390	2.353.870	6.098.656	3.869.978
2019	6.642.644	3.396.318	2.560.120	1.572.660	4.488.200	2.340.217	6.195.015	3.847.531
2020	6.747.597	3.376.618	2.600.572	1.563.536	4.559.115	2.326.645	6.292.896	3.825.217
2021	6.840.713	3.352.305	2.636.459	1.552.280	4.622.029	2.309.893	6.379.740	3.797.676
2022	6.935.114	3.328.169	2.672.842	1.541.105	4.685.812	2.293.263	6.467.780	3.770.335
2023	7.030.817	3.304.207	2.709.726	1.530.009	4.750.478	2.276.751	6.557.037	3.743.187
2024	7.127.844	3.280.418	2.747.119	1.518.993	4.816.034	2.260.360	6.647.525	3.716.239
2025	7.226.207	3.256.799	2.785.029	1.508.058	4.882.494	2.244.085	6.739.262	3.689.483
2026	7.311.477	3.228.139	2.817.892	1.494.787	4.940.107	2.224.337	6.818.785	3.657.016
2027	7.397.752	3.199.731	2.851.143	1.481.633	4.998.400	2.204.762	6.899.246	3.624.833
2028	7.485.045	3.171.572	2.884.787	1.468.595	5.057.380	2.185.361	6.980.654	3.592.936
2029	7.573.368	3.143.662	2.918.827	1.455.672	5.117.056	2.166.130	7.063.024	3.561.319
2030	7.662.735	3.115.998	2.953.270	1.442.863	5.177.438	2.147.067	7.146.369	3.529.978
2031	7.728.635	3.084.213	2.978.669	1.428.146	5.221.964	2.125.166	7.207.828	3.493.971
2032	7.795.102	3.052.754	3.004.286	1.413.578	5.266.874	2.103.489	7.269.815	3.458.334

EK B**Çizelge B : Atık havzalarının 2012-2032 yılları için tahmini birim atık oluşumları (kg/N.gün).**

Yıl	1a	1b	1c	2a	2b	2c	2d	2e	3a	3b	3c
2012	1,35	1,27	1,20	1,35	1,27	1,24	1,12	1,04	1,27	1,18	1,15
2013	1,38	1,29	1,23	1,38	1,30	1,27	1,15	1,06	1,29	1,20	1,18
2014	1,42	1,32	1,26	1,41	1,33	1,29	1,18	1,08	1,32	1,23	1,21
2015	1,45	1,35	1,29	1,45	1,36	1,32	1,21	1,11	1,35	1,26	1,23
2016	1,48	1,38	1,32	1,48	1,39	1,35	1,24	1,13	1,42	1,28	1,27
2017	1,51	1,41	1,36	1,51	1,43	1,38	1,27	1,16	1,52	1,31	1,30
2018	1,55	1,44	1,39	1,55	1,46	1,41	1,30	1,18	1,55	1,34	1,33
2019	1,59	1,47	1,43	1,58	1,49	1,44	1,34	1,21	1,59	1,37	1,36
2020	1,62	1,50	1,46	1,62	1,53	1,48	1,38	1,24	1,62	1,41	1,40
2021	1,66	1,54	1,51	1,66	1,57	1,51	1,42	1,27	1,66	1,44	1,44
2022	1,70	1,57	1,55	1,70	1,61	1,55	1,46	1,30	1,70	1,48	1,48
2023	1,74	1,61	1,59	1,74	1,65	1,59	1,50	1,34	1,74	1,52	1,52
2024	1,78	1,65	1,64	1,78	1,69	1,63	1,54	1,37	1,78	1,55	1,56
2025	1,82	1,69	1,69	1,82	1,73	1,67	1,59	1,41	1,82	1,59	1,60
2026	1,87	1,73	1,74	1,85	1,77	1,71	1,64	1,45	1,86	1,63	1,65
2027	1,92	1,78	1,79	1,88	1,81	1,75	1,69	1,49	1,90	1,68	1,70
2028	1,97	1,83	1,84	1,91	1,85	1,79	1,74	1,53	1,95	1,72	1,75
2029	2,03	1,88	1,91	1,95	1,89	1,84	1,80	1,57	2,00	1,77	1,81
2030	2,09	1,94	1,97	1,99	1,94	1,88	1,86	1,61	2,05	1,82	1,86
2031	2,15	2,00	2,03	2,03	1,99	1,92	1,91	1,65	2,10	1,87	1,91
2032	2,21	2,06	2,08	2,07	2,04	1,96	1,97	1,70	2,16	1,91	1,97

EK C

Çizelge C.1 : 1a atık havzasının 2002-2032 yılları için tahmini KKA kompozisyonu (%).

YIL	Mutfak Atıkları	Kağıt	Karton	Hacimli Karton	Park ve Bahçe Atıkları	Diğer Yanabilenler	Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar	İnert Atık	Toplam
2002	29,4	11,6	7,4	0,3	2,1	9,9	1,2	38,1	100,0
2003	28,8	11,8	7,6	0,3	2,1	10,0	1,2	38,2	100,0
2004	28,2	12,0	7,6	0,3	2,1	10,1	1,2	38,5	100,0
2005	27,6	12,1	7,8	0,3	2,1	10,2	1,2	38,7	100,0
2006	27,0	12,2	7,8	0,3	2,1	10,2	1,3	39,1	100,0
2007	26,4	12,4	8,0	0,3	2,1	10,3	1,2	39,3	100,0
2008	25,8	12,5	8,0	0,3	2,1	10,4	1,2	39,7	100,0
2009	25,2	12,7	8,1	0,3	2,0	10,4	1,2	40,1	100,0
2010	24,6	12,8	8,2	0,3	2,0	10,5	1,3	40,3	100,0
2011	24,1	12,9	8,3	0,3	2,0	10,6	1,2	40,6	100,0
2012	23,5	13,1	8,4	0,3	2,0	10,6	1,2	40,9	100,0
2013	22,9	13,2	8,5	0,3	2,1	10,7	1,2	41,1	100,0
2014	22,4	13,3	8,6	0,3	2,0	10,7	1,2	41,5	100,0
2015	21,9	13,5	8,7	0,3	2,0	10,7	1,2	41,7	100,0
2016	21,4	13,6	8,8	0,3	2,0	10,8	1,2	41,9	100,0
2017	20,9	13,8	8,9	0,3	2,0	10,8	1,2	42,1	100,0
2018	20,5	14,0	9,0	0,3	2,1	10,8	1,2	42,1	100,0
2019	20,0	14,1	9,1	0,3	2,1	10,9	1,2	42,3	100,0
2020	19,5	14,3	9,2	0,3	2,1	10,9	1,2	42,5	100,0
2021	19,0	14,4	9,3	0,3	2,0	10,9	1,2	42,9	100,0
2022	18,6	14,6	9,4	0,3	2,1	11,0	1,1	42,9	100,0
2023	18,2	14,7	9,5	0,3	2,1	11,0	1,1	43,1	100,0
2024	17,8	14,8	9,6	0,3	2,0	11,0	1,1	43,4	100,0
2025	17,4	15,0	9,6	0,3	2,0	11,1	1,1	43,5	100,0
2026	17,0	15,1	9,7	0,3	2,0	11,1	1,1	43,7	100,0

Çizelge C.1 (devam) : 1a atık havzasının 2002-2032 yılları için tahmini KKA kompozisyonu (%).

2027	16,7	15,2	9,7	0,3	2,0	11,1	1,1	43,9	100,0
2028	16,4	15,3	9,8	0,3	2,0	11,1	1,1	44,0	100,0
2029	16,1	15,4	9,8	0,3	2,0	11,2	1,1	44,1	100,0
2030	15,8	15,5	9,9	0,3	2,0	11,2	1,1	44,2	100,0
2031	15,5	15,6	10,0	0,3	2,0	11,2	1,1	44,3	100,0
2032	15,2	15,7	10,1	0,3	2,0	11,2	1,1	44,4	100,0

Çizelge C.2 : 1b atık havzasının 2002-2032 yılları için tahmini KKA kompozisyonu (%).

YIL	Mutfak Atıkları	Kağıt	Karton	Hacimli Karton	Park ve Bahçe Atıkları	Diğer Yanabilenler	Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar	İnert Atık	Toplam
2002	34,2	13,7	9,4	0,3	1,9	6,3	1,2	33,0	100,0
2003	33,4	13,9	9,5	0,3	1,9	6,4	1,2	33,4	100,0
2004	32,6	14,1	9,6	0,3	1,9	6,5	1,2	33,8	100,0
2005	31,9	14,2	9,8	0,3	1,9	6,6	1,2	34,1	100,0
2006	31,1	14,4	9,9	0,3	1,9	6,7	1,2	34,5	100,0
2007	30,3	14,6	10,0	0,3	1,9	6,8	1,2	34,9	100,0
2008	29,6	14,8	10,1	0,3	1,9	6,8	1,2	35,3	100,0
2009	28,9	15,0	10,3	0,3	1,9	6,9	1,2	35,5	100,0
2010	28,1	15,1	10,4	0,3	1,9	7,0	1,2	36,0	100,0
2011	27,5	15,3	10,5	0,3	1,9	7,1	1,2	36,2	100,0
2012	26,8	15,5	10,6	0,3	1,9	7,1	1,2	36,6	100,0
2013	26,1	15,6	10,7	0,3	1,9	7,2	1,2	37,0	100,0
2014	25,4	15,8	10,8	0,3	1,9	7,3	1,2	37,3	100,0
2015	24,7	16,0	10,9	0,3	1,9	7,3	1,2	37,7	100,0
2016	24,1	16,1	11,0	0,3	1,9	7,4	1,2	38,0	100,0
2017	23,4	16,3	11,1	0,3	1,9	7,5	1,2	38,3	100,0
2018	22,8	16,4	11,2	0,3	2,0	7,6	1,2	38,5	100,0
2019	22,2	16,6	11,3	0,3	2,0	7,7	1,2	38,7	100,0
2020	21,5	16,7	11,4	0,3	2,0	7,7	1,2	39,2	100,0
2021	20,9	16,9	11,5	0,3	2,0	7,8	1,1	39,5	100,0
2022	20,3	17,1	11,6	0,3	2,0	7,9	1,1	39,7	100,0
2023	19,7	17,2	11,7	0,3	2,0	8,0	1,1	40,0	100,0
2024	19,1	17,4	11,8	0,3	2,0	8,1	1,1	40,2	100,0
2025	18,5	17,5	11,9	0,3	2,0	8,2	1,1	40,5	100,0
2026	17,9	17,6	12,0	0,3	2,0	8,3	1,1	40,8	100,0
2027	17,3	17,7	12,1	0,3	2,1	8,4	1,1	41,0	100,0

Çizelge C.2 (devam) : 1b atık havzasının 2002-2032 yılları için tahmini KKA kompozisyonu (%).

2028	16,8	17,8	12,2	0,3	2,1	8,5	1,1	41,2	100,0
2029	16,3	18,0	12,3	0,3	2,1	8,6	1,1	41,3	100,0
2030	15,9	18,1	12,4	0,3	2,1	8,7	1,1	41,4	100,0
2031	15,5	18,2	12,5	0,3	2,1	8,8	1,1	41,5	100,0
2032	15,1	18,4	12,6	0,3	2,1	8,9	1,1	41,5	100,0

Çizelge C.3 : 1c atık havzasının 2002-2032 yılları için tahmini KKA kompozisyonu (%).

YIL	Mutfak Atıkları	Kağıt	Karton	Hacimli Karton	Park ve Bahçe Atıkları	Diğer Yanabilenler	Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar	İnert Atık	Toplam
2002	35,6	11,5	6,9	0,3	1,8	6,4	1,2	36,3	100,0
2003	34,9	11,7	7,0	0,3	1,8	6,5	1,2	36,6	100,0
2004	34,2	11,8	7,1	0,3	1,9	6,6	1,2	36,9	100,0
2005	33,6	12,0	7,2	0,3	1,9	6,6	1,2	37,2	100,0
2006	32,8	12,1	7,3	0,3	1,8	6,7	1,2	37,8	100,0
2007	32,2	12,3	7,4	0,3	1,8	6,8	1,2	38,0	100,0
2008	31,5	12,5	7,5	0,3	1,9	6,9	1,2	38,2	100,0
2009	30,8	12,6	7,6	0,3	1,8	7,0	1,2	38,7	100,0
2010	30,2	12,8	7,6	0,3	1,9	7,0	1,2	39,0	100,0
2011	29,5	12,9	7,8	0,3	1,8	7,1	1,2	39,4	100,0
2012	28,9	13,0	7,9	0,3	1,8	7,2	1,2	39,7	100,0
2013	28,3	13,2	8,0	0,3	1,9	7,2	1,2	39,9	100,0
2014	27,7	13,3	8,1	0,3	1,9	7,3	1,2	40,2	100,0
2015	27,1	13,5	8,2	0,3	1,9	7,4	1,2	40,4	100,0
2016	26,5	13,6	8,2	0,3	1,9	7,4	1,2	40,9	100,0
2017	25,9	13,8	8,4	0,3	1,9	7,5	1,1	41,1	100,0
2018	25,4	13,9	8,5	0,3	1,9	7,6	1,1	41,3	100,0
2019	24,8	14,1	8,5	0,3	1,9	7,6	1,1	41,7	100,0
2020	24,3	14,2	8,6	0,3	1,9	7,7	1,1	41,9	100,0
2021	23,7	14,4	8,7	0,3	1,9	7,8	1,1	42,1	100,0
2022	23,2	14,5	8,9	0,3	2,0	7,9	1,1	42,1	100,0
2023	22,7	14,7	8,9	0,3	2,0	7,9	1,1	42,4	100,0
2024	22,2	14,8	9,0	0,3	2,0	8,0	1,1	42,6	100,0
2025	21,7	15,0	9,1	0,3	2,0	8,1	1,1	42,7	100,0
2026	21,2	15,1	9,2	0,3	2,0	8,2	1,1	42,9	100,0
2027	20,8	15,2	9,3	0,3	2,0	8,3	1,1	43,0	100,0

Çizelge C.3 (devam) : 1c atık havzasının 2002-2032 yılları için tahmini KKA kompozisyonu (%).

2028	20,4	15,3	9,3	0,3	2,0	8,4	1,1	43,2	100,0
2029	20,0	15,4	9,4	0,3	2,0	8,4	1,1	43,4	100,0
2030	19,6	15,5	9,5	0,3	2,0	8,5	1,1	43,5	100,0
2031	19,2	15,7	9,6	0,3	2,0	8,6	1,1	43,5	100,0
2032	18,8	15,8	9,8	0,3	2,0	8,6	1,1	43,6	100,0

Çizelge C.4 : 2a atık havzasının 2002-2032 yılları için tahmini KKA kompozisyonu (%).

YIL	Mutfak Atıkları	Kağıt	Karton	Hacimli Karton	Park ve Bahçe Atıkları	Diğer Yanabilenler	Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar	İnert Atık	Toplam
2002	24,4	13,2	8,8	0,4	2,0	10,0	1,0	40,2	100,0
2003	23,8	13,4	8,9	0,4	2,0	10,0	0,9	40,6	100,0
2004	23,2	13,5	9,0	0,4	2,0	10,0	0,9	41,0	100,0
2005	22,6	13,7	9,1	0,4	2,0	10,1	1,0	41,1	100,0
2006	22,1	13,8	9,2	0,3	2,0	10,2	1,0	41,4	100,0
2007	21,5	14,0	9,3	0,3	2,0	10,2	0,9	41,8	100,0
2008	21,0	14,2	9,4	0,3	2,0	10,3	0,9	41,9	100,0
2009	20,5	14,3	9,5	0,3	2,0	10,3	0,9	42,2	100,0
2010	20,0	14,4	9,6	0,3	2,0	10,3	0,9	42,5	100,0
2011	19,5	14,6	9,7	0,3	2,0	10,4	0,9	42,6	100,0
2012	19,1	14,7	9,8	0,3	2,0	10,4	0,9	42,8	100,0
2013	18,6	14,9	9,9	0,3	2,0	10,4	0,9	43,0	100,0
2014	18,2	15,0	10,0	0,3	2,0	10,5	0,9	43,1	100,0
2015	17,7	15,2	10,1	0,3	2,0	10,5	0,9	43,3	100,0
2016	17,3	15,3	10,2	0,3	2,0	10,5	0,9	43,5	100,0
2017	16,9	15,5	10,3	0,3	2,0	10,6	0,9	43,5	100,0
2018	16,5	15,6	10,4	0,3	2,1	10,5	0,8	43,8	100,0
2019	16,1	15,8	10,5	0,3	2,1	10,6	0,8	43,8	100,0
2020	15,8	15,9	10,6	0,3	2,1	10,6	0,8	43,9	100,0
2021	15,4	16,1	10,7	0,3	2,1	10,6	0,8	44,0	100,0
2022	15,0	16,2	10,7	0,3	2,1	10,6	0,8	44,3	100,0
2023	14,7	16,4	10,9	0,3	2,1	10,6	0,8	44,2	100,0
2024	14,3	16,5	11,0	0,3	2,1	10,6	0,8	44,4	100,0
2025	14,0	16,6	11,1	0,3	2,1	10,6	0,8	44,5	100,0
2026	13,6	16,7	11,2	0,3	2,1	10,6	0,8	44,7	100,0
2027	13,3	16,9	11,3	0,3	2,1	10,6	0,8	44,7	100,0

Çizelge C.4 (devam) : 2a atık havzasının 2002-2032 yılları için tahmini KKA kompozisyonu (%).

2028	12,9	17,0	11,4	0,3	2,1	10,6	0,9	44,8	100,0
2029	12,6	17,1	11,5	0,3	2,1	10,6	0,9	44,9	100,0
2030	12,3	17,3	11,6	0,3	2,1	10,7	0,8	44,9	100,0
2031	12,0	17,4	11,7	0,3	2,1	10,7	0,8	45,0	100,0
2032	11,7	17,5	11,8	0,3	2,1	10,7	0,8	45,1	100,0

Çizelge C.5 : 2b atık havzasının 2002-2032 yılları için tahmini KKA kompozisyonu (%).

YIL	Mutfak Atıkları	Kağıt	Karton	Hacimli Karton	Park ve Bahçe Atıkları	Diğer Yanabilenler	Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar	İnert Atık	Toplam
2002	32,6	13,7	8,6	0,3	1,9	6,3	1,2	35,4	100,0
2003	31,9	13,9	8,7	0,3	1,9	6,4	1,2	35,7	100,0
2004	31,2	14,0	8,8	0,3	1,9	6,5	1,2	36,1	100,0
2005	30,6	14,2	8,9	0,3	1,9	6,6	1,2	36,3	100,0
2006	29,9	14,3	9,1	0,3	1,9	6,6	1,2	36,7	100,0
2007	29,2	14,5	9,1	0,3	1,9	6,7	1,2	37,1	100,0
2008	28,6	14,6	9,2	0,3	1,9	6,8	1,2	37,4	100,0
2009	27,9	14,8	9,3	0,3	1,9	6,9	1,2	37,7	100,0
2010	27,3	14,9	9,4	0,3	1,9	6,9	1,2	38,1	100,0
2011	26,7	15,1	9,5	0,3	1,9	7,0	1,2	38,3	100,0
2012	26,1	15,3	9,6	0,3	1,9	7,0	1,2	38,6	100,0
2013	25,5	15,4	9,7	0,3	1,9	7,1	1,2	38,9	100,0
2014	25,0	15,5	9,8	0,3	1,9	7,2	1,2	39,1	100,0
2015	24,4	15,7	9,9	0,3	1,9	7,3	1,2	39,3	100,0
2016	23,9	15,8	10,0	0,3	1,9	7,3	1,2	39,6	100,0
2017	23,4	16,0	10,1	0,3	1,9	7,4	1,2	39,7	100,0
2018	22,8	16,1	10,2	0,3	1,9	7,5	1,1	40,1	100,0
2019	22,3	16,2	10,3	0,3	1,9	7,5	1,1	40,4	100,0
2020	21,8	16,4	10,4	0,3	1,9	7,6	1,1	40,5	100,0
2021	21,3	16,5	10,4	0,3	2,0	7,7	1,1	40,7	100,0
2022	20,8	16,6	10,5	0,3	1,9	7,7	1,1	41,1	100,0
2023	20,3	16,7	10,6	0,3	2,0	7,8	1,1	41,2	100,0
2024	19,8	16,8	10,7	0,3	1,9	7,9	1,1	41,5	100,0
2025	19,3	17,0	10,8	0,3	1,9	8,0	1,1	41,6	100,0
2026	18,8	17,1	10,9	0,3	1,9	8,1	1,1	41,8	100,0
2027	18,4	17,2	11,0	0,3	1,9	8,2	1,1	41,9	100,0

Çizelge C.5 (devam) : 2b atık havzasının 2002-2032 yılları için tahmini KKA kompozisyonu (%).

2028	18,0	17,4	11,1	0,3	1,9	8,3	1,1	41,9	100,0
2029	17,6	17,5	11,2	0,3	1,9	8,4	1,1	42,0	100,0
2030	17,2	17,6	11,3	0,3	1,9	8,5	1,1	42,1	100,0
2031	16,9	17,7	11,4	0,3	1,9	8,5	1,1	42,2	100,0
2032	16,6	17,8	11,4	0,3	1,9	8,6	1,1	42,3	100,0

Çizelge C.6 : 2c atık havzasının 2002-2032 yılları için tahmini KKA kompozisyonu (%).

YIL	Mutfak Atıkları	Kağıt	Karton	Hacimli Karton	Park ve Bahçe Atıkları	Diğer Yanabilenler	Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar	İnert Atık	Toplam
2002	37,1	11,5	8,0	0,3	2,0	4,6	0,6	35,9	100,0
2003	36,4	11,6	8,1	0,3	2,0	4,7	0,6	36,3	100,0
2004	35,7	11,8	8,2	0,3	2,0	4,8	0,6	36,6	100,0
2005	35,0	11,9	8,3	0,3	2,0	4,8	0,6	37,1	100,0
2006	34,2	12,1	8,4	0,3	2,0	4,9	0,6	37,5	100,0
2007	33,5	12,2	8,5	0,3	2,0	5,0	0,6	37,9	100,0
2008	32,8	12,4	8,6	0,3	2,0	5,1	0,6	38,2	100,0
2009	32,1	12,6	8,7	0,3	2,0	5,1	0,6	38,6	100,0
2010	31,4	12,7	8,8	0,3	2,0	5,2	0,6	39,0	100,0
2011	30,7	12,9	8,9	0,3	2,0	5,3	0,6	39,3	100,0
2012	30,0	13,0	9,0	0,3	2,0	5,4	0,6	39,7	100,0
2013	29,4	13,2	9,1	0,3	2,0	5,5	0,6	39,9	100,0
2014	28,8	13,3	9,2	0,3	2,0	5,6	0,6	40,2	100,0
2015	28,1	13,5	9,3	0,3	2,0	5,6	0,6	40,6	100,0
2016	27,5	13,7	9,4	0,3	2,0	5,7	0,6	40,8	100,0
2017	26,9	13,8	9,5	0,3	2,0	5,8	0,6	41,1	100,0
2018	26,3	13,9	9,6	0,3	2,1	5,9	0,6	41,3	100,0
2019	25,7	14,1	9,7	0,3	2,1	6,0	0,6	41,5	100,0
2020	25,1	14,2	9,8	0,3	2,1	6,1	0,6	41,8	100,0
2021	24,5	14,4	9,9	0,3	2,1	6,2	0,6	42,0	100,0
2022	23,9	14,5	10,0	0,3	2,1	6,3	0,6	42,3	100,0
2023	23,4	14,7	10,0	0,3	2,1	6,4	0,5	42,6	100,0
2024	22,9	14,8	10,1	0,3	2,1	6,5	0,5	42,8	100,0
2025	22,4	15,0	10,2	0,3	2,1	6,6	0,5	42,9	100,0
2026	21,9	15,1	10,3	0,3	2,1	6,7	0,5	43,1	100,0
2027	21,4	15,3	10,4	0,3	2,1	6,8	0,5	43,2	100,0

Çizelge C.6 (devam) : 2c atık havzasının 2002-2032 yılları için tahmini KKA kompozisyonu (%).

2028	21,0	15,4	10,5	0,3	2,1	6,9	0,5	43,3	100,0
2029	20,6	15,5	10,6	0,3	2,1	7,0	0,5	43,4	100,0
2030	20,2	15,6	10,7	0,3	2,1	7,0	0,5	43,6	100,0
2031	19,8	15,8	10,8	0,3	2,1	7,1	0,5	43,6	100,0
2032	19,4	15,9	10,9	0,3	2,1	7,2	0,5	43,7	100,0

Çizelge C.7 : 2d atık havzasının 2002-2032 yılları için tahmini KKA kompozisyonu (%).

YIL	Mutfak Atıkları	Kağıt	Karton	Hacimli Karton	Park ve Bahçe Atıkları	Diğer Yanabilenler	Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar	İnert Atık	Toplam
2002	34,0	10,3	7,1	0,3	1,8	5,9	1,2	39,4	100,0
2003	33,4	10,4	7,1	0,3	1,8	6,0	1,1	39,9	100,0
2004	32,8	10,5	7,2	0,3	1,8	6,0	1,2	40,2	100,0
2005	32,1	10,6	7,3	0,3	1,8	6,1	1,2	40,6	100,0
2006	31,5	10,8	7,4	0,3	1,8	6,2	1,2	40,8	100,0
2007	30,8	10,9	7,4	0,3	1,8	6,3	1,2	41,3	100,0
2008	30,2	11,1	7,5	0,3	1,8	6,3	1,2	41,6	100,0
2009	29,6	11,2	7,6	0,3	1,8	6,4	1,2	41,9	100,0
2010	29,0	11,3	7,7	0,3	1,8	6,5	1,1	42,3	100,0
2011	28,4	11,5	7,8	0,3	1,8	6,5	1,2	42,5	100,0
2012	27,9	11,6	7,9	0,3	1,8	6,6	1,1	42,8	100,0
2013	27,3	11,8	8,0	0,3	1,8	6,7	1,1	43,0	100,0
2014	26,7	11,9	8,1	0,3	1,8	6,7	1,1	43,4	100,0
2015	26,2	12,0	8,2	0,3	1,8	6,8	1,1	43,6	100,0
2016	25,7	12,2	8,3	0,3	1,8	6,9	1,1	43,7	100,0
2017	25,2	12,3	8,4	0,3	1,8	7,0	1,1	43,9	100,0
2018	24,7	12,5	8,4	0,3	1,9	7,0	1,1	44,1	100,0
2019	24,2	12,6	8,5	0,3	1,9	7,1	1,1	44,3	100,0
2020	23,7	12,8	8,7	0,3	1,9	7,2	1,1	44,3	100,0
2021	23,3	12,9	8,7	0,3	1,9	7,2	1,1	44,6	100,0
2022	22,8	13,1	8,8	0,3	1,9	7,3	1,0	44,8	100,0
2023	22,3	13,2	8,9	0,3	1,9	7,4	1,0	45,0	100,0
2024	21,8	13,3	9,0	0,3	1,9	7,5	1,0	45,2	100,0
2025	21,3	13,4	9,1	0,3	1,9	7,6	1,0	45,4	100,0
2026	20,8	13,5	9,2	0,3	1,9	7,7	1,0	45,6	100,0
2027	20,4	13,6	9,3	0,3	1,9	7,8	1,0	45,7	100,0

Çizelge C.7 (devam) : 2d atık havzasının 2002-2032 yılları için tahmini KKA kompozisyonu (%).

2028	20,0	13,7	9,4	0,3	1,9	7,9	1,0	45,8	100,0
2029	19,6	13,9	9,5	0,3	1,9	8,0	1,0	45,8	100,0
2030	19,2	14,0	9,5	0,3	1,9	8,1	1,0	46,0	100,0
2031	18,8	14,1	9,6	0,3	1,9	8,2	1,0	46,1	100,0
2032	18,4	14,2	9,7	0,3	1,9	8,3	1,0	46,2	100,0

Çizelge C.8 : 2e atık havzasının 2002-2032 yılları için tahmini KKA kompozisyonu (%).

YIL	Mutfak Atıkları	Kağıt	Karton	Hacimli Karton	Park ve Bahçe Atıkları	Diğer Yanabilenler	Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar	İnert Atık	Toplam
2002	34,5	11,8	7,3	0,3	1,9	7,0	1,2	36,0	100,0
2003	33,8	11,9	7,4	0,3	1,9	7,1	1,2	36,4	100,0
2004	33,1	12,1	7,4	0,3	1,9	7,2	1,2	36,8	100,0
2005	32,5	12,2	7,6	0,3	1,9	7,2	1,2	37,1	100,0
2006	31,8	12,4	7,7	0,3	1,9	7,3	1,2	37,4	100,0
2007	31,2	12,5	7,8	0,3	1,9	7,4	1,2	37,7	100,0
2008	30,6	12,7	7,9	0,3	1,9	7,5	1,2	37,9	100,0
2009	30,0	12,8	8,0	0,3	1,9	7,5	1,2	38,3	100,0
2010	29,4	12,9	8,0	0,3	1,9	7,6	1,2	38,7	100,0
2011	30,6	11,0	6,9	0,3	2,0	8,2	1,2	39,8	100,0
2012	28,2	13,2	8,2	0,3	1,9	7,7	1,2	39,3	100,0
2013	27,7	13,4	8,3	0,3	1,9	7,8	1,1	39,5	100,0
2014	27,1	13,5	8,4	0,3	1,9	7,9	1,2	39,7	100,0
2015	26,6	13,7	8,5	0,3	1,9	7,9	1,1	40,0	100,0
2016	26,1	13,8	8,6	0,3	1,9	8,0	1,1	40,2	100,0
2017	25,5	13,9	8,7	0,3	1,9	8,0	1,1	40,6	100,0
2018	25,1	14,1	8,8	0,3	1,9	8,1	1,1	40,6	100,0
2019	24,6	14,2	8,8	0,3	1,9	8,2	1,1	40,9	100,0
2020	24,1	14,3	9,0	0,3	1,9	8,2	1,1	41,1	100,0
2021	23,6	14,5	9,0	0,3	2,0	8,3	1,1	41,2	100,0
2022	23,1	14,6	9,1	0,3	2,0	8,3	1,1	41,5	100,0
2023	22,7	14,7	9,2	0,3	2,0	8,4	1,0	41,7	100,0
2024	22,2	14,8	9,3	0,3	2,0	8,5	1,0	41,9	100,0
2025	21,8	14,9	9,4	0,3	2,0	8,5	1,0	42,1	100,0
2026	21,3	15,0	9,5	0,3	2,0	8,6	1,0	42,3	100,0
2027	20,9	15,1	9,6	0,3	2,0	8,7	1,0	42,4	100,0

Çizelge C.8 (devam) : 2e atık havzasının 2002-2032 yılları için tahmini KKA kompozisyonu (%).

2028	20,5	15,3	9,6	0,3	2,0	8,8	1,0	42,5	100,0
2029	20,1	15,4	9,7	0,3	2,0	8,9	1,0	42,6	100,0
2030	19,7	15,5	9,8	0,3	2,0	8,9	1,0	42,8	100,0
2031	19,3	15,6	9,9	0,3	1,9	9,0	1,0	43,0	100,0
2032	19,0	15,7	10,0	0,3	1,9	9,1	1,0	43,0	100,0

Çizelge C.9 : 3a atık havzasının 2002-2032 yılları için tahmini KKA kompozisyonu (%).

YIL	Mutfak Atıkları	Kağıt	Karton	Hacimli Karton	Park ve Bahçe Atıkları	Diğer Yanabilenler	Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar	İnert Atık	Toplam
2002	41,5	10,1	6,9	0,3	2,1	4,5	0,6	34,0	100,0
2003	40,7	10,2	7,0	0,3	2,1	4,6	0,6	34,5	100,0
2004	39,9	10,3	7,1	0,3	2,1	4,7	0,6	35,0	100,0
2005	39,1	10,5	7,2	0,3	2,1	4,7	0,6	35,5	100,0
2006	38,4	10,7	7,4	0,3	2,1	4,9	0,6	35,6	100,0
2007	37,6	10,9	7,5	0,3	2,0	4,9	0,6	36,2	100,0
2008	36,8	11,1	7,6	0,3	2,1	5,0	0,6	36,5	100,0
2009	36,0	11,2	7,7	0,3	2,1	5,1	0,6	37,0	100,0
2010	35,2	11,4	7,8	0,3	2,1	5,1	0,6	37,5	100,0
2011	34,5	11,6	7,9	0,3	2,1	5,2	0,6	37,8	100,0
2012	33,7	11,7	8,1	0,3	2,1	5,3	0,6	38,2	100,0
2013	33,0	12,0	8,2	0,3	2,1	5,4	0,6	38,4	100,0
2014	32,3	12,1	8,3	0,3	2,1	5,5	0,6	38,8	100,0
2015	31,5	12,3	8,4	0,3	2,1	5,6	0,6	39,2	100,0
2016	30,6	12,2	8,3	0,3	2,0	5,8	0,6	40,2	100,0
2017	29,8	12,8	8,7	0,3	1,9	5,9	0,6	40,0	100,0
2018	29,1	13,0	8,8	0,3	2,0	6,0	0,6	40,2	100,0
2019	28,4	13,1	8,9	0,3	2,0	6,1	0,6	40,6	100,0
2020	27,5	13,4	9,1	0,3	2,0	6,2	0,6	40,9	100,0
2021	26,9	13,5	9,2	0,3	2,0	6,2	0,6	41,3	100,0
2022	26,2	13,7	9,3	0,3	2,0	6,3	0,5	41,7	100,0
2023	25,5	13,9	9,4	0,3	2,0	6,4	0,5	42,0	100,0
2024	24,8	14,0	9,5	0,3	2,0	6,5	0,5	42,4	100,0
2025	24,1	14,1	9,6	0,3	2,0	6,6	0,5	42,8	100,0
2026	23,4	14,3	9,7	0,3	2,0	6,7	0,5	43,1	100,0
2027	22,7	14,4	9,8	0,3	2,0	6,8	0,5	43,5	100,0

Çizelge C.9 (devam) : 3a atık havzasının 2002-2032 yılları için tahmini KKA kompozisyonu (%).

2028	22,1	14,6	9,9	0,3	2,0	6,9	0,5	43,7	100,0
2029	21,5	14,7	10,0	0,3	2,0	7,1	0,5	43,9	100,0
2030	20,9	14,8	10,2	0,3	2,1	7,2	0,5	44,0	100,0
2031	20,3	15,0	10,3	0,3	2,1	7,3	0,5	44,2	100,0
2032	19,8	15,1	10,4	0,3	2,1	7,4	0,5	44,4	100,0

Çizelge C.10 : 3b atık havzasının 2002-2032 yılları için tahmini KKA kompozisyonu (%).

YIL	Mutfak Atıkları	Kağıt	Karton	Hacimli Karton	Park ve Bahçe Atıkları	Diğer Yanabilenler	Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar	İnert Atık	Toplam
2002	36,8	11,3	7,7	0,3	2,0	5,8	1,2	34,9	100,0
2003	36,1	11,5	7,8	0,3	2,0	5,8	1,2	35,3	100,0
2004	35,4	11,7	7,8	0,3	2,0	5,9	1,2	35,7	100,0
2005	34,7	11,8	8,0	0,3	2,0	6,0	1,2	36,0	100,0
2006	34,0	12,0	8,1	0,3	2,0	6,1	1,2	36,3	100,0
2007	33,3	12,2	8,2	0,3	2,0	6,1	1,2	36,7	100,0
2008	32,6	12,3	8,3	0,3	2,0	6,2	1,2	37,1	100,0
2009	31,9	12,5	8,4	0,3	2,0	6,3	1,2	37,4	100,0
2010	31,3	12,6	8,5	0,3	2,0	6,4	1,2	37,7	100,0
2011	30,6	12,8	8,6	0,3	2,0	6,4	1,2	38,1	100,0
2012	30,0	12,9	8,7	0,3	2,0	6,5	1,2	38,4	100,0
2013	29,4	13,1	8,8	0,3	2,0	6,6	1,2	38,6	100,0
2014	28,8	13,2	8,9	0,3	2,0	6,7	1,2	38,9	100,0
2015	28,2	13,4	9,0	0,3	2,0	6,7	1,2	39,2	100,0
2016	27,7	12,5	8,3	0,2	1,6	6,8	1,0	41,9	100,0
2017	26,7	13,7	9,1	0,2	1,6	7,2	0,9	40,6	100,0
2018	26,2	13,9	9,2	0,2	1,6	7,0	0,9	41,0	100,0
2019	25,6	14,0	9,3	0,2	1,6	7,1	0,9	41,3	100,0
2020	24,5	14,3	9,5	0,2	1,7	7,3	1,0	41,5	100,0
2021	24,0	14,4	9,6	0,2	1,7	7,3	0,9	41,9	100,0
2022	23,4	14,6	9,6	0,3	1,7	7,4	0,9	42,1	100,0
2023	22,9	14,7	9,7	0,3	1,7	7,5	0,9	42,3	100,0
2024	22,3	14,8	9,8	0,3	1,7	7,6	0,9	42,6	100,0
2025	21,8	14,9	10,0	0,3	1,7	7,7	0,9	42,7	100,0
2026	21,3	15,1	10,1	0,3	1,7	7,8	0,9	42,8	100,0
2027	20,8	15,2	10,1	0,3	1,7	8,0	0,9	43,0	100,0

Çizelge C.10 (devam) : 3b atık havzasının 2002-2032 yılları için tahmini KKA kompozisyonu (%).

2028	20,4	15,3	10,2	0,3	1,8	8,1	0,9	43,0	100,0
2029	20,0	15,4	10,3	0,3	1,8	8,2	0,9	43,1	100,0
2030	19,6	15,6	10,4	0,3	1,8	8,3	0,9	43,1	100,0
2031	19,3	15,7	10,5	0,3	1,8	8,5	0,8	43,1	100,0
2032	19,0	15,8	10,6	0,3	1,8	8,5	0,8	43,2	100,0

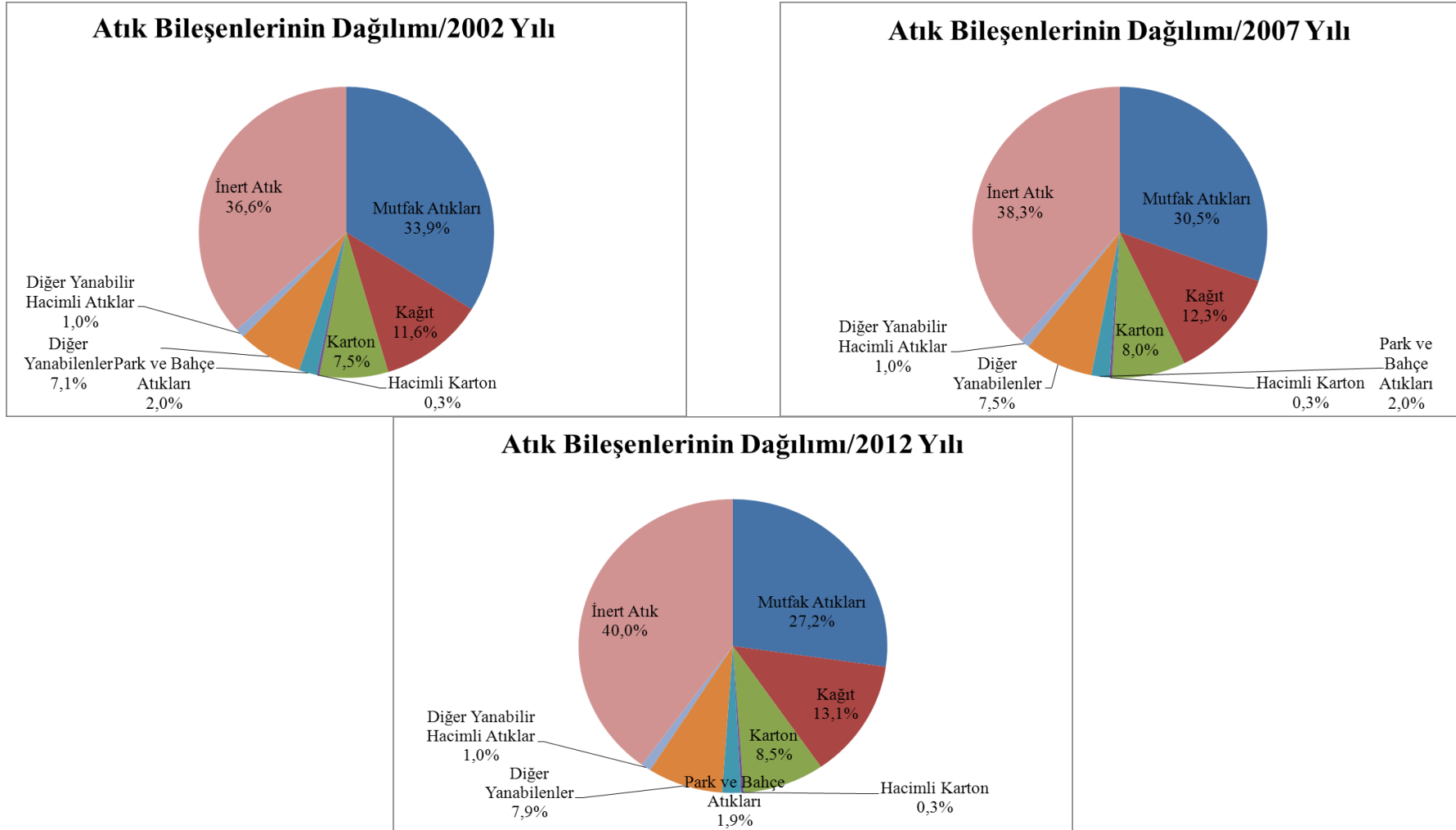
Çizelge C.11 : 3c atık havzasının 2002-2032 yılları için tahmini KKA kompozisyonu (%).

YIL	Mutfak Atıkları	Kağıt	Karton	Hacimli Karton	Park ve Bahçe Atıkları	Diğer Yanabilenler	Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar	İnert Atık	Toplam
2002	42,1	9,4	6,1	0,3	1,9	4,8	0,6	34,8	100,0
2003	41,4	9,5	6,2	0,3	2,0	4,9	0,6	35,1	100,0
2004	40,7	9,7	6,3	0,3	2,0	4,9	0,6	35,5	100,0
2005	40,0	9,8	6,4	0,3	2,0	5,0	0,6	35,9	100,0
2006	39,2	10,0	6,5	0,3	1,9	5,1	0,6	36,4	100,0
2007	38,5	10,1	6,6	0,3	2,0	5,2	0,6	36,7	100,0
2008	37,8	10,3	6,7	0,3	2,0	5,3	0,6	37,0	100,0
2009	37,1	10,4	6,8	0,3	2,0	5,3	0,6	37,5	100,0
2010	36,3	10,6	6,9	0,3	2,0	5,4	0,6	37,9	100,0
2011	35,6	10,8	7,0	0,3	2,0	5,5	0,6	38,2	100,0
2012	34,9	10,9	7,1	0,3	2,0	5,6	0,6	38,6	100,0
2013	34,3	11,1	7,2	0,3	2,0	5,7	0,6	38,8	100,0
2014	33,6	11,3	7,3	0,3	2,0	5,8	0,6	39,1	100,0
2015	32,9	11,4	7,4	0,3	2,0	5,8	0,6	39,6	100,0
2016	32,3	11,6	7,5	0,3	2,0	5,9	0,6	39,8	100,0
2017	31,6	11,8	7,6	0,3	2,0	6,0	0,5	40,2	100,0
2018	31,0	11,9	7,8	0,3	2,0	6,1	0,5	40,4	100,0
2019	30,4	12,1	7,9	0,3	2,0	6,2	0,6	40,5	100,0
2020	29,7	12,3	8,0	0,3	2,0	6,3	0,6	40,8	100,0
2021	29,1	12,5	8,1	0,2	2,0	6,4	0,5	41,2	100,0
2022	28,5	12,6	8,2	0,3	2,1	6,5	0,5	41,3	100,0
2023	27,9	12,8	8,3	0,3	2,1	6,5	0,5	41,6	100,0
2024	27,3	12,9	8,4	0,3	2,1	6,6	0,5	41,9	100,0
2025	26,7	13,0	8,5	0,3	2,1	6,7	0,5	42,2	100,0
2026	26,1	13,2	8,7	0,3	2,1	6,8	0,5	42,3	100,0
2027	25,5	13,3	8,8	0,3	2,1	6,9	0,5	42,6	100,0

Çizelge C.11 (devam) : 3c atık havzasının 2002-2032 yılları için tahmini KKA kompozisyonu (%).

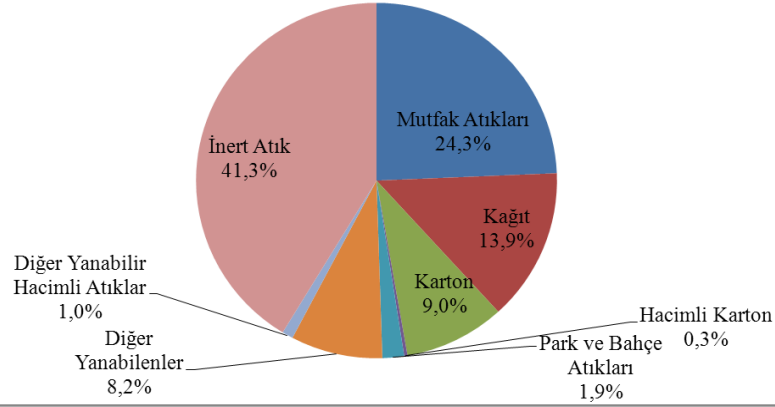
2028	25,0	13,5	8,9	0,3	2,1	7,0	0,5	42,7	100,0
2029	24,5	13,7	9,0	0,3	2,1	7,2	0,5	42,7	100,0
2030	24,0	13,8	9,1	0,3	2,1	7,3	0,5	42,9	100,0
2031	23,5	13,9	9,3	0,3	2,1	7,4	0,5	43,0	100,0
2032	23,0	14,1	9,4	0,3	2,1	7,5	0,5	43,1	100,0

EK D

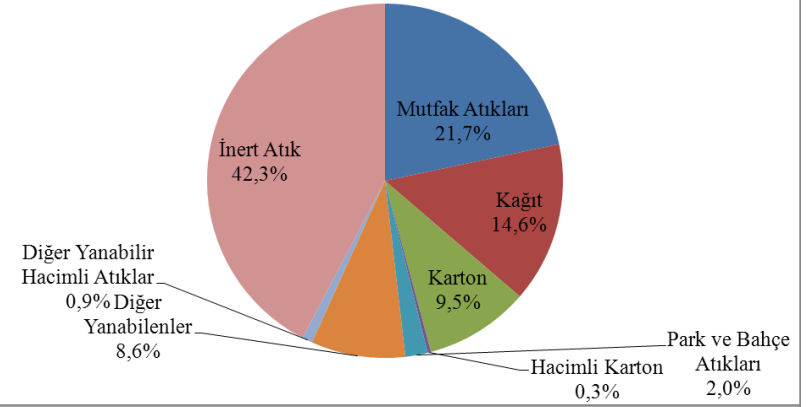


Şekil D.1 : Atık bileşenlerinin dağılımı-1.

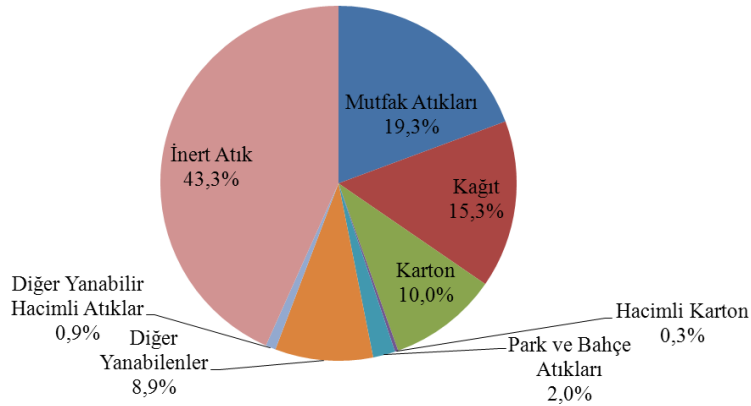
Atık Bileşenlerinin Dağılımı/2017 Yılı



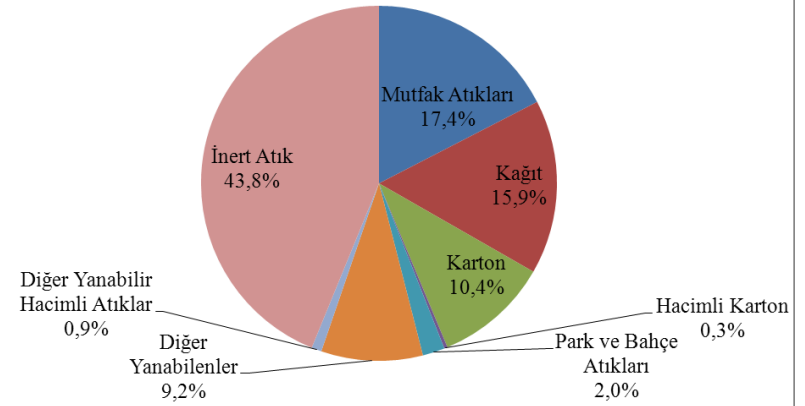
Atık Bileşenlerinin Dağılımı/2022 Yılı



Atık Bileşenlerinin Dağılımı/2027 Yılı



Atık Bileşenlerinin Dağılımı/2032 Yılı



Şekil D.2 : Atık bileşenlerinin dağılımı-2.

EK E**Çizelge E.1 : 2002 yılı atık akışı (ton atık).**

	Düzensiz Depolama (Sığ)	Düzensiz Depolama (Derin)	Düzenli Depolama	Sokak Toplayıcıları	Kompost	TOPLAM
Mutfak Atıkları	1.938.363	1.938.363	3.769.229		79.156	7.725.111
Kağıt	409.475	409.475	949.660	871.106		2.639.715
Karton	266.985	266.985	616.041	566.424		1.716.436
Hacimli Karton	10.746	10.746	25.453	23.122		70.067
Park ve Bahçe Atıkları	100.802	100.802	239.385		5.491	446.480
Diğer Yanabilenler	207.584	207.584	671.567	535.258		1.621.993
Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar	35.724	35.724	87.535	78.304		237.286
İnert Atık	1.282.132	1.282.132	3.039.402	2.760.014		8.363.680
TOPLAM	4.251.810	4.251.810	9.398.272	4.834.228	84.647	22.820.767

Çizelge E.2 : 2007 yılı atık akışı (ton atık).

	Düzensiz Depolama (Sığ)	Düzensiz Depolama (Derin)	Düzenli Depolama	Sokak Toplayıcıları	Kompost	TOPLAM
Mutfak Atıkları	1.671.779	1.671.779	4.904.950		86.853	8.335.362
Kağıt	416.303	416.303	1.429.743	1.114.292		3.376.641
Karton	271.702	271.702	932.496	726.936		2.202.835
Hacimli Karton	10.255	10.255	34.505	27.097		82.113
Park ve Bahçe Atıkları	97.108	97.108	337.463		6.719	538.399
Diğer Yanabilenler	211.950	211.950	956.840	680.066		2.060.806
Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar	34.080	34.080	121.400	93.365		282.924
İnert Atık	1.286.337	1.286.337	4.456.811	3.462.283		10.491.767
TOPLAM	3.999.514	3.999.514	13.174.208	6.104.039	93.572	27.370.847

Çizelge E.3 : 2012 yılı atık akışı (ton atık).

	Düzensiz Depolama (Sığ)	Düzensiz Depolama (Derin)	Düzenli Depolama	Sokak Toplayıcıları	Kompost	TOPLAM
Mutfak Atıkları	1.079.952	1.079.952	6.744.128		95.263	8.999.296
Kağıt	318.534	318.534	2.261.572	1.427.688		4.326.329
Karton	207.952	207.952	1.473.341	930.524		2.819.769
Hacimli Karton	7.371	7.371	51.652	32.702		99.097
Park ve Bahçe Atıkları	69.800	69.800	494.709		7.928	642.237
Diğer Yanabilenler	161.121	161.121	1.423.643	859.914		2.605.799
Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar	24.231	24.231	178.867	111.968		339.296
İnert Atık	965.803	965.803	6.912.728	4.356.165		13.200.499
TOPLAM	2.834.766	2.834.766	19.540.639	7.718.960	103.191	33.032.322

Çizelge E.4 : 2017 yılı atık akışı (ton atık).

	BİRİNCİ SENARYO						İKİNCİ/ÜÇÜNCÜ SENARYO						
	Düzensiz Depolama (Sığ)	Düzensiz Depolama (Derin)	Düzenli Depolama	Sokak Toplayıcıları	Kompost	TOPLAM	Düzensiz Depolama (Sığ)	Düzensiz Depolama (Derin)	Düzenli Depolama	Yakma	MGT	Kompost/Biyometanizasyon	TOPLAM
Mutfak Atıkları	492.411	492.411	8.546.156		102.758	9.633.736	262.963	262.963	4.433.019	1.946.670		2.728.121	9.633.736
Kağıt	171.796	171.796	3.335.361	1.812.021		5.490.974	81.339	81.339	1.238.395	1.245.297	2.844.604		5.490.974
Karton	111.883	111.883	2.172.593	1.180.296		3.576.656	52.854	52.854	803.165	822.495	1.845.288		3.576.656
Hacimli Karton	3.689	3.689	71.412	38.807		117.598	1.751	1.751	26.725	26.001	61.370		117.598
Park ve Bahçe Atıkları	35.482	35.482	687.224		9.608	767.795	20.267	20.267	368.710	170.484		188.068	767.795
Diğer Yanabilenler	86.690	86.690	2.009.336	1.075.069		3.257.786	42.909	42.909	734.042	773.361	1.664.565		3.257.786
Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar	11.548	11.548	239.044	129.114		391.255	5.396	5.396	88.675	89.842	201.947		391.255
İnert Atık	508.920	508.920	9.934.503	5.394.437	102.758	16.346.779	243.228	243.228	3.722.292	3.592.997	8.545.034		16.346.779
TOPLAM	1.422.419	1.422.419	26.995.630	9.629.746	112.366	39.582.579	710.707	710.707	11.415.023	8.667.146	15.162.807	2.916.189	39.582.579

Çizelge E.5 : 2022 yılı atık akışı (ton atık).

	BİRİNCİ SENARYO				İKİNCİ/ÜÇÜNCÜ SENARYO				
	Düzenli Depolama	Sokak Toplayıcıları	Kompost	TOPLAM	Düzenli Depolama	Yakma	MGT	Kompost/ Biyometanizasyon	TOPLAM
Mutfak Atıkları	10.139.035		110.304	10.249.340	3.796.420	3.549.752		2.903.168	10.249.340
Kağıt	4.634.482	2.282.655		6.917.138	1.392.288	2.698.082	2.826.767		6.917.138
Karton	3.016.466	1.485.722		4.502.188	899.034	1.777.842	1.825.311		4.502.188
Hacimli Karton	95.016	46.799		141.815	29.138	53.518	59.159		141.815
Park ve Bahçe Atıkları	949.846		12.103	961.949	360.299	367.336		234.314	961.949
Diğer Yanabilenler	2.710.281	1.334.915		4.045.196	792.834	1.642.668	1.609.694		4.045.196
Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar	295.230	145.412		440.642	89.283	170.086	181.272		440.642
İnert Atık	13.408.934	6.604.400		20.013.334	4.102.981	7.580.057	8.330.295		20.013.334
TOPLAM	35.249.291	11.899.903	122.407	47.271.601	11.462.278	17.839.340	14.832.500	3.137.482	47.271.601

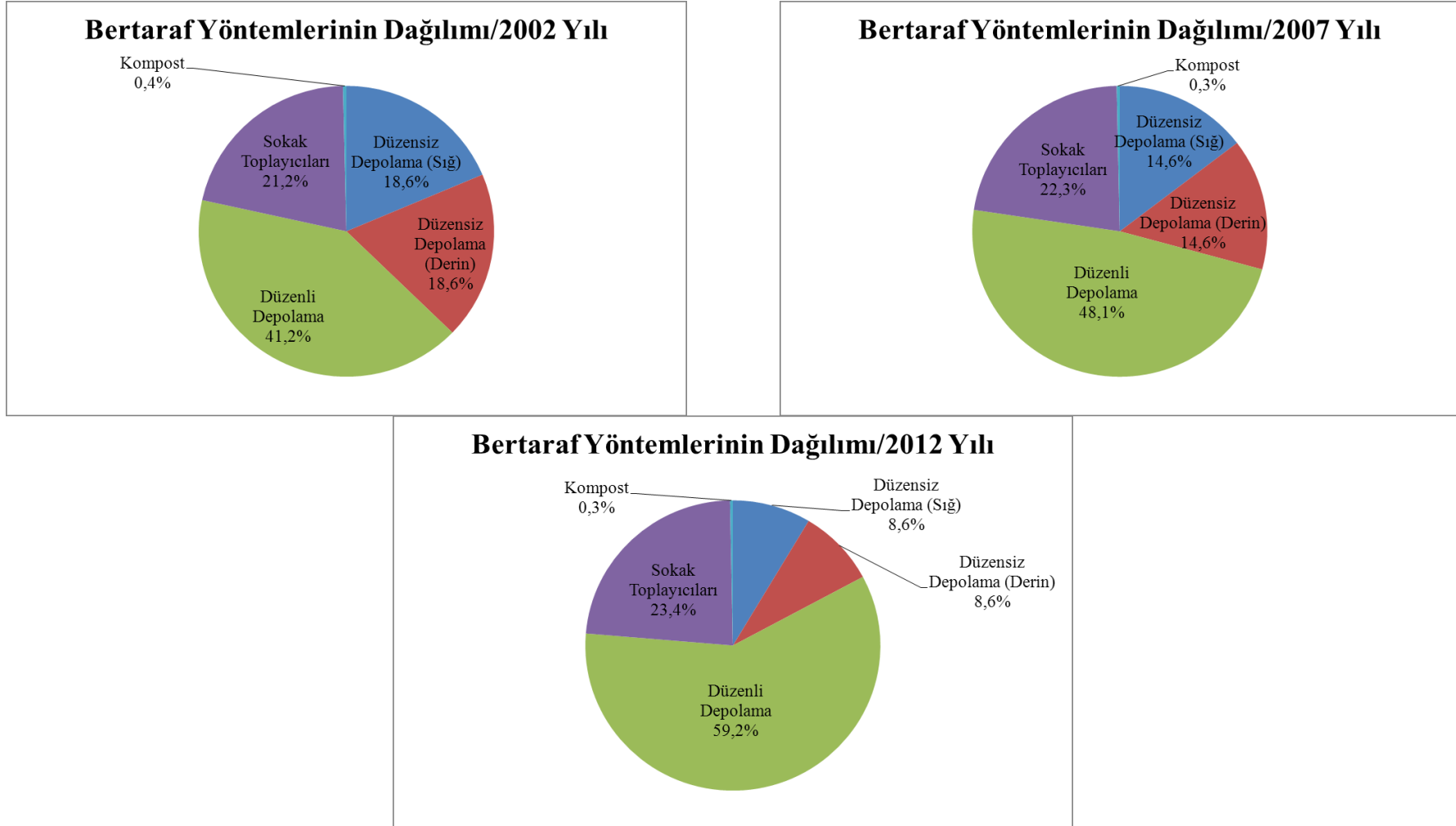
Çizelge E.6 : 2027 için atık akışı (ton atık).

	BİRİNCİ SENARYO				İKİNCİ/ÜÇÜNCÜ SENARYO				
	Düzenli Depolama	Sokak Toplayıcıları	Kompost	TOPLAM	Düzenli Depolama	Yakma	MGT	Kompost/ Biyometanizasyon	TOPLAM
Mutfak Atıkları	10.769.580		118.432	10.888.012	3.091.809	4.699.074		3.097.129	10.888.012
Kağıt	5.764.123	2.839.046		8.603.169	1.455.286	4.193.211	2.954.672		8.603.169
Karton	3.761.276	1.852.569		5.613.845	942.221	2.758.629	1.912.995		5.613.845
Hacimli Karton	113.241	55.775		169.016	29.443	79.796	59.777		169.016
Park ve Bahçe Atıkları	1.121.173		13.903	1.135.076	317.065	539.158		278.853	1.135.076
Diğer Yanabilenler	3.355.477	1.652.698		5.008.175	820.445	2.521.977	1.665.752		5.008.175
Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar	345.762	170.301		516.063	87.918	249.645	178.500		516.063
İnert Atık	16.351.519	8.053.733		24.405.253	4.239.872	11.557.157	8.608.224		24.405.253
TOPLAM	41.582.152	14.624.122	132.335	56.338.608	10.984.059	26.598.647	15.379.921	3.375.981	56.338.608

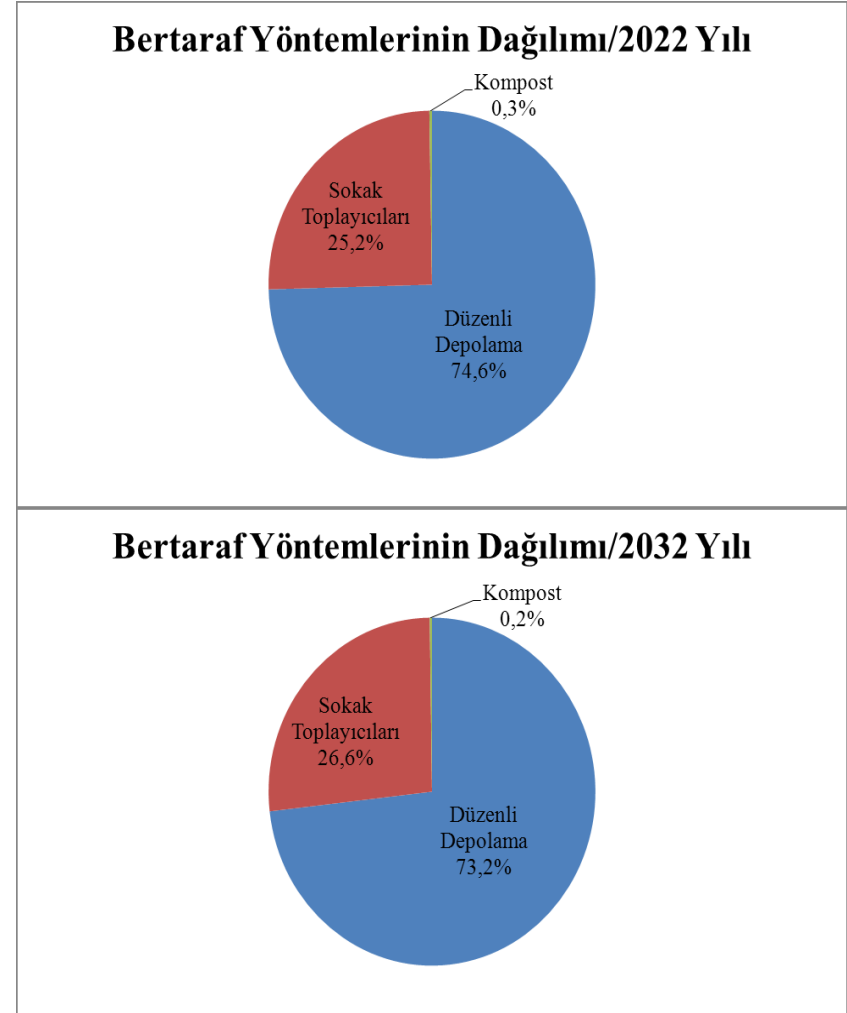
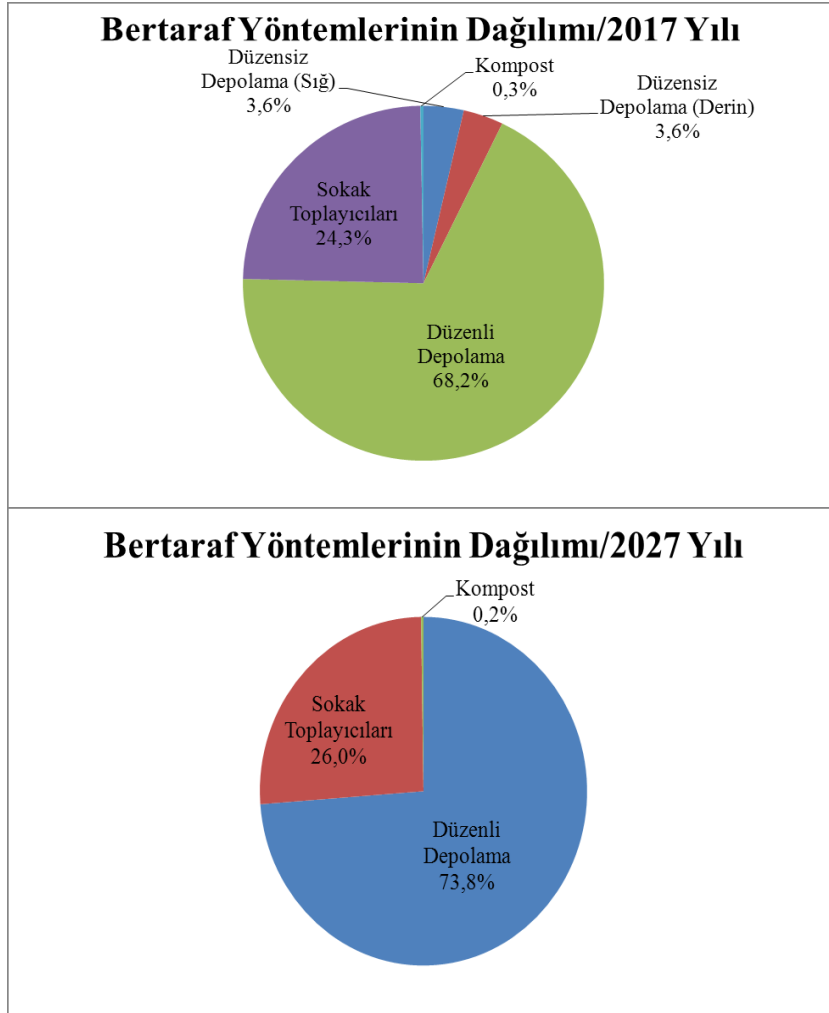
Çizelge E.7 : 2032 için atık akışı (ton atık).

	BİRİNCİ SENARYO				İKİNCİ/ÜÇÜNCÜ SENARYO				
	Düzenli Depolama	Sokak Toplayıcıları	Kompost	TOPLAM	Düzenli Depolama	Yakma	MGT	Kompost/ Biyometanizasyon	TOPLAM
Mutfak Atıkları	11.538.536		129.681	11.668.217	3.313.514	5.034.355		3.320.348	11.668.217
Kağıt	7.125.077	3.509.366		10.634.443	1.801.128	5.176.480	3.656.836		10.634.443
Karton	4.681.072	2.305.603		6.986.675	1.174.583	3.427.333	2.384.759		6.986.675
Hacimli Karton	134.672	66.331		201.003	34.951	95.092	70.960		201.003
Park ve Bahçe Atıkları	1.332.031		16.756	1.348.787	376.435	643.728		328.624	1.348.787
Diğer Yanabilenler	4.142.775	2.040.471		6.183.246	1.020.050	3.092.185	2.071.011		6.183.246
Diğer Yanabilir Hacimli Atıklar	410.923	202.395		613.318	103.882	298.523	210.912		613.318
İnert Atık	19.674.725	9.690.536		29.365.261	5.093.753	13.929.645	10.341.862		29.365.261
TOPLAM	49.039.810	17.814.702	146.437	67.000.949	12.918.296	31.697.341	18.736.340	3.648.972	67.000.949

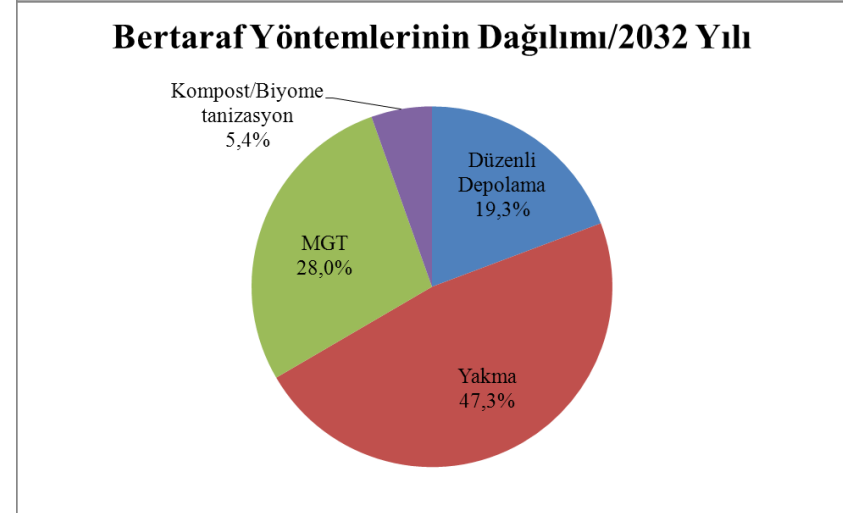
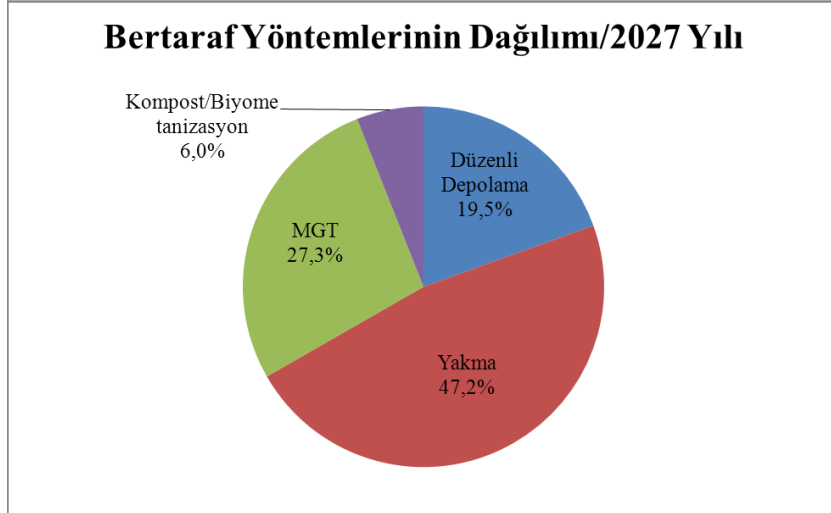
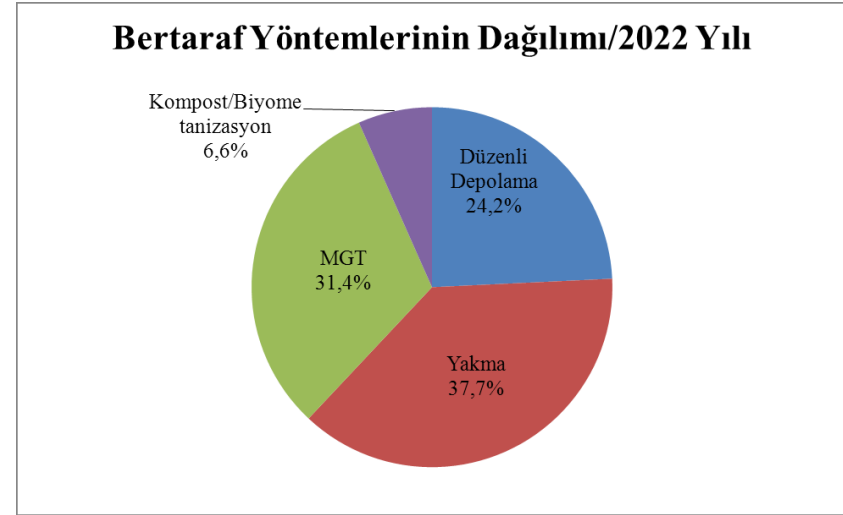
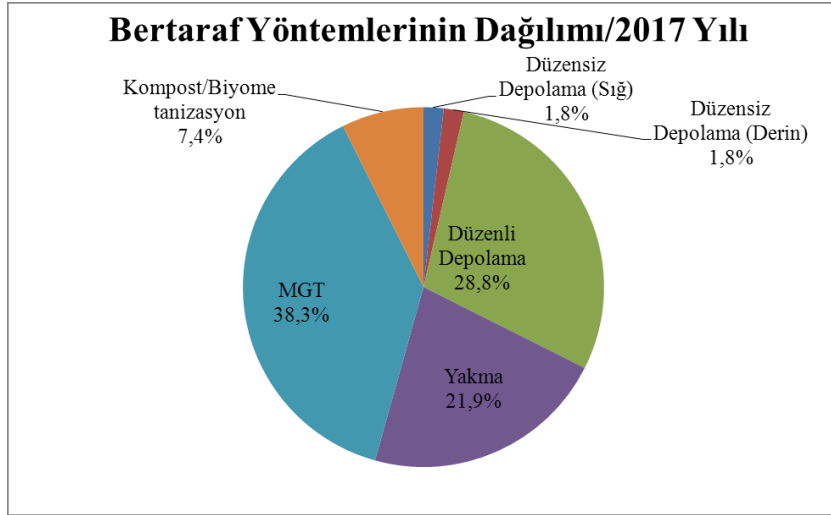
EK F



Şekil F.1 : 2002, 2007 ve 2012 yılları için bertaraf yöntemlerinin dağılımı.



Şekil F.2 : Birinci senaryo için bertaraf yöntemlerinin dağılımı.



Şekil F.3 : İkinci ve üçüncü senaryolar için bertaraf yöntemlerinin dağılımı.

EK G

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														
31														
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														

Şekil G.1 : IPCC modeline nüfus, atık miktarı ve KKA kompozisyonun girilmesi.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1			Methane Correction Factor (MCF) This worksheet calculates a weighted average MCF from the estimated di Enter either IPCC default values or national values into the yellow MCF ce Then enter the approximate distribution of waste disposals (by mass) bet Totals on each row must add up to 100% (see "distribution check" values					
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
			MSW					
			Un- managed, shallow	Un- managed, deep	Managed	Managed, semi- aerobic	Uncate- gorised	Distri- bution Check
10			MCF	MCF	MCF	MCF	MCF	
11			IPCC default	0,4	0,8	1	0,5	0,6
12			Country-specific value	0,4	0,8	1	0,5	0,6
13								
14								
15			Distribution of Waste by Waste Management Type					
16			"Fixed" Country- specific value			0%	0%	Total (100%)
17			Year	%	%	%	%	%
18			2002	36,0%	36,0%	28,0%	0%	0%
19			2003	35,5%	35,5%	29,0%	0%	0%
20			2004	35,0%	35,0%	30,0%	0%	0%
21			2005	34,0%	34,0%	32,0%	0%	0%
22			2006	32,5%	32,5%	35,0%	0%	0%
23			2007	30,5%	30,5%	39,0%	0%	0%
24			2008	28,5%	28,5%	43,0%	0%	0%
25			2009	26,5%	26,5%	47,0%	0%	0%
26			2010	24,5%	24,5%	51,0%	0%	0%
27			2011	22,5%	22,5%	55,0%	0%	0%
28			2012	20,0%	20,0%	60,0%	0%	0%

Şekil G.2 : IPCC modeline depolama sahalarının dağılımının girilmesi.

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2		Parameters	Country	Turkey			
3			Region	Europe: Eastern			
4		Please enter parameters in the yellow cells. If no national data are available, copy the IPCC default value.					
5		Help on parameter selection can be found in the 2006 IPCC guidelines					
6							
7							
8							
12		(weight fraction, wet basis)	IPCC default value	Country-specific parameters			
13			Range	Default	Value	Reference and remarks	Notes
14		Food waste	0.08-0.20	0.15	0.15		May include garden waste provided that a suitable value of DOC is used
15		Garden	0.18-0.22	0.2	0.2		Garden (yard) and park waste and other moderately fast degrading waste
16		Paper	0.36-0.45	0.4	0.4		
17		Wood and straw	0.39-0.46	0.43	0.43		
18		Textiles	0.20-0.40	0.24	0.24		Natural textiles such as wool and cotton. The default DOC value assumes 40% of textiles are
19		Disposable nappies	0.18-0.32	0.24	0.24		
20		Sewage sludge	0.04-0.05	0.05	0.05		
21		Industrial waste	0-0.54	0.15	0.15		The composition of industrial waste will vary significantly by country. This DOC value should
22							
23		DOCf (fraction of DOC dissimilated)		0.5	0.5		
24							
25		Methane generation rate constant (k)	Wet temperate				
26		(years⁻¹)	Range	Default			
27		Food waste	0.1-0.2	0.185	0.185		May include garden waste provided that a suitable value of DOC is used
28		Garden	0.06-0.1	0.1	0.1		Garden (yard) and park waste and other moderately fast degrading waste
29		Paper	0.05-0.07	0.06	0.06		
30		Wood and straw	0.02-0.04	0.03	0.03		
31		Textiles	0.05-0.07	0.06	0.06		Natural textiles such as wool and cotton. Synthetic textiles are assumed not to contain DOC
32		Disposable nappies	0.06-0.1	0.1	0.1		
33		Sewage sludge	0.1-0.2	0.185	0.185		
34							

Şekil G.3 : IPCC modeline ayrışabilir organik bileşik ve metan oluşum katsayılarının girilmesi.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
9																		
10	Methane generated																	
11	Year	Food	Garden	Paper	Wood	Textile	Nappies	Sludge	MSW	Industrial	Total	Methane recovery	Methane emission	Yıllık CH4 oluşumu	Yıllık biyogaz oluşumu	Saatlik CH4 oluşumu	Saatlik biyogaz oluşumu	
12		A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M = (K-L)*(1-0X)					
13		Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	Gg	m3	m3	m3	m3	
14																		
15	2002	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	
16	2003	3	0	2	0	0	0	0		0	6	0	6	8.434.045	16.868.090	963	1.926	
17	2004	6	0	4	0	0	0	0		0	12	0	12	16.133.212	32.266.424	1.842	3.683	
18	2005	9	0	6	0	1	0	0		0	17	0	17	23.226.404	46.452.809	2.651	5.303	
19	2006	11	1	8	1	1	0	0		0	21	0	21	29.888.992	59.777.984	3.412	6.824	
20	2007	13	1	11	1	1	0	0		0	26	0	26	36.224.489	72.448.978	4.135	8.270	
21	2008	14	1	13	1	1	0	0		0	30	0	30	42.359.071	84.718.141	4.836	9.671	
22	2009	16	1	15	1	1	1	0		0	35	0	35	48.680.038	97.360.077	5.557	11.114	
23	2010	18	1	19	2	2	1	0		0	42	0	42	58.065.788	116.131.577	6.629	13.257	
24	2011	20	1	22	2	2	1	0		0	48	0	48	67.051.877	134.103.754	7.654	15.309	
25	2012	21	1	24	2	2	1	0		0	52	0	52	72.841.095	145.682.191	8.315	16.630	
26	2013	22	1	27	2	2	1	0		0	57	0	57	78.889.995	157.779.991	9.006	18.011	
27	2014	23	2	30	3	2	1	0		0	61	0	61	85.087.311	170.174.622	9.713	19.426	
28	2015	24	2	33	3	3	1	0		0	66	0	66	91.587.063	183.174.127	10.455	20.910	
29	2016	24	2	35	3	3	1	0		0	68	0	68	94.411.178	188.822.356	10.778	21.555	
30	2017	24	2	37	3	3	1	0		0	69	0	69	96.910.237	193.820.474	11.063	22.126	
31	2018	23	2	38	4	3	1	0		0	71	0	71	99.048.725	198.097.449	11.307	22.614	
32	2019	22	2	40	4	3	1	0		0	72	0	72	100.811.024	201.622.048	11.508	23.016	
33	2020	22	2	41	4	3	1	0		0	73	0	73	102.161.375	204.322.751	11.662	23.325	
34	2021	21	2	42	4	3	1	0		0	74	0	74	103.014.033	206.028.065	11.760	23.519	
35	2022	20	2	43	4	3	1	0		0	74	0	74	103.225.569	206.451.138	11.784	23.567	
36	2023	19	2	44	5	3	1	0		0	74	0	74	102.743.760	205.487.520	11.729	23.457	
37	2024	18	2	44	5	3	1	0		0	73	0	73	101.612.032	203.224.063	11.600	23.199	

Şekil G.4 : IPCC modeli sonuç sayfası örneği.

EK H**Çizelge H.1 : IPCC Modelindeki Belirsizlik Kaynakları ve Belirsizlik Aralıkları.**

Belirsizlik Kaynağı	Belirsizlik Aralığı	Seçilen Belirsizlik Yüzdesi
Toplam atık miktarı	Tipik değer: $\pm\%30$ Yüksek güvenilirlikte veriye sahip ülkelerde: $\pm\%10$ (yeterli tartım yapılan ülkelerde) Yeterli veriye sahip olmayan ülkeler için: tipik değer en az iki katı	$\pm\%10$
Depolamaya giden atık miktarı	Tipik değer: $\pm\%30$ Yüksek güvenilirlikte veriye sahip ülkelerde: $\pm\%10$ (yeterli tartım yapılan ülkelerde) Yeterli veriye sahip olmayan ülkeler için: tipik değer en az iki katı	$\pm\%10$
Atık kompozisyonu	Tipik değer: $\pm\%30$ Yüksek güvenilirlikte veriye sahip ülkelerde: $\pm\%10$ (temsil edici KKA üzerinde düzenli analiz yapılan ülkelerde) Yeterli veriye sahip olmayan ülkeler için: tipik değer en az iki katı	$\pm\%20$
Ayrışabilir organik karbon (DOC)	IPCC değeri: $\pm\%20$ Ülkeye özgü değer kullanılıyorsa: $\pm\%10$	$\pm\%20$
Bozunabilen ayrışabilir organik karbon (DOC _f)	IPCC değeri: $\pm\%20$ Ülkeye özgü değer kullanılıyorsa: $\pm\%10$	$\pm\%20$
Metan düzeltme faktörü (MCF) = 1,0 = 0,8 = 0,5 = 0,4 = 0,6	IPCC değeri: - $\%10$, $\%0$ $\pm\%20$ $\pm\%20$ $\pm\%30$ - $\%50$, $+\%60$	$\pm\%20$
Depo gazındaki metan oranı (F) = 0,5	IPCC değeri: $\pm\%5$	$\pm\%5$
Metan geri kazanımı (R)	Gaz sayacı mevcutsa: $\pm\%10$ Gaz sayacı bulunmuyorsa: $\pm\%50$	$\pm\%10$
Oksidasyon faktörü (OX)	Sıfırdan farklı ise belirsizlik oluşturmaktadır.	-
Yarı-ömür ($t_{1/2}$)	Belirsizlik, atığın bozunma hızına göre farklılık göstermektedir.	-

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Hüseyin GÜVEN
Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 1987
Adres: İTÜ Ayazağa Kampüsü İnşaat Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Maslak, 34469 İstanbul
E-Posta: guvenhu@itu.edu.tr
Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü