

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSTANBUL'DA
KENTSEL KATI ATIK KAYNAKLI
SERA GAZI SALIMLARININ HESAPLANMASI

Ece TURHAN

2501150248

TEZ DANIŞMANI

PROF. DR. Doğanay TOLUNAY

İSTANBUL – 2018



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS
TEZ ONAYI

ÖĞRENCİNİN;

Adı ve Soyadı : ECE TURHAN Numarası : 2501150248
Anabilim Dalı /
Anasanat Dalı / Programı : İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ Danışmanı : PROF. DR. DOĞANAY TOLUNAY
Tez Savunma Tarihi : 28.11.2018 Saati : 13:00
Tez Başlığı : İSTANBUL'DA KENTSEL KATI ATIK KAYNAKLI SERA GAZI
SALIMLARININ HESAPLANMASI

TEZ SAVUNMA SINAVI, İÜ Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliği'nin 36. Maddesi uyarınca yapılmış,
sorulan sorulara alınan cevaplar sonunda adayın tezinin KABULÜ'NE OYBİRLİĞİ / OYÇOKLUĞUYLA karar verilmiştir.

JÜRİ ÜYESİ	İMZA	KANAATİ (KABUL / RED / DÜZELTME)
1-PROF. DR. DOĞANAY TOLUNAY		Kabul
2-PROF. DR. BARBAROS GÖNENÇGİL		Kabul
3-PROF. DR. SEVAL SÖZEN		Kabul

YEDEK JÜRİ ÜYESİ	İMZA	KANAATİ (KABUL / RED / DÜZELTME)
1-DOÇ. DR. AYÇİM BAŞKAYA		
2-DOÇ. DR. ÜLKÜ ALVER ŞAHİN		

ÖZ

İSTANBUL'DA KENTSEL KATI ATIK KAYNAKLI SERA GAZI SALIMLARININ HESAPLANMASI

ECE TURHAN

İnsan sağlığı ve çevre üzerinde yüzyıllardır yarattığı olumsuz etkilerinin yanında kentsel katı atık ayrıca sera gazı salımlarına katkı yapan bir kaynaktır. Enerji üretimi ve tüketimi, arazi kullanımı, arazi kullanım değişiklikleri ve ormancılık (LULUCF), sanayi gibi kaynaklara nazaran insan - kaynaklı sera gazı salımlarının daha azından (%5'in üzerinde) sorumlu olan atık sektöründen atmosfere önemli bir CO₂-harici sera gazı olan metan salımı gerçekleşmektedir. Karbondioksitin ısıyı atmosferin içinde tutma potansiyelinden 25 kat fazla bir etkiye sahip olan bu metanın büyük bir kısmı da kentsel katı atığın uzaklaştırılmasından kaynaklanmaktadır. Tüm dünyada yaşanan nüfus artışı, ekonomik büyüme, tüketim alışkanlıklarının değişmesi gibi etkenlere bağlı olarak miktarı giderek artan ve içeriği karmaşılaşan ve bir küresel ısınma kaynağı olan kentsel katı atığın, insanlığın başa çıkması gereken sorunlardan biri olduğu ortadadır.

Türkiye tarafından 2016 yılı için hazırlanan ulusal sera gazı envanterinde, atık sektöründen (atıksu ve endüstriyel katı atık hariç) kaynaklanan toplam (brüt) sera gazları salımının 17,7 milyon ton CO₂ eşdeğeri seviyesinde olduğu belirtilmektedir. Ulusal envanterde atık sektörü kaynaklı salımlar IPCC (2006) kılavuzunda sunulan metodoloji ve emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanmıştır. Kişi başı katı atık oluşumundan yola çıkılarak tahminlerin yapıldığı envantere göre İstanbul'da kentsel katı atık kaynaklı toplam (brüt) sera gazı salımları 3,3 milyon ton CO₂ eşdeğerine denk gelmektedir. Bununla birlikte Türkiye'de kentsel katı atık kaynağına dair veri kalitesinin zayıf olduğu ve ulusal envanterde çok genel kabullere dayanan belirsizliği fazla tahminler yapıldığı görülebilmektedir. Bu tez çalışmasında IPCC (2006) kılavuzunda belirtilen yöntemler ve İstanbul özelinde temin edilebilen veriler kullanılarak, ülkenin en kalabalık kenti İstanbul'da kentsel katı atık kaynaklı oluşan

sera gazı salımları tahmin edilmiştir. Çalışma esnasında katı atıklarla ilgili tutulan kayıtların yeterince sağlıklı olmadığı, kimi yıllara ait verilere ulaşmanın neredeyse imkânsız olduğu açığa çıkmıştır. Veri toplama aşamasında yaşanan güçlüklerle rağmen, İstanbul için kentsel katı atıklardan kaynaklanan toplam (brüt) sera gazları salımının ulusal envanterde verilen değerden daha yüksek olduğu (5,6 milyon ton CO₂ eşdeğ.) belirlenmiştir. Bu çalışma doğrultusunda kentsel katı atık kaynaklı salımların yerel ölçekte hesaplanması, katı atık yönetimi ile ilgili verilerin düzenli olarak tutulması ve kamuoyuyla şeffaf bir şekilde paylaşılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kentsel Katı Atık, Sera Gazı, Envanter, Küresel Isınma, İstanbul

ABSTRACT

CALCULATION OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM MUNICIPAL SOLID WASTE IN ISTANBUL

ECE TURHAN

Besides its adverse effects on human health and the environment for centuries, municipal solid waste is also a source contributing to greenhouse gas emissions. The waste sector which is responsible for less (above of 5%) human-induced greenhouse gas emissions compared to sources such as energy production and consumption, land use/land use changes and forestry (LULUCF), industry emits methane, an important non-CO₂ greenhouse gas. The majority of this methane, which has a 25 times higher effect than the carbon dioxide's potential of trapping heat in the atmosphere, arises from municipal solid waste disposal. It is clear that municipal solid waste – a source of global warming – whose quantity is increasing and composition is getting complex depending on such factors as population increase, economic growth, changes in consumption patterns all over the world, is one of the issues that humanity has to deal with.

In the national greenhouse gas inventory prepared by Turkey for the year of 2016, the total (gross) greenhouse gas emission from waste sector (excluding wastewater and industrial solid waste) is indicated as 17,7 million tons of CO₂equivalent. In the national inventory, emissions from waste sector are estimated by using the methodology and emission factors that presented in IPCC (2006) guidelines. Total (gross) greenhouse gases emission from municipal solid waste in Istanbul corresponds to 3,3 million tons of CO₂eq according to inventory where the estimations are on the basis of solid waste generation per capita. However it can be seen that the quality of data on the municipal solid waste source in Turkey is weak and the national inventory has highly uncertain estimations that are based on too common assumptions. In this thesis study, it is estimated that the greenhouse gases emissions in Istanbul - the most populous city of country – are estimated by using the

methods indicated in IPCC (2006) guidelines and city-specific data which is available for Istanbul. During the study, it comes out that the records related on solid wastes are not healthy enough and reaching data for some years is almost impossible. Despite the difficulties in data collection, the total (gross) greenhouse gases emission from municipal solid waste for Istanbul is higher (5,6 MtCO₂eq) than the value given in the national inventory. In the context of the study, it is deduced that emissions from municipal solid waste should be estimated at local scale, the data on waste management should be monitored regularly and the information should be shared with public transparently.

Keywords: Municipal Solid Waste, Greenhouse Gas, Inventory, Global Warming, Istanbul

ÖNSÖZ

Küresel ısınmanın baskın sebebi olarak kabul edilen sera gazı salımlarında yaşanan artışın hangi seviyede ve hangi kaynaklar tarafından gerçekleştirildiğinin izlenmesi, insan kaynaklı iklim değişikliğinin sebeplerinin ve etkilerinin azaltılması ve etkilere uyum sağlanması için gerekli olan en önemli faaliyetlerden bir tanesidir.

Atmosfere salınan sera gazlarının miktarındaki değişimlerin takip edilebilmesi amacıyla 20 yıla yakın bir süredir ülkeler ortak bir metodoloji kullanarak ulusal sera gazı envanterlerini hazırlamaktadır. Bu envanterler enerji, tarım, sanayi, ormancılık, ulaşım, atık gibi sektörlerden ulusal olarak kaynaklanan sera gazı salımlarını içermektedir. Bu ulusal envanterlerde belirlenen salım değerlerinin, envanterin kapsadığı ölçek daraldığı - ülke genelinden şehir seviyesine inildiği – takdirde gerçek durumu yansıtmadığı görülebilmektedir.

Bu noktadan hareketle, İstanbul kentinde ulusal ve yerel düzeyde farklılıklar gösterebilen bir kaynağın, kentsel katı atıkların açığa çıkardığı sera gazı salımları belirlenmiştir. Elde edilen çıktılar ulusal envanter sonuçlarıyla karşılaştırılmış, ortaya çıkan farklılıkların nereden kaynaklanabileceği açıklanmış, bu süreçte karşılaşılan zorluklara değinilmiş, insan kaynaklı iklim değişikliğiyle etkin bir mücadele için sera gazı salımlarının kentlerde/kentsel alanlarda da belirlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Tez konumu belirleme aşamasında özgürce hareket etmeme izin veren, karşısına kendi uzmanlık alanının kısmen dışında olan bir konuyla gelmeme rağmen danışmanlığımı yapmayı kabul eden, tezi yazarken paniklediğim anlarda beni sakinleştiren, tecrübesiyle bana yol gösteren, özetle benden desteğini asla esirgemeyen, mesleğine, doğaya ve yaşama duyduğu saygı, sevgi ve inancı hayranlıkla izlediğim kıymetli öğretmenim Prof. Dr. Doğanay TOLUNAY'a ve sırf bu çalışma boyunca değil her zaman yanımda olan yardımcı meleklerim annem Dilek TURHAN ve babam İhsan TURHAN'a çok teşekkür ederim.

ECE TURHAN

İSTANBUL, 2018

İÇİNDEKİLER

ÖZ.....	iii
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar LİSTESİ	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xv
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xvii
GİRİŞ.....	1

BİRİNCİ BÖLÜM

KENTSEL KATI ATIK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

1.1. Kentsel Katı Atık	3
1.1.1. Tanımı	3
1.1.2. Bileşenleri.....	4
1.1.3. Kentsel Katı Atık Oluşumunda Mevcut Durum	4
1.1.4. Küresel Kentsel Katı Atık Yönetiminde Mevcut Durum.....	10
1.1.5. Türkiye’de Kentsel Katı Atık	15
1.2. İklim Değişikliği	17
1.2.1. İklim Değişikliği ve Kentsel Katı Atık İlişkisi	19
1.2.2. İklim Değişikliği ve Kentler	24
1.2.3. Sera Gazı Emisyon Envanterleri	25
1.3. Amaç	27

İKİNCİ BÖLÜM

ÇALIŞMA ALANININ TANITIMI VE METOT

2.1. Çalışma Alanının Tanıtımı	28
2.1.1. Konum	28
2.1.2. Nüfus	29
2.1.3. İklim	30
2.1.4. İstanbul’da Kentsel Katı Atık	32
2.2. Metot	36
2.2.1. Sera Gazı Salım Tahminlerinde Kullanılacak Nüfusun Belirlenmesi.....	37
2.2.2. Kişi Başı ve Toplam Oluşan KKA Miktarlarının Belirlenmesi.....	39
2.2.3. İstanbul’da Kentsel Katı Atığın Depolanmasından Kaynaklanan Metan (CH ₄) Salımlarının Tahmini.....	41
2.2.3.1. İstanbul’da Kentsel Katı Atığın Depolanmasından kaynaklanan Metan (CH ₄) Salımlarının Tahmininde Kullanılan Faaliyet Verisi	45
2.2.3.2. İstanbul’da KKA Depolanmasından Kaynaklanan CH ₄ Salımlarının Tahmininde Kullanılan Emisyon Faktörleri ve Parametreler	47
a) Parçalanabilir Organik Karbon (DOC).....	48
b) Parçalanabilir Organik Karbonun Ayrışabilen Fraksiyonu (DOC _f)	48
c) Metan Düzeltme Faktörü (MCF)	49
d) Oluşan Depo Gazındaki CH ₄ Fraksiyonu (F).....	50
e) Oksidasyon Faktörü (OX)	50
f) Yarılanma Ömrü (t _{1/2}) ve Metan Oluşum Hızı Sabiti (k).....	51
g) Metan Geri Kazanımı(R).....	53
h) Gecikme Süresi.....	53
2.2.3.3. Atık Depolama Kaynaklı CH ₄ Salımlarının Tahminindeki Belirsizliklerin Değerlendirilmesi.....	54

2.2.4. İstanbul'da KKA'nın Kompostlaştırılmasından Kaynaklanan Sera Gazı Salımlarının Tahmini.....	54
2.2.4.1. İstanbul'da Kompostlaştırma kaynaklı Sera Gazı salımlarının Tahmininde Kullanılan Faaliyet Verisi.....	56
2.2.4.2. İstanbul'da Kompostlaştırma Kaynaklı Sera Gazı Salımlarının Tahmininde Kullanılan Emisyon Faktörleri.....	56
2.2.4.3. İstanbul'da Kompostlaştırma Kaynaklı Sera Gazı Salımlarının Tahmininde Orta Çıkan Belirsizliklerin Değerlendirilmesi	56
2.2.5. İstanbul'da Kentsel Katı Atığın Açıkta Yakılması Sonucu Açığa Çıkan Sera Gazı Salımlarının Tahmini	56
2.2.5.1. KKA'nın Açıkta Yakılmasından Kaynaklanan Sera Gazı Salımlarının Tahmininde Kullanılan Faaliyet Verisi	57
2.2.5.1.1. İstanbul'da Açıkta yakılan KKA Miktarının Belirlenmesi	57
2.2.5.1.2. İstanbul'da Açıkta Yakılan KKA'nın Kuru Madde İçeriğinin Belirlenmesi.	58
2.2.5.2. İstanbul'da KKA'nın Açıkta Yakılmasından Kaynaklanan CO ₂ Salımlarının Tahmini.....	59
2.2.5.2.1. İstanbul'da KKA'nın Açıkta Yakılmasından Kaynaklanan CO ₂ Salımlarının Tahmininde Kullanılan Emisyon Faktörleri	60
a) Toplam Karbon İçeriği	60
b) Fosil Karbon Fraksiyonu	61
c) Oksidasyon Faktörü.....	62
2.2.5.3. İstanbul'da KKA'nın Açıkta Yakılmasından Kaynaklanan CH ₄ Salımlarının Tahmini.....	62
2.2.5.4. İstanbul'da KKA'nın Açıkta Yakılmasından Kaynaklanan N ₂ O Salımlarının Tahmini.....	63
2.2.5.5. İstanbul'da Açıkta Yakılan KKA Kaynaklı Sera Gazı Salımlarının Tahmininde Oluşan Belirsizliklerin Değerlendirilmesi.....	64

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

İSTANBUL'DA KENTSEL KATI ATIK KAYNAKLI SERA GAZI SALIMLARI

3.1. İstanbul'da Kentsel Katı Atığın Depolanmasından Kaynaklanan Metan (CH_4) Salımları	66
3.1.1. Sera Gazı Salımlarının Tahmininde Kullanılan Nüfus	66
3.1.2. Sera Gazı Salım Tahminlerinde Kullanılan Kişi Başı Kentsel Katı Atık Miktarı	67
3.1.3. İstanbul'da Toplam Oluşan ve Depolanan Kentsel Katı Atık Miktarı.....	68
3.2. İstanbul'da Kompostlaştırma Kaynaklı Sera Gazı Salımları.....	72
3.3. İstanbul'da Kentsel Katı Atığın Açıkta Yakılmasından Kaynaklanan CO_2 , CH_4 ve N_2O Salımları	72
3.3.1. İstanbul'da Açıkta Yakılan Kentsel Katı Atık Miktarı	72
3.3.2. İstanbul'da Açıkta Yakılan Kentsel Katı Atığın Kuru Madde İçeriği	73
3.3.3. İstanbul'da Kentsel Katı Atığın Açıkta Yakılmasıyla Oluşan CO_2 Salımları	73
3.3.4. İstanbul'da Kentsel Katı Atığın Açıkta Yakılmasıyla Oluşan CH_4 Salımları	74
3.3.5. İstanbul'da Kentsel Katı Atığın Açıkta Yakılmasıyla Oluşan N_2O Salımları	74
SONUÇ	76
İstanbul'da Kentsel Katı Atık Kaynaklı Sera Gazı Salımları İçin Yapılan Tahminlerin Değerlendirilmesi	76
İstanbul İçin Yürütülen Kka Kaynaklı Sera Gazı Salım Tahminlerinin Ulusal Envanter Sonuçlarıyla Karşılaştırılması	79
Ulusal Envanterde ve Bu Çalışmada Hesaplanan Kentsel Katı Atığın Depolanmasından Kaynaklanan Metan Salımlarının Karşılaştırılması	79
Ulusal Envanterde ve Bu Çalışmada Hesaplanan Kompostlaştırma Kaynaklı Metan ve Nitroz oksit Salımlarının Karşılaştırılması	82

Ulusal Envanterde ve Bu Çalışmada Hesaplanan Kentsel Katı Atığın Açıkta Yakılmasından Kaynaklanan Karbondioksit, Metan ve Nitröz oksit Salımlarının Karşılaştırılması.....	84
Öneriler	86
KAYNAKÇA.....	89



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1: Kentlerde kişi başı KKA üretimi (kg/kişi/gün).....	6
Tablo 1.2: Bazı kentlerin kentsel katı atık kompozisyonları.....	10
Tablo 1.3: Gelir düzeyine göre uygulanan KKA uzaklaştırma pratikleri (%)	14
Tablo 1.4: Bazı kentlerde uygulanan KKA toplama, geri dönüşüm ve uzaklaştırma oranları	15
Tablo 1.5: 1990 – 2016 arasında Türkiye’de KKA oluşumu ve yönetimi.....	16
Tablo 2.1: İstanbul’da 1950 – 2017 yılları arasında yapılan genel ve adrese dayalı nüfus sayım sonuçları	30
Tablo 2.2: 1929 – 2017 İstanbul genel meteorolojik istatistikleri	30
Tablo 2.3: 1981 – 2010 İstanbul mevsim normalleri.....	31
Tablo 2.4: Bahçeköy Meteoroloji İstasyonundaki bazı meteorolojik gözlemler.....	31
Tablo 2.5: Florya Meteoroloji İstasyonundaki bazı meteorolojik gözlemler	31
Tablo 2.6: Göztepe Meteoroloji İstasyonundaki bazı meteorolojik gözlemler	31
Tablo 2.7: Şile Meteoroloji İstasyonundaki bazı meteorolojik gözlemler	31
Tablo 2.8: 1995 – 2016 arasında İstanbul’da yıllık düzenli depolanan KKA miktarı (ton/yıl).....	32
Tablo 2.9: Kompostlaştırma tesisine yıllık giren, geri kazanılan atık ve üretilen kompost miktarları, Gg/yıl	33
Tablo 2.10: Odayeri, Kömürcüoda ve Hasdal tesislerinde yıllık enerji üretimi (MW/yıl)	35
Tablo 2.11: 1950 – 2016 yılları arasında İstanbul Avrupa ve Asya yakası nüfus artış hızları	38
Tablo 2.12: İstanbul’da 1995 – 2016 yılları arasında günlük kişi başı oluşan KKA miktarları (kg/kişi.gün)	46
Tablo 2.13: İstanbul 1953 – 2016 KKA Karakterizasyonu.....	47
Tablo 2.14: Farklı KKA bileşenleri için DOC değerleri.....	48
Tablo 2.15: Katı atık depolama sahaları sınıflandırması ve Metan düzeltme faktörleri (MCF).....	49
Tablo 2.16: İstanbul’da yer alan KKA depolama alanları için seçilen MCF değerleri	50

Tablo 2.17: İstanbul’da KKA depolama alanlarındaki iklim şartları	52
Tablo 2.18 : KKA bileşenleri için iklim koşullarına göre metan oluşum hızı sabitleri	53
Tablo 2.19: İstanbul’da KKA’nın depolanmasından kaynaklanan CH ₄ salımlarının hesaplanmasındaki belirsizlikler.....	54
Tablo 2.20: Farklı KKA Bileşenlerinin Varsayılan Kuru Madde İçerikleri (%).....	59
Tablo 2.21: KKA Bileşenlerinin Toplam Karbon İçeriği (%).....	61
Tablo 2.22: Farklı KKA Bileşenlerinin Fosil karbon fraksiyonu (%)	62
Tablo 3.1: 1990 – 2016 İstanbul’da KKA kaynaklı oluşan toplam sera gazı salımları (ktCO ₂ e/yıl)	65
Tablo 3.2: 1953 – 2016 yılları arasında İstanbul nüfusu.....	67
Tablo 3.3: 1953 – 2016 İstanbul’da kişi başı KKA oluşumu (kg/kişi/gün)	68
Tablo 3.4: 1953 – 2016 arasında Avrupa yakasında oluşan ve depolanan KKA miktarı (Gg/yıl).....	69
Tablo 3.5: 1953 – 2016 arasında Asya yakasında oluşan ve depolanan KKA miktarı (Gg/yıl).....	70
Tablo 3.6: 1953 – 2016 yılları arasında İstanbul’da depolanan KKA kaynaklı CH ₄ salımları (GgCH ₄ /yıl).....	71
Tablo 3.7: 2001 – 2016 yılları arasında istanbul’da kompostlaştırma yönteminin oluşturduğu CH ₄ ve N ₂ O Salımları (GgCH ₄ /yıl, GgN ₂ O/yıl)	72
Tablo 3.8: 1990 – 1994 arasında Avrupa ve Asya yakasında açıkta yakılan KKA miktarı (Gg/yıl).....	73
Tablo 3.9: 1990 – 1994 arasında İstanbul’da açıkta yakılan KKA bileşenleri için hesaplanan kuru madde, toplam karbon içerikleri ve fosil karbon fraksiyonları	73
Tablo 3.10: 1990 – 1994 yılları arasında Avrupa ve Asya yakasında KKA’nın açıkta yakılmasından kaynaklanan CO ₂ salımları (GgCO ₂ /yıl)	74
Tablo 3.11: 1990 – 1994 yılları arasında Avrupa ve Asya yakasında KKA’nın açıkta yakılmasından kaynaklanan CH ₄ salımları (GgCH ₄ /yıl)	74
Tablo 3.12: 1990 – 1994 yılları arasında Avrupa ve Asya yakasında KKA’nın açıkta yakılmasından kaynaklanan N ₂ O Salımları (GgN ₂ O/yıl)	75

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1: a) Bölge başına atık oluşumu, b) Gelir düzeyine göre atık oluşumu	5
Şekil 1.2: Seçilmiş 20 kent için KKA üretimi ve İGE karşılaştırması	7
Şekil 1.3: Küresel KKA Kompozisyonu	7
Şekil 1.4: Bölgelere göre atık kompozisyonu	8
Şekil 1.5: Ülkelerin gelir durumuna göre atık kompozisyonları.....	9
Şekil 1.6: Atık yönetimi hiyerarşisi.....	11
Şekil 1.7: Katı atık yönetimi uygulamaları.....	12
Şekil 1.8: Bölge ve gelir düzeyine göre atık toplama oranları.....	13
Şekil 1.9: Küresel atık işleme ve uzaklaştırma	13
Şekil 1.10: Türkiye’de KKA karakterizasyonu.....	17
Şekil 1.11: 1970 – 2010 arasında gazlara göre toplam yıllık sera gazı emisyonları ..	18
Şekil 1.12: 1971 – 2010 yılları arasında atık kaynaklı sera gazı emisyonları	20
Şekil 1.13: 1971 – 2010 arasında yıllık atık salımlarının gelir düzeyine göre dağılımı	20
Şekil 1.14: 2016 yılı Türkiye sera gazı salımlarının sektörel dağılımı	22
Şekil 1.15: 1990 – 2016 ulusal atık kaynaklı (brüt) salımların sektör içindeki dağılımı	23
Şekil 1.16: Gazlara göre 1990 – 2016 ulusal atık kaynaklı (brüt) salımlar	23
Şekil 1.17: İklim değişikliğinin kentleri tehdit eden etkileri	25
Şekil 2.1: İstanbul kentinin uydudan çekilmiş bir görüntüsü	28
Şekil 2.2: İstanbul’un ilçeleri	29
Şekil 2.3: İstanbul’da 1978-2010 yılları arasında KKA karakterizasyonları d) 1978, e) 1984, f) 1985, g) 1993, h) 1999, i) 2005, j) 2006, k) 2007, l) 2009, m) 2010.....	34
Şekil 2.4: 1985 – 2005 arasında İstanbul’da kişi başı ortalama KKA oluşumu (kg/kişi/gün)	40
Şekil 2.5: 1953 – 2016 arasında İstanbul’da kişi başı ortalama KKA oluşumu (kg/kişi/gün)	40
Şekil 2.6: İstanbul’da depolama sahaları ve meteorolojik veri noktalarının konumu	52

Şekil 4.1: 1990 – 2016 arasında İstanbul’da KKA kaynaklı oluşan toplam sera gazı salımları.....	76
Şekil 4.2 : 1953 – 2016 yılları arasında İstanbul’da kentsel katı atığın depolanmasından kaynaklanan (brüt) CH ₄ salımları	77
Şekil 4.3: 1990 – 2016 KKA’nın depolanmasından kaynaklanan CH ₄ salımları	80
Şekil 4.4: Odayeri düzenli depolama sahasında metan oluşumu	82
Şekil 4.5: 1990 – 2016 kompostlaştırma kaynaklı CH ₄ salımları	83
Şekil 4.6: 1990 – 2016 kompostlaştırma kaynaklı N ₂ O salımları.....	83
Şekil 4.7: 1990 – 1994 KKA’nın açıkta yakılması kaynaklı CO ₂ salımları	84
Şekil 4.8: 1990 – 1994 KKA’nın açıkta yakılması kaynaklı CH ₄ salımları	85
Şekil 4.9: KKA’nın açıkta yakılması kaynaklı N ₂ O salımları	85

KISALTMALAR LİSTESİ

ADNKS	: Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi
AFOLU	: Agriculture, Forestry, Other Land Use / Tarım, Ormancılık ve Diğer Arazi Kullanımı
CF	: Total Carbon content / Toplam Karbon İçeriği
CH₄	: Metan
CO	: Karbonmonoksit
CO₂	: Karbondioksit
C40	: Cities Climate Leadership Group / Kentler İklim Liderlik Grubu
ÇŞB	: Çevre ve Şehircilik Bakanlığı
DİE	: Devlet İstatistik Enstitüsü
DM	: Dry Matter Content / Kuru Madde İçeriği
DOC	: Degradable Organic Carbon / Parçalanabilir Organik Karbon
EF	: Emission Factor / Emisyon Faktörü
EKA	: Endüstriyel Katı Atık
F	: Fraction of CH ₄ in Generated Landfill Gas / oluşan Depo Gazının CH ₄ Fraksiyonu
FCF	: Fossil Carbon Fraction / Fosil Karbon Fraksiyonu
FOD	: First Order Decay / Birinci Dereceden Bozunma
GCIF	: Global City Indicators Facility / Küresel Kent Göstergeleri
GG	: Gigagram
GPC	: Global Protocol for Community-Scale GHG Emission Inventories / Topluluk Ölçekleri Sera Gazı Emisyon Envanterleri Küresel Protokolü
GSYH	: Gayri Safı Yurtiçi Hasıla
ICLEI	: International Council for Local Environmental Initiatives / Yerel Çevresel Girişimler Uluslararası Konseyi
HFC	: Hidroflorokarbon
HGK	: Harita Genel Komutanlığı
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change / Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
IPPU	: Industrial Production & Product Use / Endüstriyel Üretim & Ürün Kullanımı
İBB	: İstanbul Büyükşehir Belediyesi
İGE	: İnsani Gelişim Endeksi
JRC	: Joint Research Centre
K	: Methane Generation Rate Constant / Metan Oluşum Hızı Sabiti
KKA/MSW	: Kentsel Katı Atık / Municipal Solid Waste
KT	: Kiloton
LULUCF	: Land Use, Land Use Change, Forestry / Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık
MAP	: Mean Annual Precipitation / Yıllık Ortalama Yağış
MAT	: Mean Annual Temperature / Yıllık Ortalama Sıcaklık
MCF	: Methane Correction factor / Metan Düzeltme Faktörü
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MT	: Milyon ton
MW	: Mega Watt
NA	: Not Applicable / Uygulanamaz
NF₃	: Azot triflorür

NMVOC	: Non-Methane Volatile Organic Compound / Metan-Dışı Uçucu Organik Bileşik
NO_x	: Azot Oksitler
N₂O	: Nitröz Oksit
OECD	: Organisation for Economic Co-operation and Development / Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
OX	: Oxidation Factor / Oksidasyon Faktörü
PET	: Potential Evapotranspiration / Potansiyel Evapotranspirasyon
PFC	: Perflorokarbon
PBL	: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency
R	: Methane Recovery / Metan Geri Kazanımı
SF₆	: Kükürt hekzaflorür
SWDS	: Solid Waste Disposal Site / Katı Atık Uzaklaştırma Sahası
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UNECE	: United Nations Economic Commission for Europe / Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu
UNEP	: United Nations Environment Programme / Birleşmiş Milletler Çevre Programı
UNFCCC	: United Nations Framework Convention on Climate Change / Birleşmiş milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
UN HABITAT	: United Nations Human Settlements Programme / Birleşmiş Milletler İnsan Yerleşimleri Programı
USEPA	: United States Environmental Protection Agency / Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı
VD	: Ve diğerleri
WRI	: World Resources Institute / Dünya Kaynakları Enstitüsü

GİRİŞ

Oluşumundan ortamdan uzaklaştırılma aşamasına kadar ve sonrasında da insan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etkilere sahip olan kentsel katı atık, atmosfere salınan sera gazlarını artıran bir kaynak olarak insan kaynaklı iklim değişikliğine katkıda bulunmaktadır. Mevcut olarak dünya genelinde 2 milyar tondan fazla kentsel katı atık açığa çıkarken, tahminler bu değerin 2030 yılına gelindiğinde 2,59 milyar tona ve 2050 yılında 3,40 milyar tona ulaşacağını işaret etmektedir (Kaza vd., 2018). Bireysel bir amaç için tam kullanımı sonrasında kullanılamaz bir materyal olarak ifade edilen atığın (Kumar, 2016) bir kategorisi olan kentsel katı atık - atıksu ve tehlikeli atıklar dışında – konut, işletme ve kurumlardan atılan (Vergara ve Tchobanoglous, 2012) ve belediyeler veya diğer yerel yönetimler tarafından toplanan (IPCC, 2006) katı ya da yarı katı malzemeler olarak tanımlanabilmektedir.

Katı atık işleme ve uzaklaştırma salımlarının esas kaynaklarından çöplükler ve depolama alanları (depo gazı toplama sistemi bulundurmayan) toplam küresel sera gazı salımlarının %5'inden sorumludur (Kaza vd., 2018; World Bank 2018a; Hausfather, 2017). Atık sektörü salımlarının en önemlisini oluşturan metanın büyük bir bölümü ise kentsel katı atık kaynaklı oluşmaktadır. Oluşumu ve etkileri açısından sürekli bir artış eğilimi gösteren kentsel katı atık, özellikle - dünya nüfusunun yarısından fazlasına ev sahipliği yapan (UN HABITAT, 2016) - kentlerde, ilgilenilmesi zor fakat zorunlu bir mesele halini almıştır.

Kentsel katı atığa ilişkin bu gerçekler göz önüne alınarak, dünya metropollerinden biri olarak kabul edilen İstanbul'da oluşan kentsel katı atığın meydana getirdiği sera gazı salımları IPCC (2006) metodolojisi aracılığıyla belirlenmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünün ilk kısmında kentsel katı atığın neyi ifade ettiği ve içeriğinden bahsedilerek, küresel ve ulusal çaptaki kentsel katı atık oluşumu, kompozisyonu ve yönetimine dair mevcut durum anlatılmaktadır. İkinci kısımda ise iklim değişikliğine kısaca değinilmekte ve kentsel katı atığın iklim değişikliği ile ilişkisi incelenmektedir.

İkinci bölümde, çalışma alanı hakkında genel bilgiler, İstanbul’da kentsel katı atığın durumu sunulmakta ve kentsel katı atık kaynaklı sera gazı salım tahminlerinde kullanılan yöntemler anlatılmaktadır.

Üçüncü bölümde yürütülen tahminlerin sonuçları verilmekte ve son bölümde bu sonuçlar ulusal envanter çıktılarıyla birlikte değerlendirilip, bu değerlendirmeler ışığında çeşitli önerilerde bulunmaktadır.



BİRİNCİ BÖLÜM

KENTSEL KATI ATIK VE İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

1.1. Kentsel Katı Atık

1.1.1. Tanımı

Yaygın biçimde bir kavram olarak anlaşılan *atık* – çöp, süprüntü, döküntü – kimin tanımladığına bağlı olarak değişmesiyle belli bir tanımlamadan sıyrılmaktadır (Vergara ve Tchobanoglous, 2012). Mühendisler kentsel katı atığı konut ve ticari kaynaklardan atıklar (Williams, 2005’e atfen Vergara ve Tchobanoglous, 2012), (Tchobanoglous ve Kreith 2002’ye atfen Vergara ve Tchobanoglous, 2012) ya da sahibince değeri kalmayan (McDougall vd., 2001’e atfen Vergara ve Tchobanoglous, 2012) malzemeler olarak tanımlar. Antropologlar “İnsanların sahip oldukları – ve attıkları – şeylerin, insanların sürdürdükleri hayatları hakkında, kendilerinden daha anlamlı, bilgilendirici ve dürüstçe konuşabildiklerini” söyleyerek çöpü bir kültürün gerçekçi kanıtı saymaktadırlar (Rathje, 1992’ye atfen Vergara ve Tchobanoglous, 2012). Ekolojistler doğada atık olmadığını iddia ederken (McDonough, 2002’ye atfen Vergara ve Tchobanoglous, 2012), endüstriyel ekolojistler ise atığı “yanlış yerde bulunan doğru şey” olarak görür (Desrochers, 2002’ye atfen Vergara ve Tchobanoglous, 2012).

Bunlar dışında başka bir görüşe göre, atığın nasıl işlendiği onun tanımını yansıtmaktadır; çöpleri bir depolama alanına taşıyan işçiler için taşıdıkları malzeme değersizken, çöpün içinde yer alan çeşitli maddeleri geri kazanan atık toplayıcılar için topladıkları cevher niteliğindedir (Assaad, 1996’ya atfen Vergara ve Tchobanoglous, 2012).

Bireysel bir amaç için tam kullanımı sonrasında kullanılamaz olarak adlandırılmış herhangi bir materyal olarak ifade edilen atık, kentsel katı atık, kimyasal atık, tıbbi atık, atıksu, çamur, endüstriyel atık, zehirli atık ve bunun gibi birçok değişik formda bulunabilmektedir (Kumar, 2016). Kentsel katı atık (KKA) ise - atıksu ve tehlikeli atıklar dışında - konut ve işletmelerden atılan (Vergara ve

Tchobanoglous, 2012) ve belediyeler veya diğer yerel yönetimler tarafından toplanan (IPCC, 2006) katı ya da yarı katı malzemeler olarak tanımlanabilmektedir.

1.1.2. Bileşenleri

IPCC ulusal sera gazı envanteri kılavuzuna (2006) göre kentsel katı atık;

- Evsel atıklar,
- Park ve bahçe atıkları,
- Ticari/kurumsal atıklar

olmak üzere 3 ana atık kategorisini içermektedir. Kentsel katı atık, bu 3 kategori altında da farklı bileşenlere ayrılmaktadır. Çalışmada rehber olarak kullanılan IPCC kılavuzunda (2006) belirtilmiş olan kentsel katı atık kompozisyonu aşağıda sıralanan atık türlerinden meydana gelmektedir.

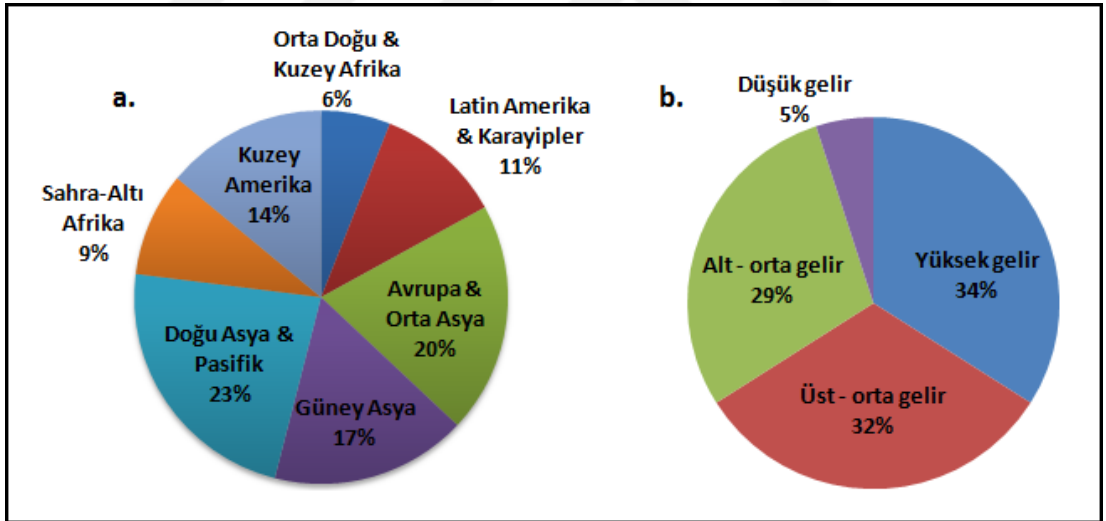
1. Gıda
2. Park ve bahçe
3. Kâğıt ve karton
4. Odun
5. Tekstil
6. Kullan-at bezler (Örneğin çocuk bezi)
7. Kauçuk ve deri
8. Metal
9. Plastik
10. Cam (Örneğin seramik ve porselen)
11. Diğer (Örneğin kül, kir, toz, toprak, elektronik atık)

1.1.3. Kentsel Katı Atık Oluşumunda Mevcut Durum

Kentsel katı atıklar insan toplumunun en görünür ve zahmetli kalıntılarıdır (Fischedick vd., 2014). Mevcut zaman diliminde küresel olarak 2 milyar ton

seviyelerinde olan ve 2050 yılına gelindiğinde 3,4 milyar tona ulaşması beklenen kentsel katı atık oluşumu (Kaza vd., 2018) nüfus artışı, ekonomik durum, kentleşme, sanayileşme, kültür, yaşam tarzı, coğrafik örüntü, ticari faaliyet seviyesi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Kumar, 2016). Refahın bir fonksiyonu olarak değiştiği belirtilen atık oluşumu gelir düzeyi ve kentleşme ile yakından ilişkili olup gelir ve yaşam standardı yükseldikçe mal ve hizmetlerin tüketiminde olduğu gibi oluşan atık miktarı da artmaktadır (Hoornweg ve Bhada-Tata, 2012). Tüm bu etkenlere bağlı olarak kentsel katı atık oluşumu coğrafi bölgeler arasında, ülkeden ülkeye, kentten kente hatta kent sınırları içerisinde dahi farklılık gösterebilmektedir. Mutlak verilere göre (Şekil 1.1) 2016 yılında Doğu Asya ve Pasifik 468 m,lyon ton (%23) ile küresel atığın en fazla oluştuğu bölge olurken, en az oluşum 129 milyon ton (%6) Ortadoğu ve Kuzey Afrika bölgesinde meydana gelmiştir (Kaza vd., 2018).

Şekil 1.1: a) Bölge başına atık oluşumu, b) Gelir düzeyine göre atık oluşumu



Kaynak: Kaza vd., 2018.

Yüksek gelirli ülkeler, dünya nüfusunun %16'sını oluşturmalarına rağmen, küresel atık oluşumunun %34'ünden (683 milyon ton) sorumlu iken, küresel nüfusun %56'sına tekabül eden düşük gelirli ülkelerde açığa çıkan atık miktarı küresel toplamın yalnızca %5'i (93 milyon ton) kadardır (Şekil 1.1) (Kaza vd., 2018). Bununla birlikte yüksek, üst-orta, alt-orta ve düşük gelir sınıflandırması bir ölçüde yanlış olduğunu belirtmek gereklidir çünkü birçok ülkede ortalama ulusal refah, kentsel nüfusun

ortalama refahından çok farklı olabilmektedir bu nedenle KKA oranları öngörülürken sadece şehir sakinlerinin refahı önem teşkil etmektedir (Hoornweg ve Bhada-Tata, 2012).

Kentlerde yaşayanların kişi başı KKA üretimi (Tablo 1.1) incelendiğinde, ekonomik seviyenin, kentleşme ve sanayileşmenin etkisi ön plana çıkmaktadır. Vergara ve Tchobanoglous'un (2012) çalışmasında yer alan grafikte (Şekil 1.2) seçilmiş 20 kentin kişi başı KKA üretim miktarları (UN HABITAT, 2010), 2007 yılına ait İnsani Gelişim Endeksi'nde bu şehirlerin yer aldığı ülkelerin puanları ile ilişkilendirilmiştir.

Tablo 1.1: Kentlerde kişi başı KKA üretimi (kg/kişi/gün)

Kent, Ülke	Yıl	KKA Üretimi (kg/kişi/gün)	Kent, Ülke	Yıl	KKA Üretimi (kg/kişi/gün)
Afrika			Ortadoğu ve Kuzey Afrika		
Rabat, Fas	1993	0,60	Kahire, Mısır	2007	1,77
Lagos, Nijerya	1993	0,30	Tahran, İran	2005	0,88
Dakaar, Senegal	1993	0,70	Bağdat, Irak	2005	1,71
Tunus, Tunus	1993	0,50	Güney Asya		
Kigali, Rwanda	1993	0,60	Katmandu, Nepal	2003	0,31
Doğu Avrupa ve Orta Asya			Moratuwa, Sri Lanka	2007	0,67
Tiran, Arnavutluk	2007	1,01	Doğu Asya ve Pasifik		
Minsk, B. Rusya	2007	1,21	Pekin, Çin	2000	0,90
Zagreb, Hırvatistan	2006	1,24	Hong Kong, Çin	2007	2,47
Tiflis, Gürcistan	2007	0,82	Jakarta, Endonezya	2005	0,88
Batum, Gürcistan	2007	2,0	Manila, Filipinler	2007	3,00
Latin Amerika ve Karayipler					
Buenos Aires, Arjantin	2001	1,16	Bogotá, Kolombiya	2001	0,72
La Paz, Bolivya	2001	0,53	San José, Kosta Rika	2001	1,02
Rio de Janerio, Brezilya	2001	1,20	Meksiko, Meksika	2001	1,38
Santiago, Şili	2001	1,63	Riverton, Jamaika	2001	1,0

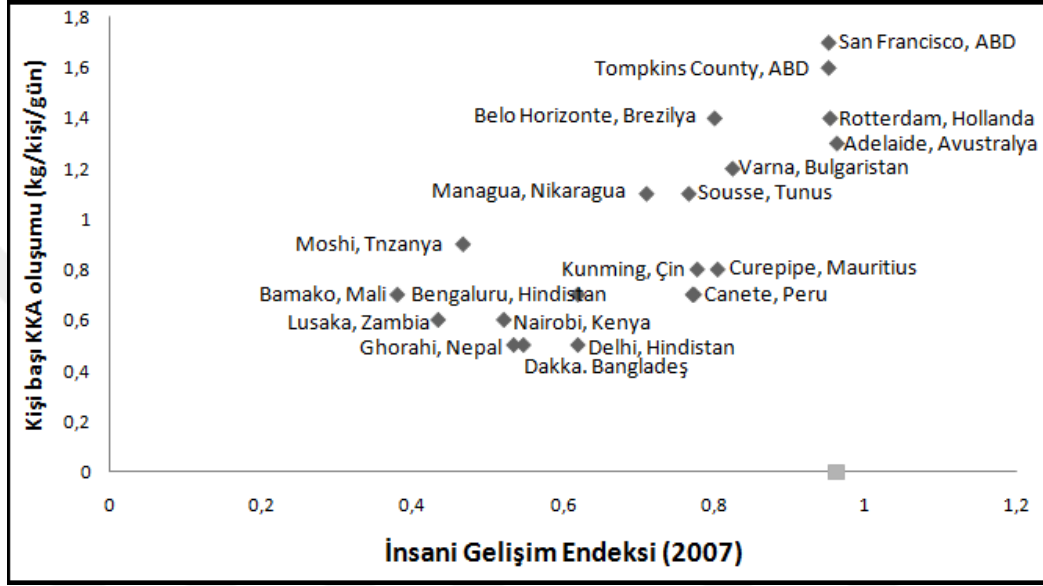
Kaynak: Hoornweg ve Bhada-Tata, 2012.

Elde edilen grafik de KKA üretimi ile yaşanan konumun (kent, ülke) gelişmişlik düzeyi arasında önemli bir bağ olduğunu ortaya koymaktadır.

Kentsel katı atık oluşumu ile benzer biçimde, atığın kompozisyonu ekonomik gelişme, kültür, iklim gibi faktörlerin etkisiyle bölgeler, ülkeler ve kentler arasında farklılık göstermektedir (Hoornweg ve Bhada-Tata, 2012). Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında KKA karakterizasyonunda var olan önemli farklardan biri atığın içerdiği organik madde oranıdır (Chettiparamb, 2012) (Şekil 1.3). Düşük

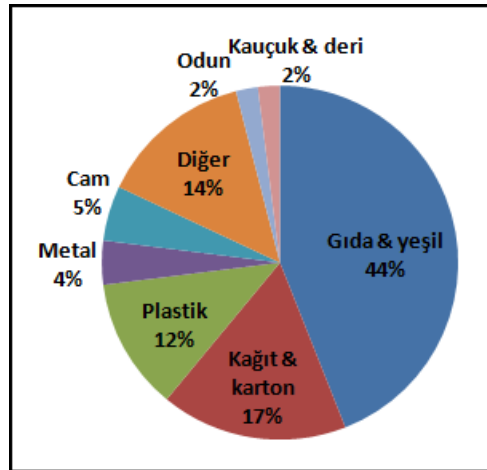
gelirli ülkelerde organik atık daha yüksekken, yüksek gelirli ülkelerde kâğıt, plastik, cam gibi inorganik içeriğin daha yüksek oranda bulunması söz konusudur (Hoornweg ve Bhada-Tata, 2012).

Şekil 1.2: Seçilmiş 20 kent için KKA üretimi ve İGE karşılaştırması



Kaynak: Vergara ve Tchobanoglous, 2012.

Şekil 1.3: Küresel KKA Kompozisyonu

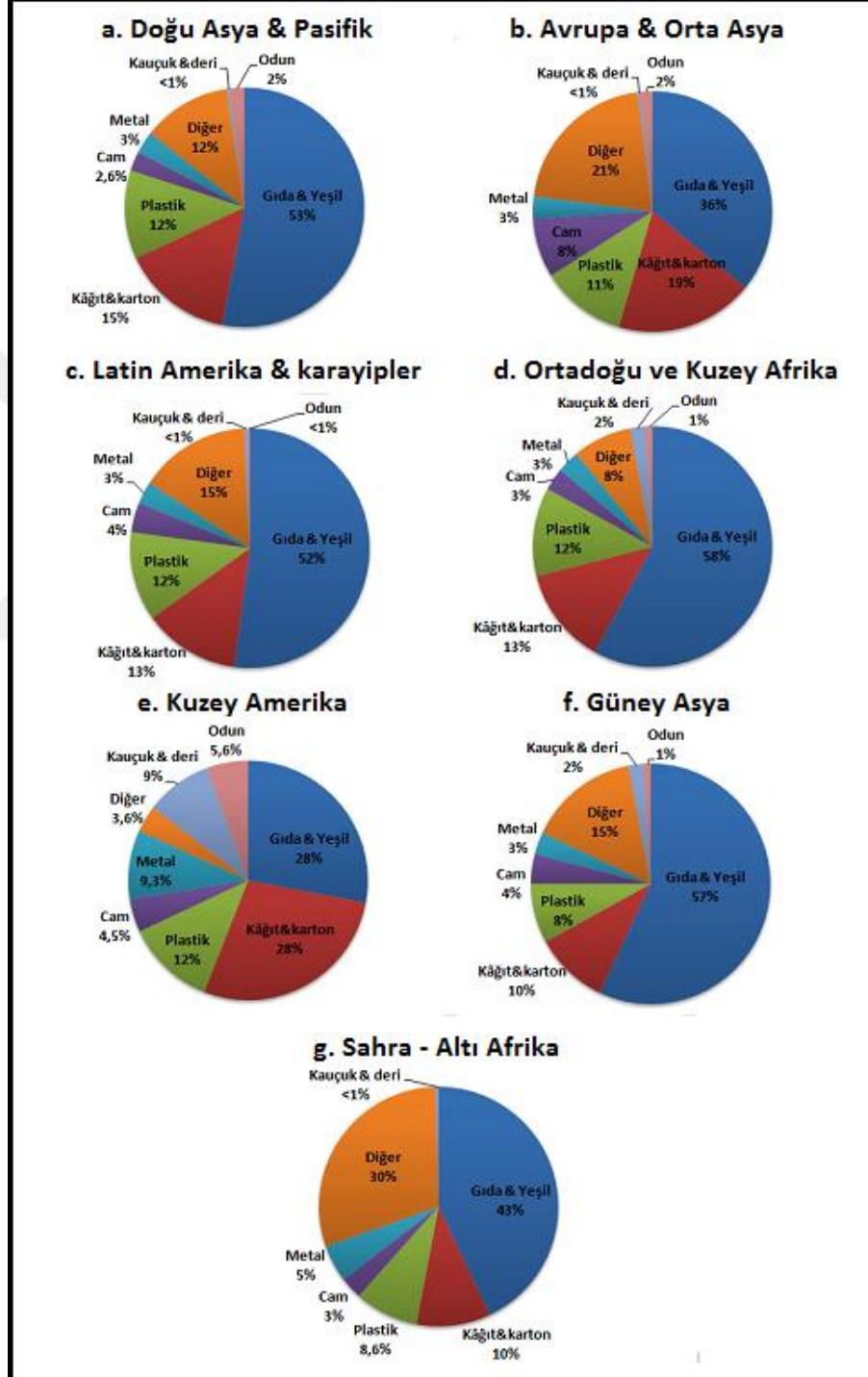


Kaynak: Kaza vd., 2018.

Bölgelere göre KKA kompozisyonunda (Şekil 1.4), en düşük (%28) organik atık içeriğine sahip Kuzey Amerika ülkelerine kıyasla, Ortadoğu ve Kuzey Afrika ülkeleri en yüksek (%58) organik atık oranına sahipken; kâğıt, cam ve metal içeriği

bakımından Kuzey Amerika ve Avrupa ve Orta Asya ülkeleri yüksek, Güney Asya ve Sahra - Altı ülkeleri düşük oranlara sahiptir (Kaza vd., 2018).

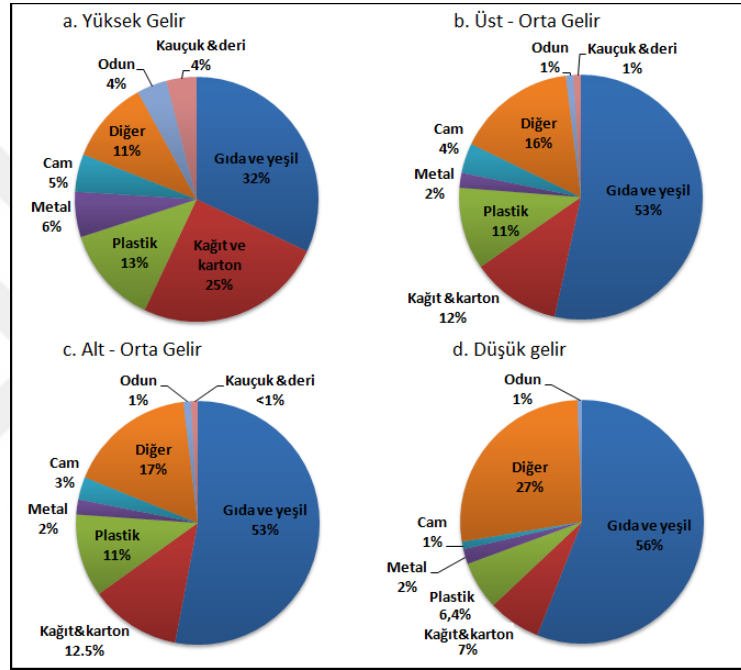
Şekil 1.4: Bölgelere göre atık kompozisyonu



Kaynak: Kaza vd., 2018.

Atığın organik içeriği gelir seviyesi arttıkça azalma eğilimindedir (Şekil 1.5). Yüksek gelirli ülkelerde tüketilen mallar ise düşük gelirli ülkelerde olduğundan daha fazla kâğıt, plastik gibi malzemeler içermekte ve atığın tanecikli olma özelliği (kauçuk, odun gibi bileşenleri içermesi) de gelir düzeyine göre artmaktadır (Kaza vd., 2018).

Şekil 1.5: Ülkelerin gelir durumuna göre atık kompozisyonları



Kaynak: Kaza vd., 2018.

Düşük gelirli Güney Asya ülkesi olan Bangladeş'in Dakka kentinde KKA'nın organik içeriği (%74), yüksek gelirli OECD ülkelerinden Hollanda'nın Rotterdam şehrindeki organik içeriğinden çok daha yüksekken; kâğıt, cam, metal içeriği bakımından durumun tersine döndüğü görülebilmektedir (Tablo 1.2).

Atık kompozisyonu sadece kentler arasında değişmekle kalmamakla beraber, bir şehir içinde zamansal olarak da değişmektedir; Kısa bir zaman diliminde atık karakteristikleri mevsimsel olarak değişme eğilimi gösterirken, daha uzun bir periyotta vatandaşların çıkardıkları atık teknolojik ve kültürel eğilimleri yansıtmaktadır (Vergara ve Tchobanoglous, 2012).

Tablo 1.2: Bazı kentlerin kentsel katı atık kompozisyonları

Kent	Yıl	Organik	Kâğıt	Plastik	Cam	Metal	Diğer
Kahire, Mısır ^a	2002	67	18	3	3	2	7
Amman, Ürdün ^a	2002	55	14	13	3	2	13
Riyad, S. Arabistan ^a	2002	34	31	2	3	16	14
Halep, Suriye ^a	2002	59	13	12	8	2	8
Tunus, Tunus ^a	2002	68	10	11	3	1	6
Wales, İngiltere ^{b1}	2003	33,7	22,7	10	6,6	4,3	22,7
Berlin, Almanya ^{b2}	2003	15	20	23	7	2	33
Varşova, Polonya ^{b3}	2003	32,2	18,4	16,5	11,3	3	18,6
Sicilya, İtalya ^{b4}	2004	27,5	33,5	17	4,5	3	14,5
Adelaide, Avustralya ^c	2010	26	7	5	5	5	52
Quezon, Filipinler ^c	2010	50	13	16	4	4	12
Rotterdam, Hollanda ^c	2010	26	27	17	8	3	19
Varna, Bulgaristan ^c	2010	24	13	15	15	10	24
Dakka, Bangladeş ^c	2010	74	9	4	-	-	13
Delhi, Hindistan ^c	2010	81	7	10	1	0	0
Kunming, Çin ^c	2010	58	4	7	2	1	26
Tompkins County, ABD ^c	2010	29	36	11	6	8	11
Nairobi, Kenya ^c	2010	65	6	12	2	1	15
Canete, Peru ^c	2010	70	6	9	2	2	11
Curepipe, Mauritius ^c	2010	48	23	16	2	4	7
Lusaka, Zambiya ^c	2010	39	3	7	2	1	48
Bamako, Mali ^c	2010	21	4	2	1	4	52

^a Hoornweg ve Bhada-Tata, 2012. ^{b1} Burnley vd., 2007'ye atfen Karak vd., 2012. ^{b2} Zhang vd., 2010a'ya atfen Karak vd., 2012 ^{b3} Den Boer vd., 2010'a atfen Karak vd., 2012. ^{b4} Messineo ve Panno, 2008'e atfen Karak vd., 2012. ^c UN HABITAT, 2010.

1.1.4. Küresel Kentsel Katı Atık Yönetiminde Mevcut Durum

Tarihsel olarak, çevre medeniyetin başlangıcından beri insan faaliyetlerinin yarattığı tüm atıklar için bir yutak işlevi görmüş, günümüzün teknolojik toplumu kentleşme ve uygarlığın gelişimi yolunda, bilerek veya bilmeden doğal çevreyi değiştirmeye önemli ölçüde katkıda bulunmuştur (Kumar, 2016). Günümüz zamanlarına kıyasla sanayi öncesi dönemlerde maddi mülkiyet ve insan yapımı ürünlerin sınırlılığı, bunların daha değerlendirilmesi ve onarılıp yeniden kullanılabilen her şeyin tamir edilip tekrar kullanılması sonucunu doğurmuştur, ayrıca geçmişte nüfusun, buna bağlı olarak atık oluşumunun daha az oluşu, atığı uzaklaştırmak için daha fazla alanın mevcut olması atığı yönetilebilir ve daha az kirletici kılmıştır (Chettiparamb, 2012). Bugün ise tüm dünyada yaşanan nüfus patlaması; hızlı, aşırı sanayileşme ve kentleşme; tüketim alışkanlıklarındaki değişiklik atığın insan ve

çevre üzerindeki baskısını endişe verici boyutta artırarak, atık yönetimini zorunlu ve zorlu bir noktaya taşımıştır.

Atık yönetimi genel olarak kabul edilen bir hiyerarşi izlemektedir; başlangıçta “3R” – azaltım, yeniden kullanım, geri dönüşüm - olarak tanımlanan, şimdi ise dördüncü bir R’nin – geri kazanım - sık dahil edildiği atık yönetimi hiyerarşisi (Şekil 1.6) finansal, çevresel, sosyal ve yönetsel faktörlere karşılık veren bir yapı olup, aynı zamanda atık sektöründen kaynaklanan sera gazı salımlarının azaltılmasını teşvik etmektedir (Hoornweg ve Bhada-Tata, 2012).

Şekil 1.6: Atık yönetimi hiyerarşisi



Kaynak: Hoornweg ve Bhada-Tata, 2012.

* Asgari olarak atıklar; saha seçimi, kontrollü erişim ve pratikte atıkların sıkıştırılması şartlarını içeren bir ‘kontrollü çöplük’te depolanmalıdır. Atık yakımı ise taban külü, yanmayan ve yakılmayan atıkların depolanacağı bir düzenli depolama sahasını gerektirmektedir.

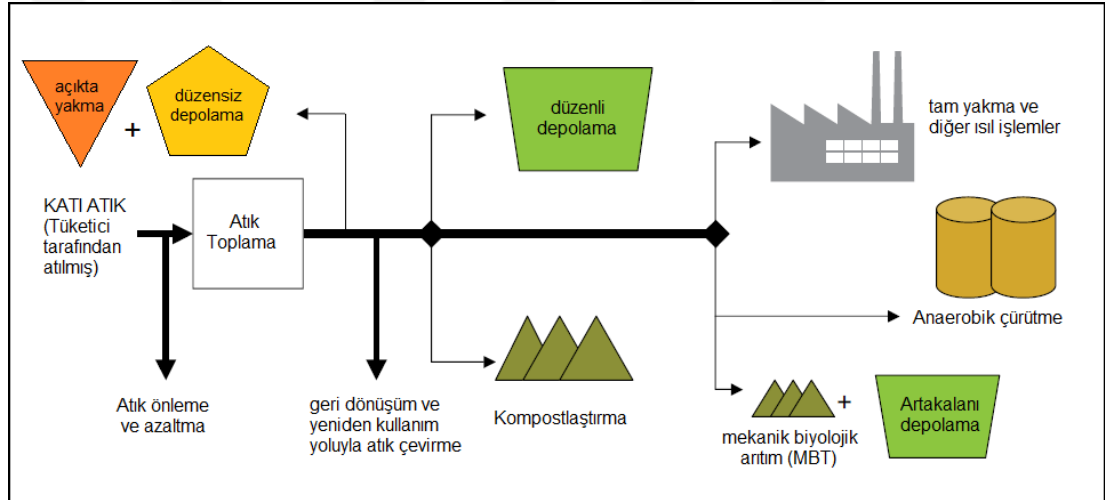
Temel olarak kentsel katı atık yönetimi, vatandaşlara atıklarını çevreye uyumlu ve ekonomik olarak makul bir şekilde uzaklaştırma sistemi sağlayan bir kamu hizmeti olarak kabul edilmektedir (Beigl vd., 2008).

KKA yönetimi atığın üretildiği noktadan başlayıp, atığın nihai olarak uzaklaştırıldığı noktaya kadar devam eden süreçtir (Kumar, 2016) ve toplama, ulaştırma, geri kazanım, geri dönüşüm, işleme, depolama adımlarını içermektedir. Kentsel katı atık oluşumu ve kompozisyonu için gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında var olan farklılık KKA yönetimi açısından da geçerli olmaktadır.

Bu farklılığı yaratan en önemli faktörlerden bir tanesi yine ülkenin (ya da kentin) ekonomik durumudur.

Tüketicie sağlanan atık yönetimi (Şekil 1.7) hizmetinin ilk aşaması olarak gösterilebilecek atık toplama, üretim noktasından (konut, endüstriyel ticari, kurumsal) işleme veya uzaklaştırma noktasına kadar katı atıkların toplandığı adımdır (Hoornweg ve Bhada-Tata 2012). Toplanan KKA miktarı bölge ve gelir düzeyine göre değişirken, şehirler içindeki atık toplama oranları da büyük ölçüde farklılık gösterebilmektedir (Hoornweg ve Bhada-Tata, 2012).

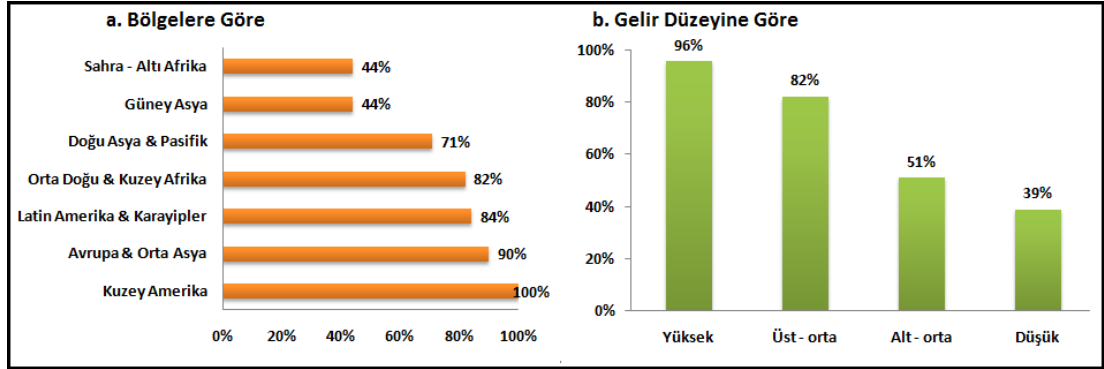
Şekil 1.7: Katı atık yönetimi uygulamaları



(Bogner vd.'nin (2007) çalışmasından uyarlanmıştır).

Ortalama atık toplama oranı ve gelir düzeyi arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır (Hoornweg ve Bhada-Tata, 2012). Düşük gelirli bölge ülkeleri düşük toplama oranlarına (Güney Asya - %44 ve Sahra – Altı Afrika – %44) sahip olma eğiliminde iken, Kuzey Amerika (%100) ve Avrupa ve Orta Asya ülkelerinin (%90) yüksek toplama verimlerine ulaştığı görülmektedir (Şekil 1.8) (Kaza vd., 2018).

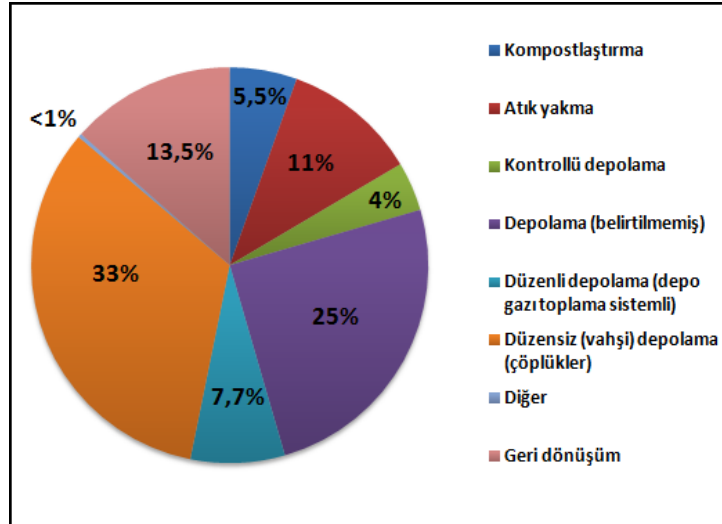
Şekil 1.8: Bölge ve gelir düzeyine göre atık toplama oranları



Kaynak: Kaza vd., 2018.

Dünya genelinde atıkların %40'ı depolama sahalarında toplanırken, %19'u kompostlaştırma ve geri dönüşüm yoluyla geri kazanılmakta, %11'i ise modern yakma teknikleri kullanılarak ortamdaki uzaklaştırılmaktadır (Şekil 1.9). Küresel ölçekte atıkların %33'ü hala açıkta depolansa da hükümetler bu çöplüklerin risklerini ve maliyetlerinin gittikçe daha çok kabul etmekte ve sürdürülebilir atık uzaklaştırma yöntemlerini takip etmektedir (Kaza vd., 2018).

Şekil 1.9: Küresel atık işleme ve uzaklaştırma



Kaynak: Kaza vd., 2018.

Atık uzaklaştırma pratikleri gelir düzeyine ve bölgeye göre önemli ölçüde değişmektedir. Düzenli depolama alanlarının henüz mevcut olmadığı düşük gelirli ülkelerde atık yaygın olarak açıktaki çöplüklerde toplanmaktadır. Düşük gelirli

ülkelerde atığın yaklaşık %93'ü açık arazilere, yollara, su kanallarına boşaltılır veya yakılırken, yüksek gelirli ülkelerde atığın sadece %2'si açıkta depolanmaktadır (Tablo 1.3). Ülkeler ekonomik olarak geliştikçe, atık daha sürdürülebilir yöntemler kullanılarak yönetilmektedir. Ayrıca zengin ülkeler geri dönüşüm ve kompostlama yoluyla malzeme geri kazanımına daha fazla odaklanma eğilimindedirler (Kaza vd., 2018).

Tablo 1.3: Gelir düzeyine göre uygulanan KKA uzaklaştırma pratikleri (%)

Yöntem (%)	Gelir Düzeyi			
	Yüksek	Üst - Orta	Alt - Orta	Düşük
Vahşi depolama	2%	30%	66%	93%
Düzenli depolama	39%	54%	18%	3%
Kompostlaştırma	6%	2%	10%	0,3
Anaerobik çürütme	-	-	-	-
Geri dönüşüm	29%	4%	6%	3,7%
Çöp yakma	22%	10%	-	-
Diğer	2%	-	-	-

Kaynak: Kaza vd., 2018.

Geçmişte, atık yönetim sisteminin ekonomik maliyeti, karar verme sürecindeki en önemli kısıtlayıcı adımdır (Yıldız vd., 2013), bugün halk sağlığı, çevrenin korunması, kaynak geri kazanımı, iklim değişikliği, estetik konuları atık yönetimi planlarının geliştirilmesini yönlendiren esas zorunluluklar olarak kabul edilmektedir (Vergara ve Tchobanoglous, 2012). Tüm dünyada miktarı artan ve içeriği gittikçe karmaşıklaşan kentsel katı atığın, dünya nüfusunun yarısından fazlasına (%54) (UN, 2016) ev sahipliği yapan ve küresel gelirin %70'inden fazlasının üretildiği (GCIFI, 2013) şehirlerde başa çıkılması gereken önemli meselelerden biri olduğu açıktır.

Bir kentteki atık toplama verimi bölgenin bulunduğu ülkenin ekonomik seviyesi (Adelaide - %100, Rotterdam - %100), yetkililerin kentin imajıyla ilgili endişeleri (Kumming - %100), yönetim seviyesi (Quezon - %100), bölge nüfusu (Dakka - %55) ve gelişmişliği (Ghorai - %100) gibi hususlar tarafından yönlendirilmektedir (Tablo 1.4) (UN HABITAT, 2010). Atığın hangi koşullarda uzaklaştırıldığı (düzenli/düzensiz depolama, yakma vb.), geri dönüşüm oranı gibi faktörler de kentin atık yönetiminden sorumlu yerel otoritelerin yönetim, denetim,

mali durumlarına bağılı olarak değışmektedir. Bununla beraber oluşan atığın içeriği (organik, geri dnştrlebilir, yakılabilir bileşenler) o atığın ne şekilde yönetileceğini belirleyen önemli bir noktadır.

Tablo 1.4: Bazı kentlerde uygulanan KKA toplama, geri dönüşüm ve uzaklaştırma oranları

Kent, lke	Ortalama Atık Toplama (%)	Geri dönüşüm (Tüm sektör ve Faaliyetler) (% oluşan KKA)	Kontrollü Uzaklaştırma (Depolama ve yakma) (% oluşan KKA)
Adelaide, Avustralya	100	54	46
Curepipe, Mauritius	100	NA	100
Kumming, Çin	100	NA	88
Rotterdam, Hollanda	100	30	70
San Francisco, ABD	100	72	28
Tompkins County, ABD	100	61	39
Varna, Bulgaristan	100	27	54
Quezon, Filipinler	99	39	61
Sousse, Tunus	99	6	94
Belo Horizonte, Brezilya	95	1	88
Delhi, Hindistan	90	33	71
Managua, Nikaragua	82	19	90
Canete, Peru	73	12	0
Bengaluru, Hindistan	70	25	65
Nairobi, Kenya	65	24	3
Moshi, Tanzania	61	18	0
Bamako, Mali	57	85	0
Ghorahi, Nepal	46	11	67
Dakka, Bangladeş	55	18	44
Lusaka, Zambiya	45	6	26

Kaynak: UN HABITAT, 2010.

1.1.5. Türkiye’de Kentsel Katı Atık

Türkiye’nin 2018’in Nisan ayında UNFCCC Sekretaryası’na sunduğu ulusal sera gazı envanterinde KKA ile ilgili sunulan veriler (Tablo 1.5) incelendiğinde 1990 – 2016 döneminde kişilerin ürettiği KKA miktarı dönem boyunca günlük 1 kg seviyesinin üzerinde olduğu görülmektedir (TK, 2018). Bununla birlikte ülkede

aynı dönemde nüfus sürekli bir artış eğilimi gösterse de, kişi başı KKA üretimi için aynı durum söz konusu olmamıştır.

Tablo 1.5: 1990 – 2016 arasında Türkiye’de KKA oluşumu ve yönetimi

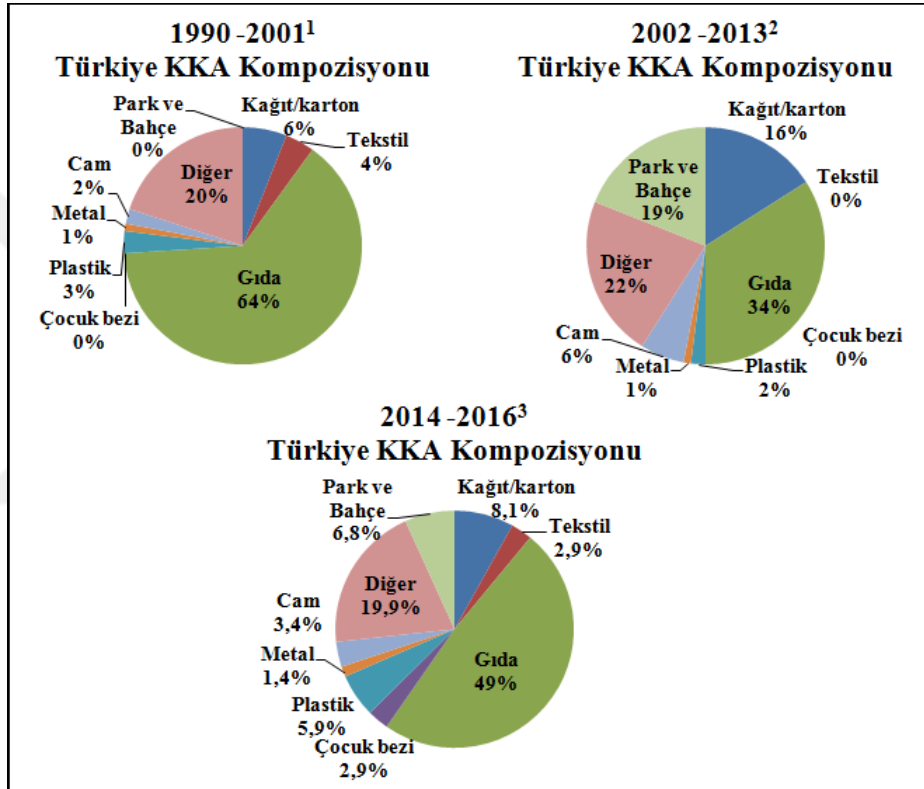
Yıl	Nüfus (milyon)	Kişi Başı KKA (kg/kişi/gün)	Toplam Oluşan KKA (Gg/yıl)	Toplanan KKA (%)	Düzensiz Depolama (%)	Düzenli Depolama (%)	Kompost (%)	Açıkta Yakma (%)
1990	55,1	1,09	21966,7	70,6	70,6	0	0,5	1,89
1991	56,1	1,09	22339,3	70,6	70,6	0	0,5	1,89
1992	57,0	1,09	22710,3	70,6	66,3	4,3	0,5	1,89
1993	57,9	1,09	23079,8	70,6	67,0	3,6	0,5	1,89
1994	58,8	1,09	23448,0	70,6	67,1	3,5	0,5	1,89
1995	59,8	1,25	27234,1	73,3	68,0	5,3	0,3	1,49
1996	60,7	1,33	29348,0	73,2	63,5	9,7	0,4	1,49
1997	61,6	1,42	31943,8	71,9	58,2	13,7	0,3	1,96
1998	62,5	1,45	32972,9	72,8	56,9	15,9	0,3	1,17
1999	63,4	1,32	30470,0	76,3	55,7	20,6	0,4	1,15
2000	64,3	1,31	30617,0	78,0	54,2	23,8	0,5	1,13
2001	65,2	1,30	31030,9	78,9	52,2	26,7	0,4	1,11
2002	66,0	1,29	30999,3	79,3	56,5	22,8	0,7	0,71
2003	66,8	1,27	31081,4	81,4	57,5	23,9	0,6	0,83
2004	67,6	1,21	29736,2	82,1	58,5	23,6	0,7	0,34
2005	68,4	1,26	31351,9	82,8	60,2	22,6	0,5	0,58
2006	69,3	1,19	30081,8	82,1	50,7	31,4	0,3	0,82
2007	70,2	1,19	30365,6	83,9	50,3	33,6	0,6	0,83
2008	71,1	1,10	28454,0	83,6	45,1	38,5	0,5	0,84
2009	72,0	1,15	30196,0	85,1	44,3	40,8	0,6	0,65
2010	73,1	1,11	29733,0	83,8	37,5	46,3	0,5	0,45
2011	74,2	1,14	30862,0	85,3	38,0	47,3	0,6	0,4
2012	75,2	1,12	30786,0	83,0	32,7	50,3	0,3	0,34
2013	76,1	1,11	30920,0	81,7	27,9	53,8	0,3	0,18
2014	77,2	1,11	31230,0	89,2	32,2	57,0	0,3	0,01
2015	78,2	1,10	31283,0	87,6	28,3	59,3	0,3	0,02
2016	79,3	1,17	33763,5	84,4	27,1	57,3	0,3	0,03

Kaynak: TÜİK, 2018.

Ulusal sera gazı envanterinde, 1990 öncesinde kişi başı KKA üretimine dair herhangi bir veri sunulmazken, 1950 – 1994 dönemi için bu değer sabit tutularak 1,09 kg/kişi/gün olarak belirtilmiştir.

Ülkede oluşan KKA'nın kompozisyonu 10 yıllık periyotlar halinde değişim göstermektedir. İlk periyot olarak 1990 – 2001 arasında gıda atığı %64'lük oldukça yüksek bir oranla içeriğin çoğunu oluştururken, 2002 – 2013 arasında atığın gıda içeriği yarı yarıya azalıp %34 seviyesine inmiştir. Kağıt/karton ve cam içeriği ise ilk dönemden 2. döneme artış göstermiştir (Şekil 1.10).

Şekil 1.10: Türkiye’de KKA karakterizasyonu



^{1, 2, 3} TÜİK, 2018.

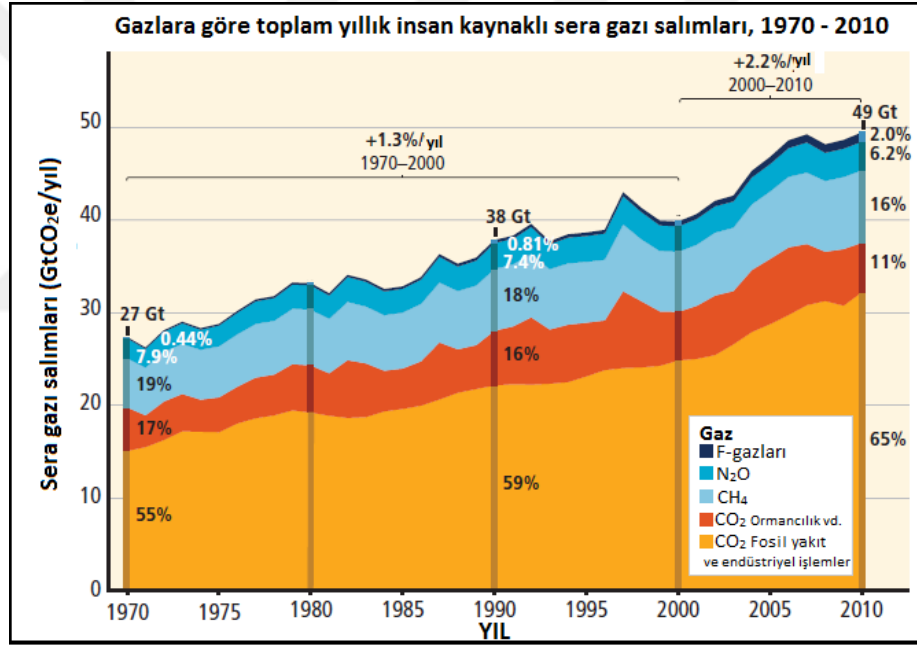
1.2. İklim Değişikliği

1970 ve 2010 arasında %80'lik bir artışla 27'den 49 GtCO₂ eşdeğeri seviyesine yükselen (Blanco vd., 2014) küresel sera gazı salımları, 2016 yılında arazi kullanımı, arazi kullanımı değişikliği ve ormancılık (LULUCF) salımları dâhil olmak üzere yaklaşık 51,9 GtCO₂e / yıl olarak hesaplanmıştır (Olivier vd., 2017). Toplam sera gazı salımlarının 1970'lerde 8 GtCO₂e, 1980'lerde 6 GtCO₂e ve 1990'larda 2 GtCO₂e seviyelerinde lineer artış eğilimleri gösterdiği tahmin edilmektedir, 2000'lerde ise 10 GtCO₂e ile salım artışı ivme kazanmıştır ve yıllık ortalama sera

gazı salımı artışı bu on yıllık dönemler için %2, %1,4, %0,6 ve %2,2 olarak belirlenmiştir (Blanco vd., 2014).

2010'da toplam sera gazı salımının %76'sını karbondioksit (Ormancılık, arazi kullanımı, fosil yakıt ve endüstriyel işlemler kaynaklı), %16'sını metan, %6,2'sini nitroz oksit ve %2'sini Florlu gazlar oluşturmaktadır (Şekil 1.11) (IPCC, 2014). 1750'den bu yana konsantrasyonları büyük artışlar gösteren CO₂, CH₄ ve N₂O (sırasıyla %40, %150 ve %20), ve diğer sera gazı emisyonları iklim sisteminin enerji alımına, böylece dünyanın enerji bütçesinin değişimine yol açmaktadır (IPCC, 2014).

Şekil 1.11: 1970 – 2010 arasında gazlara göre toplam yıllık sera gazı emisyonları



Kaynak: IPCC, 2014.

En az 800.000 yıldır hiç görülmemiş düzeylerde olan atmosferik sera gazı salımlarının artmaya devam etmesi insanlar ve ekosistemlere yönelik her yere nüfuz eden şiddetli, geri döndürülemez etkilerin olabilirliğini artırarak, iklim sisteminin tüm bileşenlerinde daha fazla ısınmaya ve kalıcı değişimlere neden olacaktır ve iklim sisteminin her noktasında tespit edilen bu ve diğer antropojenik faktörlerin etkilerinin, 20. yüzyılın ortalarından beri gözlemlenen ısınmanın baskın nedeni olması oldukça muhtemeldir (IPCC, 2014).

1.2.1. İklim Değişikliği ve Kentsel Katı Atık İlişkisi

2012 yılında küresel insan kaynaklı sera gazı salımlarının %4'ünden sorumlu olduğu tahmin edilen atık sektörünün (UNEP, 2012), fosil yakıt kullanımı, enerji tüketimi ya da ormansızlaştırma gibi faaliyetlerin yanında, küresel ısınma üzerinde çok daha az bir etkisi bulunuyor olsa da, bu durumun gelecekte değişeceği ve önlem alınmaması halinde atık sektörünün etkisinin negatif yönde şiddetleneceği öngörülmektedir. Yapılan bir tahmine göre, azaltım olmaması halinde, atık kaynaklı salımlar 2020'de 2, 2050'de 4 katına çıkacaktır (UN HABITAT, 2010).

Katı atığın (düzenli veya düzensiz sahalarda) depolanması, biyolojik işlemler (kompostlaştırma, anaerobik çürütme, mekanik biyolojik işlem), atığın yakılması (açıkta ve/veya tesiste tam yakma), atıksu (evsel ve endüstriyel) arıtımı ve deşarjı ve diğer olmak üzere 4 ana kategoriye (IPCC, 2006) ayrılan atık sektörü, küresel CO₂ dışı (CH₄, N₂O, F-gazları) sera gazı salımlarının (2005 yılında toplam CO₂ dışı salımların %13'ü) üçüncü en büyük kaynağıdır (USEPA, 2012).

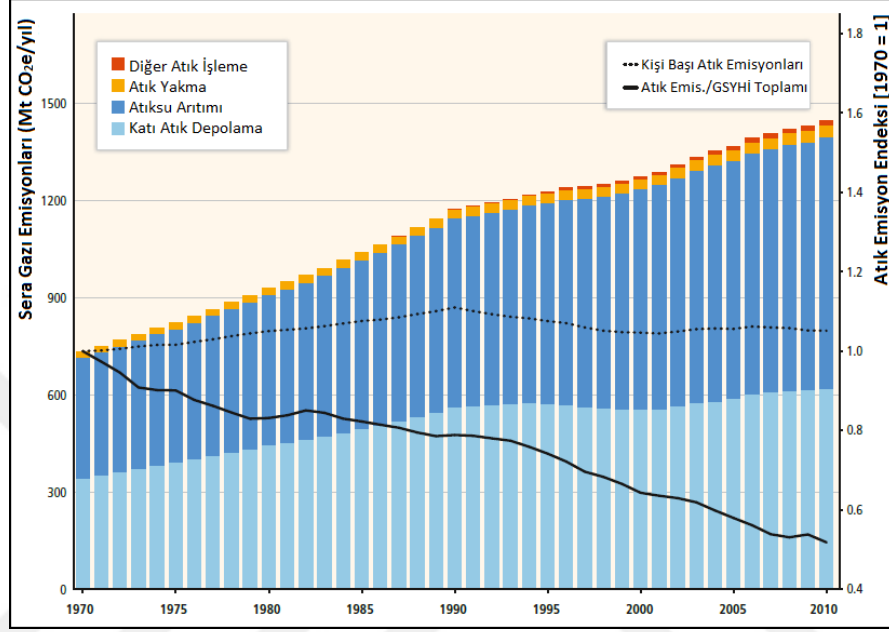
Katı atığın depolama yoluyla uzaklaştırılmasından kaynaklanan (atık emisyonlarının 1971'de %91'ini, 2010'da %90'ını) metan emisyonları, 1970 ile 2010 yılları arasında neredeyse ikiye katlanmıştır (Fischedick vd, 2014).

IPCC 5. Değerlendirme Raporu'nda (2014) 1990 yılından başlayarak katı atık depolama alanlarından (SWDS) kaynaklanan CH₄ emisyonlarındaki düşüşün büyük olasılıkla Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'nde bu tür emisyonların azalmasıyla ilişkili olduğu fakat 1990 ve 2009 yılları arasında AB ve Amerika Birleşik Devletleri'nde atık sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonlarındaki azalışın, bu dönemde toplam atık emisyonlarının genel olarak artış eğilimi göstermesine yol açan diğer bölgelerdeki emisyon artışını dengeleme noktasında yeterli olmadığı belirtilmektedir.

GSYİH başına düşen küresel atık salımları 1970'den 1990'a % 27, 1990'dan 2010'a % 34'lük bir oranla, tüm dönem (1970 – 2010) içinse % 48'lik bir oranla azalırken, kişi başına düşen küresel atık emisyonları ise 1970 ve 1990 yılları arasında

%10 artmış, 1990'dan 2010'a kadar %5 azalmış, 1970- 2010 dönemi için % 5'lik net bir artış göstermiştir (Şekil 1.12) (Fischedick vd., 2014).

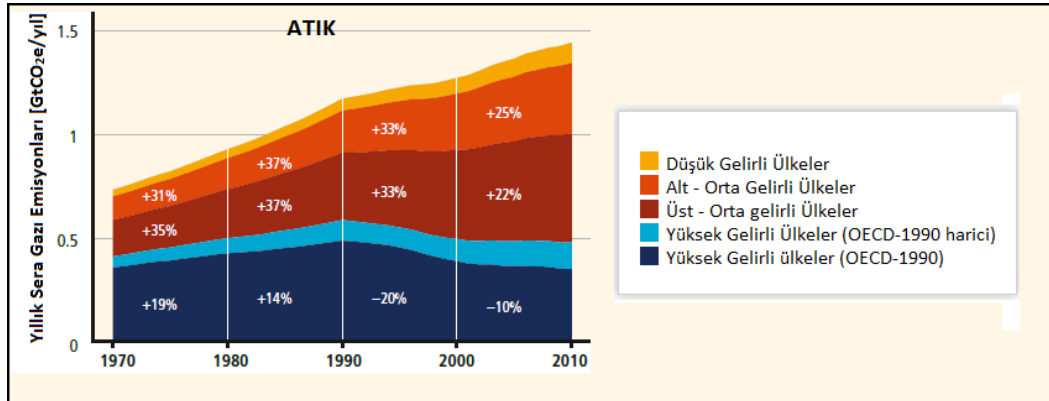
Şekil 1.12: 1971 – 2010 yılları arasında atık kaynaklı sera gazı emisyonları



Kaynak: Fischedick vd., 2014.

Atık oluşumu üzerinde olduğu gibi atık kaynaklı salımların üzerinde de gelir durumunun etkisi mevcuttur (Şekil 1.13), düşük gelirli ülkeler atık kaynaklı salımlara en az katkıyı yaparken, 1970 – 2010 yılları arasında yüksek gelir (OECD) ve üst - orta gelir grubunun atık emisyonlarındaki payı en fazladır.

Şekil 1.13: 1971 – 2010 arasında yıllık atık salımlarının gelir düzeyine göre dağılımı



Kaynak: Blanco vd., 2014.

Atık sektöründe CO₂ dışı salımların en büyük iki kaynağı katı atıkların depolanması ve atıksu olup, bu iki kategorinin 1990 – 2030 döneminde atık sektöründen kaynaklanan toplam salımlara katkısı % 92-93 seviyesindedir ve aynı zaman diliminde katı atık depolama alanlarında açığa çıkan CH₄ toplam küresel atık kaynaklı salımların %58'ini oluşturmaktadır (USEPA, 2012).

Uzun ömürlü sera gazlarının sebep olduğu ısınmanın %20'sinden sorumlu olan meran (Kirschke vd, 2013), atık sektöründen kaynaklanan en önemli sera gazıdır.

Küresel Metan Bütçesi 2000 - 2012 başlıklı çalışmada 2002 – 2013 dönemi için depolama alanları ve atıktan kaynaklanan küresel metan salımları küresel insan kaynaklı salımların yaklaşık % 18'i olarak tahmin edilmektedir (Saunois vd., 2016).

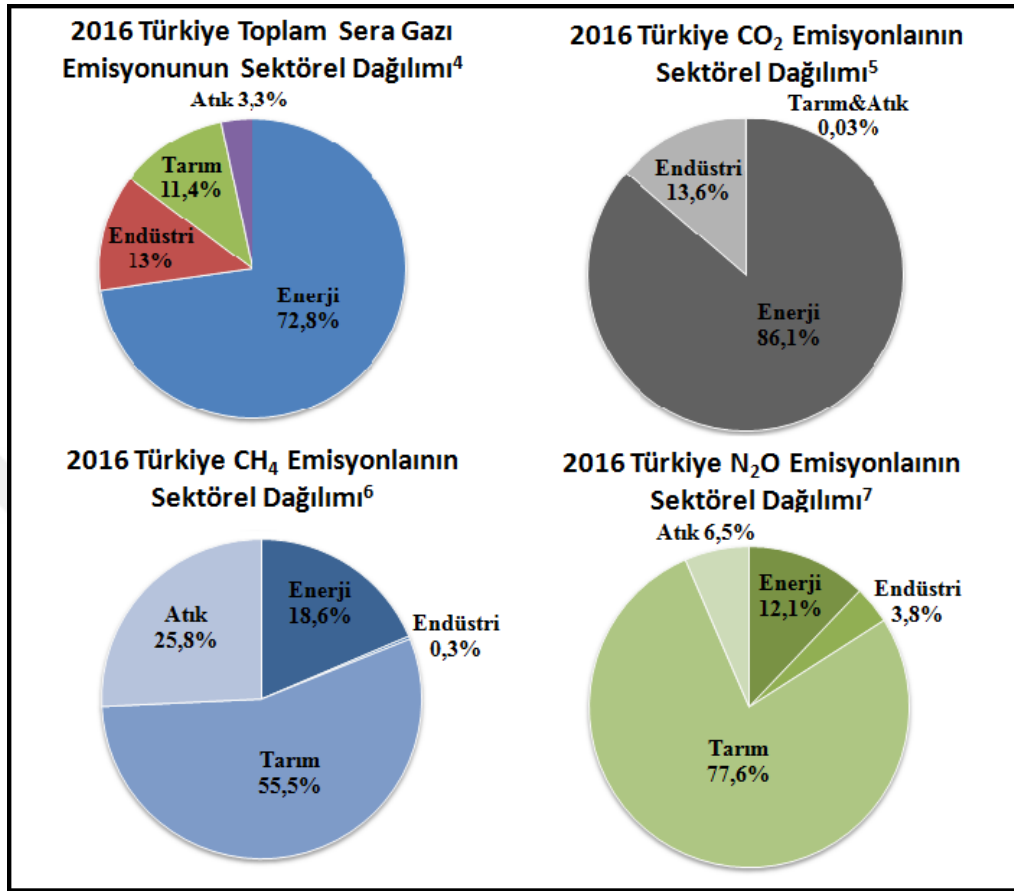
Küresel olarak katı atık depolama alanlarının yılda yaklaşık 50 milyon ton metan oluşturduğu, oluşan metanın 6 milyon tonunun düzenli depolama sahalarında yakalandığı tahmin edilmektedir (Themelis ve Ulloa, 2007'ye atfen Fishedick vd, 2014).

Atık emisyonlarının ana kaynakları, arazi üzerinde katı atığın depolanması (1970 yılında toplam atık emisyonlarının %46'sı ve 2010'da% 43'ü) ve atık su arıtımı (1970 yılında toplam atık emisyonlarının %51'i ve 2010'da % 54'ü) iken, atık yakılması (çoğunlukla CO₂) ve diğer kaynakların sera gazı salımlarına katkısı önemsiz görülmektedir (JRC/PBL, 2013'e atfen Blanco, 2014).

2016 yılında ise 1,6 milyar ton CO₂ eşdeğeri seviyesinde olan katı atık kaynaklı salım miktarının 2050'de 2,6 milyar ton CO₂ eşdeğerine ulaşacağı tahmin edilmektedir (Kaza vd., 2018).

2016 yılında Türkiye'de atık sektörü toplam sera gazı salımının %3,3'ünü, karbondioksit salımlarının (tarım ile birlikte) %0,3'ünü, metan salımlarının %25,8'ini, nitroz oksit salımlarının ise %6,5'ini kapsamaktadır (Şekil 1.14) (TÜİK, 2018).

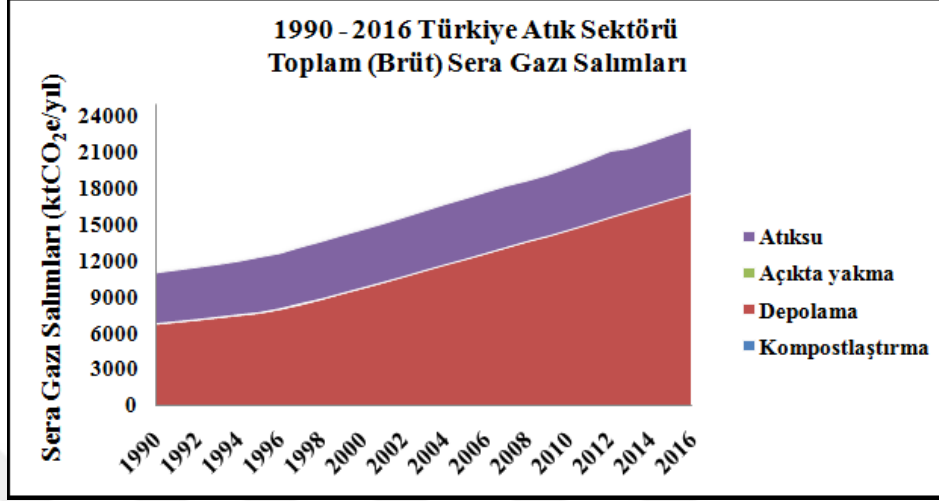
Şekil 1.14: 2016 yılı Türkiye sera gazı salımlarının sektörel dağılımı



4, 5, 6, 7 TÜİK, 2018.

2016 yılı için hazırlanan ulusal sera gazı envanteri (TÜİK, 2018) incelendiğinde atık sektöründen kaynaklanan toplam sera gazı salımlarının (brüt) 23142 ktCO₂eşdeğeri seviyesinde olduğu; bu (brüt) salımların %76,3'ünün (17660 ktCO₂e/yıl) katı atıkların depolanması, %23,6'sının (5463,4 ktCO₂e/yıl) atıksu arıtımı ve deşarjı, %0,1'inin (15,6 ktCO₂e/yıl) kompostlaştırma, %0,01'inin (3,1 ktCO₂e/yıl) kentsel katı atığın açıkta yakılması kaynaklı meydana geldiği görülmektedir (Şekil 1.15). 2016 yılında ulusal atık sektöründen kaynaklanan toplam (brüt) sera gazı salımları 1990 yılına göre %108,6 oranında artış göstermiştir.

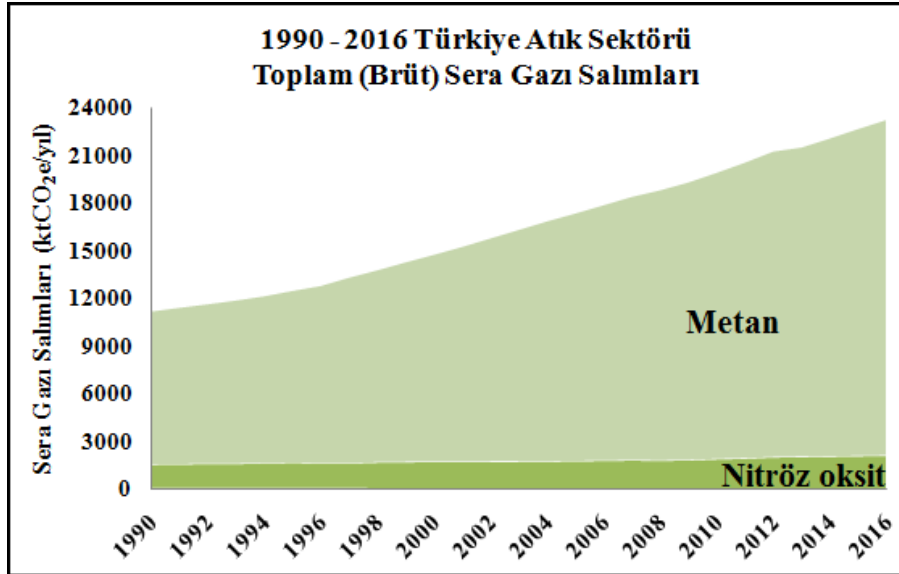
Şekil 1.15: 1990 – 2016 ulusal atık kaynaklı (brüt) salımların sektör içindeki dağılımı



Kaynak: TÜİK, 2018.

Ulusal atık sektöründen salınan en önemli sera gazı olan metan 2016 yılında atık kaynaklı (brüt) salımların %91,1'ini (21074,9 ktCO₂e/yıl) oluşturmaktadır; nitroz oksit ve karbondioksitin atık (brüt) salımları içindeki oranı sırasıyla %8,9 (2066 ktCO₂e/yıl) ve %0,005 (1,1 kt CO₂/yıl) (Şekil 1.16).

Şekil 1.16: Gazlara göre 1990 – 2016 ulusal atık kaynaklı (brüt) salımlar



Kaynak: TÜİK, 2018.

1.2.2. İklim Değişikliği ve Kentler

Küresel insan kaynaklı sera gazı emisyonlarının %70'inden sorumlu olan kentlerde (UN HABITAT, 2016) salımların temelini oluşturan faktörler büyük ölçüde aynıdır (C40, 2015):

- Binalar yetersiz ısıtma ve soğutma, aydınlatma ve dondurma sistemlerine sahiptir (Duvarları, pencereleri ve çatılar kışın sıcak hava, yazları soğuk havayı sızdırır).
- Katı atık depolama alanları metan salımı yapar.
- Dış mekân aydınlatmasında kullanılan enerjinin çoğu, ışık üretmekten ziyade atık ısıya dönüşür.
- Şehirlerde yoğun trafik sıkışıklığı önemli emisyonlar oluşturur ve çalışan verimliliğini azaltır.
- Çoğu su sistemi, sızıntı ve kayıpların bir sonucu olarak önemli miktarda su ve enerji harcar.

Yukarıda da görüldüğü gibi KKA depolama alanlarında açığa çıkan metan, kentsel salımlar içinde önemli bir yer tutmaktadır. Kentleşmenin giderek ivme kazanmasıyla şehirlerdeki insan ve varlık yoğunluğu artarken, aynı zamanda şehirler daha fazla tehlikeye maruz kalma riskiyle karşılaşmaktadır (C40, 2015).

İnsanlığın 21. yüzyılda karşılaştığı ve mücadele verdiği en zorlu konu olarak tanımlanabilecek iklim değişikliğinin en olumsuz etkilerinin; insanların, kaynakların ve altyapının yoğunlaştığı kentsel alanlarda ortaya çıkması oldukça muhtemeldir (UN HABITAT, 2011). Çünkü, iletişim, ticaret ve kültürün küresel merkezleri olan kentler aynı zamanda önemli ve büyüyen bir enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları kaynağıdır (WRI vd., 2014). Küresel insan kaynaklı sera gazı salımlarının %70'inden kentler sorumludur.

Sera gazı salımlarının ve iklim değişikliğine yol açan diğer faaliyetlerin kentsel alanlarda artışı şehirlerin iklim değişikliğinin yıkıcı sonuçlarına (Şekil 1.17) maruz kalma olasılığını yükseltmektedir.

Şekil 1.17: İklim değişikliğinin kentleri tehdit eden etkileri

TEHLİKE GRUBU	TEHLİKE (ANATÜR)	KENT İKLİM TEHLİKESİ (TÜR)	KENT İKLİM TEHLİKESİ (ALTTÜR)	BAĞLANTILI DOĞAL TEHLİKELER
 Meteorolojik	Yağış	Yağmur fırtınası	Muson	Böcekler ve mikroorganizmalar
		Yoğun kar yağışı	Kar fırtınası/tipi	
	Rüzgar	Şiddetli rüzgar	Toz fırtınası/kum fırtınası	Sel
		Kasırga	Ekstropikal siklon	Kimyasal değişim
		Siklon (Hortum/Tayfun)		Dalga etkisi
	Şimşek	Tropik fırtına	Şimşek/gök gürültülü fırtına, dereko	Kontrol edilemeyen yangın
	Sis	Elektrik fırtınası		Su kıtlığı
	Aşırı sıcaklık - Soğuk	Sis	Buz, dolu, ayazla birlikte yağış, çığ yığıntısı	Çökme
		Aşırı soğuk hava	Soğuk hava dalgası, don	Heyelan
		Sıcak dalgası	Soğuk günler	Kuraklık
		Aşırı sıcak hava	Sıcak günler	
TEHLİKE GRUBU	TEHLİKE (ANATÜR)	KENT İKLİM TEHLİKESİ (TÜR)	KENT İKLİM TEHLİKESİ (ALTTÜR)	BAĞLANTILI DOĞAL TEHLİKELER
 İklimsel	Su kıtlığı	Kuraklık	Yağış eksikliği ve mevsimsel erime (kar, buzul)	Kaya düşmesi
	Kontrol edilemeyen yangın	Orman yangını		Çığ
		Kara yangını	Çalı, çimen, mera, çalılık yangını	Çökme
TEHLİKE GRUBU	TEHLİKE (ANATÜR)	KENT İKLİM TEHLİKESİ (TÜR)	KENT İKLİM TEHLİKESİ (ALTTÜR)	BAĞLANTILI DOĞAL TEHLİKELER
 Hidrolojik	Sel	Su baskını / yüzey taşkını	Buzul gölü taşkını	Çökme
		Akarsu taşkını		Böcekler ve mikroorganizmalar
		Kıyı taşkını		Heyelan
	Dalga etkisi	Yeraltı suyu taşkını	Toprağın suyu emmesi	Sel
	Kimyasal değişim	Deniz kabarması	Çalkantı	
		Tuzlu su girişimi		
		Okyanus asitlenmesi		
TEHLİKE GRUBU	TEHLİKE (ANATÜR)	KENT İKLİM TEHLİKESİ (TÜR)	KENT İKLİM TEHLİKESİ (ALTTÜR)	BAĞLANTILI DOĞAL TEHLİKELER
 Jeofiziksel	Kütle hareketi	Heyelan	çamurlu yanardağ akıntısı, çamur akıntısı, moloz akması	Kimyasal değişim
		Çığ	Kar çığ, moloz çığ	
		Kaya düşmesi		Sel
		Çökme	Ani çökme (batık), uzun süreli çökme	
TEHLİKE GRUBU	TEHLİKE (ANATÜR)	KENT İKLİM TEHLİKESİ (TÜR)	KENT İKLİM TEHLİKESİ (ALTTÜR)	BAĞLANTILI DOĞAL TEHLİKELER
 Biyolojik	Böcekler ve mikroorganizmalar	Su kaynaklı hastalıklar	Ö. Kolera, Tifo, Lejyoner hastalığı	Aşırı sıcaklık - Sıcak
		Vektör kaynaklı hastalıklar	Ö. Sıtma, Dang humması, Sarı humma, Batı Nil virüsü, Hıyarıklı veba	
		Havadan geçen hastalıklar	Ö. pnömonik veba, Grip	
		Böcek istilası	Ö. Çam böcekleri, katil arılar, termitler	Sel

Kaynak: C40, 2015.

1.2.3. Sera Gazı Emisyon Envanterleri

Gezeenin ısınmasına ve buna bağlı olarak iklim sisteminin her noktasında farklı nitelikte ve şiddette değişikliğe yol açan ve açacak olan durumlardan en güçlüsü sera gazı salımlarında yaşanan artışın uluslararası, ulusal ve yerel ölçeklerde belirlenmesi, insan kaynaklı iklim değişikliği ile mücadelenin önemli bir parçasıdır.

İklim sistemine “tehlikeli” insan müdahalelerinin önlenmesi nihai amacıyla 1992 yılında kabul edilip, 1994 yılında yürürlüğe giren Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) kapsamında sözleşmeye taraf olan ülkelerin kapasitelerinin izin verdiği ölçüde, Taraflar Konferansı’na uygun bulunacak karşılaştırılabilir metodolojiler kullanarak, Montreal Protokolü ile

denetlenmeyen tüm sera gazlarının kaynaklara göre insan kaynaklı emisyonları ve yutaklar tarafından uzaklaştırılanları içeren ulusal envanterlerini hazırlama, periyodik olarak güncelleştirme, yayımlama ve Taraflar Konferansı'na sunma yükümlülükleri bulunmaktadır (UNFCCC, 1992).

2004 yılında 189. taraf olarak (URL 1) (mevcut durumda 197 üyesi bulunan) UNFCCC'ye katılan Türkiye 2009'dan bu yana her yıl ulusal sera gazı envanteri raporunu Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Sekretaryası'na sunmaktadır (UNFCCC, 2018).

Ulusal sera gazı salımları ve giderimleri IPCC (2006) kılavuzları kullanılarak hesaplanmaktadır. Emisyon envanteri, enerji, endüstriyel süreçler ve ürün kullanımı (IPPU), tarımsal faaliyetler ve atıklardan kaynaklanan karbondioksit (CO₂), metan (CH₄), nitroz oksit (N₂O), florlu gazlar (F-gazlar); hidroflorokarbonlar (HFC'ler), perflorokarbonlar (PFC'ler), sülfür heksaflorür (SF₆), NF₃ gibi doğrudan ve azot oksitler (NO_x), metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOC'ler), karbon monoksit (CO) ve kükürt dioksit (SO₂) gibi dolaylı sera gazı emisyonlarını ve arazi kullanımı, arazi kullanımı değişikliği ve ormancılık (LULUCF) kaynaklı emisyon ve giderimleri içermektedir (TÜİK, 2018).

2015 yılında Paris'te düzenlenen 21. Taraflar Konferansı'nda kabul edilen ve küresel sera gazı emisyonlarının %55'ini oluşturan en az 55 tarafın anlaşmayı onaylaması ile 2016 sonunda yürürlüğe giren (URL 3) - küresel ortalama sıcaklık artışını endüstri öncesine göre 2°C'nin oldukça altında tutarak (mümkünse) 1,5°C düzeyinde sınırlama nihai hedefi doğrultusunda 2020 sonrası iklim rejiminin çerçevesini oluşturan - Paris Anlaşması'nda da tarafların her birinden kaynaklardan açığa çıkan insan kaynaklı sera gazı salımlarını ve yutaklar yoluyla oluşan giderimleri içeren, Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından kabul edilmiş ve Anlaşma Taraflarının toplantısı olarak Taraflar Konferansı tarafından üzerinde anlaşmaya varılmış iyi uygulama metodolojileri kullanılarak hazırlanmış ulusal envanter raporunu düzenli olarak sunmaları talep edilmektedir (UN, 2015).

2014 yılında Dünya Kaynakları Enstitüsü (WRI), Büyük Kentler İklim Liderlik Grubu (C40) ve Uluslararası Yerel Çevre İnisiyatifleri Konseyi (ICLEI) şehirlerin güçlü, kapsamlı ve tutarlı envanter geliştirmelerini desteklemek amacıyla Topluluk Ölçekli Sera Gazı Salım Envanterleri Küresel Protokolü'nü (GPC) faaliyete geçirmiştir, bu protokol IPCC Kılavuzları ile tutarlı olarak şehir genelinde sera gazı emisyonlarının hesaplanması ve raporlanmasına yönelik bir çerçeve sunmaktadır (C40, 2018).

C40 ve İklim ve Enerji için Belediye Başkanları Küresel Sözleşmesi'ne taraf olan İstanbul'un 2010 (İBB, 2013) ve 2015 (İBB, 2018) yılları için GPC kullanılarak hazırlanmış sera gazı emisyon envanterleri bulunmaktadır.

1.3. Amaç

Nüfus artışı, ekonomik büyüme, kentleşmenin giderek hız kazandığı bu zaman diliminde, Türkiye'nin büyük çoğunluğuna ev sahipliği yapıp, ulusal gelirin çoğunun üretildiği İstanbul'un insan kaynaklı sera gazlarına yaptığı katkının belirlenmesi hem kentsel hem de ulusal düzeyde insan kaynaklı iklim değişikliği ile mücadele açısından zorunlu ve önemli bir eylemdir. Bu tez kapsamında nüfusu artan, kentleşmesi hız kazanan, ekonomik seviyesi yükselen İstanbul'un kentsel katı atık oluşumundan kaynaklanan sera gazı salımları IPCC (2006) metodolojisi kullanılarak belirlenmiş, elde edilen bulgular ulusal envanter sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu çalışma ile asıl amaçlanan, ulusal sera gazı envanterinin yerel ölçekte hazırlanması halinde daha doğru, güvenilir sonuçlar elde edileceğini göstermektir.

İKİNCİ BÖLÜM

ÇALIŞMA ALANININ TANITIMI VE METOT

2.1. Çalışma Alanının Tanıtımı

2.1.1. Konum

Asya ile Avrupa Kıtalarının dar bir deniz geçidi olan Boğaziçi ile ayrıldığı noktada, iki kıta üzerinde kurulu tek şehir olma özelliğini taşıyan İstanbul, Balkan Yarımadası ile Anadolu arasında bir geçiş oluşturan Marmara Bölgesi'nde yer almaktadır (Şekil 2.1) (ÇŞB, 2013).

Tekirdağ ve Kocaeli'ne komşu olan kenti, kuzeyde Karadeniz, güneyde Marmara Denizi, doğuda Kocaeli Sıradağları ve batıda Ergene Havzası'nın su ayırım çizgisi sınırlar, Asya ve Avrupa kıtasını birbirinden ayıran İstanbul Boğazı, Karadeniz ile Marmara Denizi'ni birleştirirken İstanbul'u ikiye bölmektedir (ÇŞB, 2017).

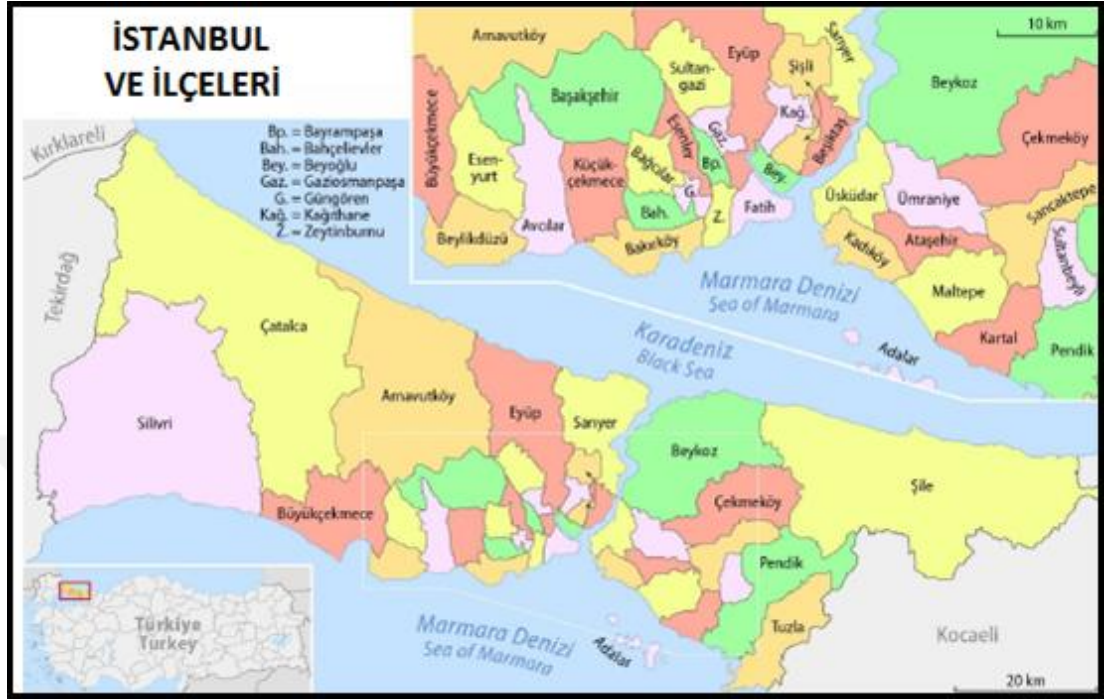
Şekil 2.1: İstanbul kentinin uydudan çekilmiş bir görüntüsü



Kaynak: Google Earth, 2018.

Yüz ölçümü 5461 km² (HGK, 2014) olan kentte, idari olarak Anadolu Yakası'nda 14, Avrupa Yakası'nda 25 olmak üzere toplam 39 ilçe bulunmaktadır (Şekil 2.2) (ÇŞB, 2017).

Şekil 2.2: İstanbul'un ilçeleri



Kaynak: URL 2.

2.1.2. Nüfus

2017 yılı Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) sonuçlarına göre 15,029,231 kişilik nüfusuyla Türkiye'nin %18,6'sına ev sahipliği yapan İstanbul, ülkenin en kalabalık kenti olma özelliğini taşımaktadır (TÜİK, 2018).

Avrupa'nın nüfus açısından en yoğun kenti (İBB, 2018) İstanbul'da, 1950 senesinde 216 kişi/km² (DİE, 1950) olan nüfus yoğunluğu, 2017'ye gelindiğinde 2.892 kişi/km² (TÜİK, 2018) değerine ulaşmıştır. 2017 yılında Avrupa yakasında ikamet edenler İstanbul nüfusunun %65'ini oluştururken, Anadolu yakasındaki nüfus toplam nüfusun %35'i seviyesindedir (Tablo 2.1).

Tablo 2.1: İstanbul’da 1950 – 2017 yılları arasında yapılan genel ve adrese dayalı nüfus sayım sonuçları

Yıl	Avrupa	Asya	Toplam	Yıl	Avrupa	Asya	Toplam
1950*	898.901	245.321	1144222	2007**	8.156.969	4.416.867	12.573.836
1955*	1.182.256	324.895	1.507.151	2008	8.232.849	4.464.315	12.697.164
1960*	1.441.054	407.937	1.848.991	2009	8.360.446	4.554.712	12.915.158
1965*	1.756.374	500.359	2.256.733	2010	8.571.374	4.684.311	13.255.685
1970*	2.281.249	695.094	2.976.343	2011	8.802.498	4.821.742	13.624.240
1975*	2.820.388	1.029.164	3.849.552	2012	8.963.431	4.891.309	13.854.740
1980*	3.264.393	1.401.710	4.666.103	2013	9.162.919	4.997.548	14.160.467
1985*	3.942.005	1.810.752	5.752.757	2014	9.301.455	5.075.563	14.377.018
1990*	4.734.857	2.460.916	7.195.773	2015	9.474.894	5.182.540	14.657.434
1997	6.015.351	3.183.458	9.198.809	2016	9 575 748	5 228 368	14.804.116
2000	6.518.082	3.500.653	10.018.735	2017	9.726.373	5.302.858	15.029.231

* 1995 yılına kadar idari bölünüşte İstanbul’un bir ilçesi sayılan Yalova coğrafi konumunun şehir merkezine uzaklığı sebebiyle geçmişe dönük KKA kaynaklı sera gazı salım tahminlerine dâhil edilmemiştir. ** Ülkede 2007 yılı öncesinde Genel Nüfus Sayımı uygulaması mevcutken, 2007 ve sonrasında ADNKS’ye geçilmiştir.

2.1.3. İklim

İstanbul, yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı olan Akdeniz ikliminden yazları sıcak ve kışları ılık ama her mevsim yağışlı Karadeniz iklimine geçişin yaşandığı bir bölgede konumlanmıştır; kentinin daha yoğun yerleşime sahip güney kesimleri Akdeniz iklimine daha yakın bir görüntü oluştururken, kuzeye gidildikçe iklim özellikleri Karadeniz iklimine doğru kaymaktadır. (URL 4).

1929 – 2017 yılları arasında kentin ortalama sıcaklığı mevsim normallerine (1981 – 2010) göre bir artış eğilimi gösterirken, toplam ortalama yağışta bir azalma söz konusudur (Tablo 2.2 ve 2.3). Bu çalışmada, metot kısmında detaylı bir şekilde açıklanacağı üzere, ortalama veriler yerine kentin belirli noktalarında geçerli olan meteorolojik veriler (Tablo 2.4, 2.5, 2.6 ve 2.7) dikkate alınmıştır.

Tablo 2.2: 1929 – 2017 İstanbul genel meteorolojik istatistikleri

İstanbul	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm periyodu	1929 – 2017												
Ortalama sıcaklık (°C)	6	6,1	7,7	12	16,7	21,4	23,8	23,8	20,1	15,7	11,7	8,3	14,4
Aylık ort. yağış (mm)	106	77,7	71,4	45,9	34,4	36	33,3	39,9	61,7	88	100,9	122,2	817,4

Kaynak: MGM, 2018.

Tablo 2.3: 1981 – 2010 İstanbul mevsim normalleri

İstanbul	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm periyodu	1981 – 2010												
Ortalama sıcaklık (°C)	5,8	5,5	7,3	11,2	15,7	20,5	22,9	23,4	19,9	15,8	11	7,8	13,9
Aylık ort yağış (mm)	99,5	82,1	69,2	43,1	31,5	40,6	39,6	41,9	64,4	102	110,3	125,1	849,6

Kaynak: MGM, 2018.

Tablo 2.4: Bahçeköy Meteoroloji İstasyonundaki bazı meteorolojik gözlemler

Bahçeköy	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama yağış (mm)	162	105	104	55	45,2	39,9	34,8	48,8	68,1	121	134	172,3	1090,5
Ortalama sıcaklık (°C)	4,7	4,9	6,1	10,5	15	19,3	21,5	21,6	18,8	14,1	10,6	6,9	12,8
Potansiyel Evapotranspirasyon (PET)	11,5	12,3	19,8	41,7	78,5	111,4	121,7	114,4	82,8	54,9	31,7	17,6	698,3

Kaynak: Serengil, 2002.

Tablo 2.5: Florya Meteoroloji İstasyonundaki bazı meteorolojik gözlemler

Florya	Yıl	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama yağış (mm)	1960-2013	79,1	69,2	59,3	49,9	29	29,3	21	24,6	33,7	73,9	79,8	93,3	563
	1960-1974	88,2	72,4	63,1	54,3	31,7	23,8	15,2	25	36,1	55,4	72,4	114,4	564
	1999-2013	80,1	94,7	59,3	47,5	20,8	29,2	12,9	24,6	41,1	73,5	70,9	85,3	560
Ortalama sıcaklık (°C)	1960-2013	5,7	5,7	7,5	11,7	16,6	21,3	23,8	23,7	20,1	15,9	11,7	8	12,7
	1960-1974	5,1	5,7	7	11,3	16,2	20,6	23,1	23	19,6	15,8	12,4	8,2	14
	1999-2013	6	6	8,5	12,4	17,6	22,3	25,4	25,3	21,1	16,4	12	8,1	15,1
Potansiyel	1960-1974	10,1	11,8	19,8	43	82,08	117,61	140,19	130,51	90,3	60,8	36,43	19,4	762
Evapotranspirasyon (PET)	1999-2013	10,4	10,4	22,5	44,4	87,53	138,17	159,89	148,86	97,3	60,1	31,13	16,2	827

Kaynak: Turoğlu, 2014.

Tablo 2.6: Göztepe Meteoroloji İstasyonundaki bazı meteorolojik gözlemler

Göztepe	Yıl	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama yağış (mm)	1960-2013	88,2	69,2	63,2	48,1	29,3	24,9	20,2	27	41,2	76,3	83,5	112,5	684
	1960-1974	92,9	71,4	67,5	52,3	30,7	19,6	10,4	20,7	50,7	66,4	74	130,7	687
	1999-2013	83,5	83,7	62,2	42,5	19,9	26,8	13,5	32,5	41,2	81,3	79,2	94,4	661
Ortalama sıcaklık (°C)	1960-2013	6	6	7,7	12,1	16,9	21,6	23,7	23,7	20,1	15,8	11,7	8,2	12,7
	1960-1974	5,3	6	7,2	11,7	16,5	20,9	23,2	23,1	19,6	15,6	12,2	8,3	14,1
	1999-2013	6,4	6,5	8,6	12,8	17,7	22,5	24,9	25,3	21,2	16,4	12,3	8,6	15,3
Potansiyel	1960-1974	10,4	12,5	20,3	44,8	83,82	119,75	140,83	131,09	89,9	59,3	35,24	19,48	768
Evapotranspirasyon (PET)	1999-2013	11,5	11,8	22,9	46,6	88,23	130,6	154,87	148,82	98	60	32,34	17,79	823

Kaynak: Turoğlu, 2014.

Tablo 2.7: Şile Meteoroloji İstasyonundaki bazı meteorolojik gözlemler

Şile	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama yağış (mm)	98,9	71,2	68,7	44,6	35,9	33,3	31	52,6	71,7	105	97,2	117,2	827
Ortalama sıcaklık (°C)	5,4	5,6	6,7	10,6	15,1	19,7	22,3	22,5	19,2	15,3	11,2	7,7	13,4
Potansiyel	12,4	12,5	18,5	37,7	76,3	112,1	139,7	119	91,5	59,5	28,7	20	727,9
Evapotranspirasyon (PET)													

Kaynak: Aslan vd., 2016.

(Tablo 2.7’de verilen PET değerleri, bu çalışma için Doğanay Tolunay tarafından hesaplanmıştır).

2.1.4. İstanbul'da Kentsel Katı Atık

İstanbul'da 1953 senesine kadar şehir sakinlerinin ürettiği çöp (atık) denize dökülmekteyken bu tarihten sonra oluşan atığın büyük bölümü kentin belirli noktalarında (Hasdal, Halkalı, Feriköy, Ümraniye, Aydınlı, Yakacık) açılan düzensiz (vahşi) sahalarda (çöplüklerde) depolanmaya başlamıştır (İBB, 2016). 40 sene boyunca oluşan atıkların çöplüklere atıldığı İstanbul'da 1995 yılı ile birlikte vahşi depolama işlemine son verilmiş, Odayeri, Kömürcüoda ve Seymen mevkilerinde açılan katı atık düzenli depolama sahalarında depolama uygulamasına (Tablo 2.8) geçilmiştir (İSTAÇ, 2017).

Tablo 2.8: 1995 – 2016 arasında İstanbul'da yıllık düzenli depolanan KKA miktarı (ton/yıl)

Yıl	Avrupa	Asya	Toplam
1995	524.013	228.546	752.559
1996	1.122.443	628.622	1.751.065
1997	1.521.541	779.389	2.300.930
1998	1.775.983	885.427	2.661.410
1999	2.220.225	965.168	3.185.393
2000	2.282.265	1.037.624	3.319.889
2001	2.205.211	1.013.196	3.218.407
2002	2.281.219	1.032.546	3.313.765
2003	2.452.301	1.099.973	3.552.274
2004	2.848.277	1.314.152	4.162.429
2005	3.145.032	1.459.226	4.604.258
2006	3.469.871	1.620.807	5.090.678
2007	3.182.820	1.639.338	4.822.158
2008	3.345.988	1.749.984	5.095.972
2009	3.336.014	1.776.076	5.112.090
2010	3.426.405	1.816.129	5.242.534
2011	3.491.683	1.838.641	5.330.324
2012	3.725.426	1.897.710	5.623.136
2013	3.784.597	1.905.252	5.689.849
2014	3.980.115	1.926.140	5.906.255
2015	4.108.815	2.058.264	6.167.079
2016	4.250.045	2.152.001	6.402.046

Kaynak: İSTAÇ, 2017.

2015 yılında Seymen köyünde açılan kentin 3. düzenli katı atık depolama sahası ile birlikte diğer 2 tesis halen hizmet vermeye devam etmektedir. 1990'lı yıllar ve daha öncesinde şehirde oluşan kentsel katı atık miktarı ve bu atığın nasıl yönetildiği üzerine resmi kaynaklarda veri bulmak neredeyse imkânsızdır. Bulunan verilerin güvenilirliği ise düşük seviyededir.

2001 yılında Avrupa yakasında Kemerburgaz Açık Kompost ve Geri Kazanım Tesisi'nin faaliyete geçirilmiştir, şehirde toplanan kentsel katı atığın bir kısmıyla pazar ile hal atıkları bu tesise getirilmekte, plastik, cam gibi bileşenlerin bu atıklardan ayrılmasından sonra kalan organik içeriği yüksek malzeme kompostlaştırılmaktadır (Tablo 2,9) (İSTAÇ, 2017).

Tablo 2.9: Kompostlaştırma tesisine yıllık giren, geri kazanılan atık ve üretilen kompost miktarları, Gg/yıl

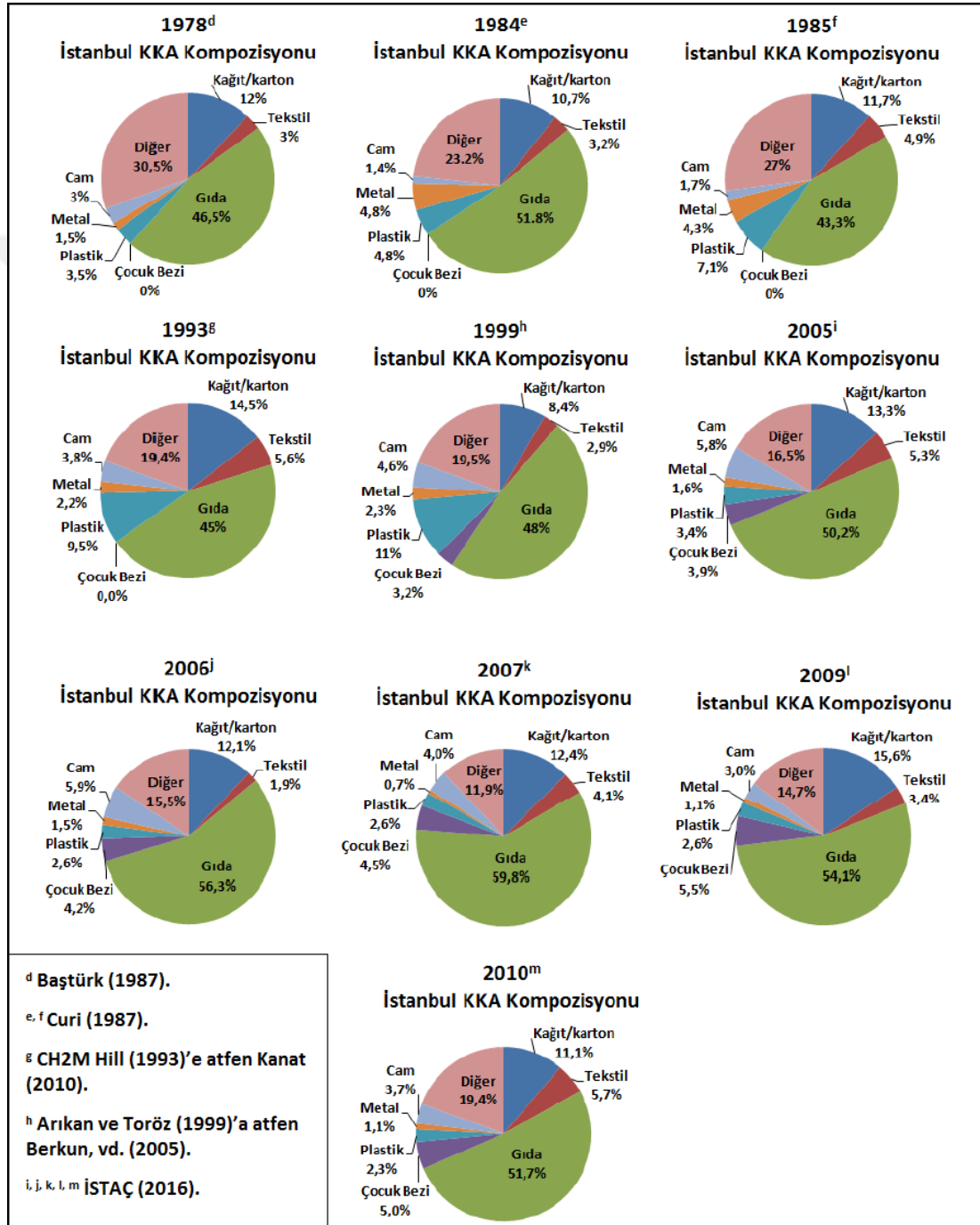
Yıl	Tesise giren (Gg/yıl)	Geri Kazanılan (cam, plastik vs.) (Gg/yıl)	İşlenen (Gg/yıl)	Üretilen Kompost (Gg/yıl)
2001	111	1,66	109	3,25
2002	169	2,84	166	18
2003	200	2,74	198	16
2004	165	1,51	164	17
2005	142	1,49	140	19
2006	139	3,00	136	21
2007	160	5,59	155	25
2008	139	3,54	136	20
2009	125	8,45	116	10
2010	158	7,26	151	15
2011	154	5,90	148	18
2012	127	5,35	122	18
2013	109	2,48	107	16
2014	128	6,17	122	17
2015	135	7,07	128	18
2016	134	6,11	128	18

Kaynak: İSTAÇ, 2017.

Literatür tarandığında, İstanbul'da KKA için karakterizasyon çalışmalarının 1970'lerin sonunda (1978) yürütülmeye başladığı; 1990'lı yıllar öncesi için yapılan çalışmalarda çocuk bezi kaleminin bulunmadığı, gıda atığının 2000'li yıllardan sonra

içeriğin %50'sinin üzerinde olduğu, park ve bahçe atığı bileşeninin hiçbir KKA karakterizasyonunda yer almadığı görülmektedir (Şekil 2.3).

Şekil 2.3: İstanbul'da 1978-2010 yılları arasında KKA karakterizasyonları d) 1978, e) 1984, f) 1985, g) 1993, h) 1999, i) 2005, j) 2006, k) 2007, l) 2009, m) 2010



İstanbul’da mevcut durumda kentsel katı atığın işlendiği bir anaerobik çürütme tesisi ya da yakıldığı bir atık yakma tesisi bulunmamaktadır. 1991 senesi için TÜİK tarafından yayınlanan Çevre İstatistikleri raporunda kentsel katı atığın bir ölümünün çöplüklerde açıkta yakıldığı bilgisi mevcuttur. Bu bilgidен hareketle şehirde oluşan kentsel katı atığın bir kısmının 1990 – 1994 yılları arasında (1995’te düzenli depolama uygulamasına geçilene kadar) açıkta yakıldığı varsayılmaktadır.

1998 yılında ıslah çalışmalarına başlanan Hasdal vahşi depolama sahasında, 2001 yılında depo gazından enerji üretimi tesisi faaliyete geçirilmiştir, aynı amaca hizmet eden diğer 2 tesisten biri 2007’de Odayeri düzenli depolama sahasında, diğeri ise 2008 yılında Kömürcüoda sahasında elektrik üretimine başlamıştır (Tablo 2.10) (İSTAC, 2016). Bu 3 enerji üretim tesisinde sahalarda açığa çıkan depo gazındaki metan geri kazanılarak elektrik üretilmektedir. Geri kazanım faaliyeti bu alanlardan salınan metan miktarını azaltmaktadır.

Tablo 2.10: Odayeri, Kömürcüoda ve Hasdal tesislerinde yıllık enerji üretimi (MW/yıl)

Enerji Üretimi (MW/yıl)	Odayeri	Kömürcüoda	Hasdal
2002	-	-	4143
2003	-	-	7278
2004	-	-	5939
2005	-	-	4378
2006	-	-	3627
2007	-	-	3225
2008	-	-	2474
2009	50668	20227	1791
2010	71150	45096	1688
2011	74490	38286	1486
2012	130319	51343	1118
2013	205131	84690	802
2014	239515	96634	398
2015	193447	88688	91
2016	295761	108570	-

Kaynak: İBB, 2017.

2.2. Metot

Kentsel katı atık kaynaklı sera gazı salımlarının hesaplanmasına yönelik metodolojiler IPCC (2006) Ulusal Sera Gazı Envanter Kılavuzlarının 5. Cildi olan Atık cildinde yer almaktadır. Bu tez çalışmasında, ülkenin nüfus açısından en yoğun kentinde oluşan kentsel katı atığın açığa çıkardığı sera gazı salımları, 1990 – 2016 dönemi için, ulusal sera gazı envanterlerinde olduğu şekilde, IPCC (2006) kılavuzunda sunulan yöntemlerle belirlenmiştir.

Kentsel atığın depolanarak uzaklaştırılması önemli miktarlarda metan (CH_4) oluşumuna yol açmaktadır; CH_4 'e ek olarak, katı atığın depolandığı alanlar biyogenik karbondioksit (CO_2), metan harici uçucu organik bileşikler (NMVOC'ler) ve daha az miktarlarda diazot monoksit (N_2O), azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO) meydana getirir (IPCC, 2006).

Katı atığın depolandığı alanlarda orta çıkan CO_2 salımları biyogenik kökenli olup, AFOLU sektörü kapsamında değerlendirildiği için ulusal toplamlara dahil değildir; NMVOC'ler, NO_x ve CO salımlarının hesaplanmasına yönelik metodolojiler Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE) Uzun Menzilli Sınır Ötesi Hava Kirliliği Sözleşmesi gibi diğer sözleşmeler kapsamındaki kılavuzlarda yer alır; katı atığın depolandığı alanlarda önemli miktarlarda N_2O salımı olmaması nedeniyle kılavuzda (2006) nitroz oksit salımının tahminini için bir yöntem sunulmamıştır (IPCC, 2006).

Kılavuz (2006) kentsel katı atığın kompostlaştırma, anaerobik çürütme ya da mekanik biyolojik işleme uygulamalarından herhangi biriyle işlenmesinden kaynaklanan CH_4 ve N_2O salımlarını ve son olarak katı atığın atmosfere açık alanlarda veya yakma tesislerinde yakılmasıyla meydana gelen CO_2 , CH_4 ve N_2O salımlarını hesaplama yöntemlerini içermektedir.

KKK kaynaklı sera gazı salımlarının tahmini için ilk olarak envanteri hazırlanan bölgenin nüfusunun, oluşan atık miktarının, atık bileşiminin ve bu atığın nasıl yönetildiğinin belirlenmesi gerekmektedir (IPCC, 2006).

2.2.1. Sera Gazı Salım Tahminlerinde Kullanılacak Nüfusun Belirlenmesi

Katı atığın biyolojik olarak işlenmesi ya da yakılmasından kaynaklanan sera gazı salımları bu pratiklerin uygulandığı esnada ortaya çıktığı için, bu salımlar hesaplanırken, sadece salım tahmini yapılan yıla ait nüfus, atık miktarı, kompozisyonu ve yönetimi bilgilerinin mevcut olması yeterlidir.

Fakat katı atığın depolanarak uzaklaştırılmasından kaynaklanan metan salımlarının tahmini için, kılavuzda (2006) sunulan yöntem nüfus, atık miktarı, kompozisyonu ve depolama uygulamasına yönelik tarihi verilere de ihtiyaç duymaktadır.

Katı atığın depolandığı alanlarda açığa çıkan metan emisyonlarının tahmini için IPCC (2006) metodolojisi, atıklardaki bozunabilir organik bileşenin (parçalanabilir organik karbon, DOC) birkaç on yıl boyunca yavaş yavaş bozulduğunu ve bu sırada CH₄ ve CO₂'nin oluştuğunu varsayan Birinci Dereceden Bozunma (FOD) yöntemini esas almaktadır. Bu yönteme göre koşullar sabit olduğu takdirde, metan oluşum oranı salt atıkta kalan karbon miktarına bağlı olmaktadır; sonuç olarak bir depolama alanında biriken atıkların oluşturduğu metan salımları, depolamadan sonraki ilk birkaç yıl içinde en yüksek seviyedeysen, sonrasında - atıktaki bozunabilir karbon, çürümeden sorumlu bakteriler tarafından tüketildiği için - yavaş yavaş azalır (IPCC, 2006).

Farklı atık türleri için yarılanma ömürleri birkaç yıldan birkaç on yıla ya da daha uzun süreye kadar değişmektedir; FOD yöntemi, kabul edilebilir doğru sonuçlar elde edilmesi için, 3-5 yarılanma ömrünü bir zaman periyodunda atığın depolanması üzerine tarihsel verinin toplanmasını ya da tahmin edilmesini gerektirmektedir; bu nedenle en az 50 yıllık bir zaman dilimi için geçerli olan atık depolama verisinin kullanılması önerilmektedir (IPCC, 2006).

İstanbul'da kentsel katı atığın depolanmasından kaynaklanan metan salımları tahmini için ilk adımda kentin nüfus sayım sonuçları (Tablo 2.1) ve (2.1) no.lu

denklem kullanılarak İstanbul’da sayım sonuçları mevcut yıllar arasındaki nüfus artış hızları belirlenmiştir (Tablo 2.11).

$$r = [\ln(N) - \ln(N_0)]/t \quad (2.1)$$

Burada:

r: Nüfus artış hızı

N: Son sayım nüfusu

N_0 : İlk sayım nüfusu

t: Son ve ilk nüfus sayımı arasındaki zaman farkı (yıl)

Tablo 2.11: 1950 – 2016 yılları arasında İstanbul Avrupa ve Asya yakası nüfus artış hızları

Dönem	Avrupa yakası nüfus artış hızı (%)	Asya yakası nüfus artış hızı (%)
1950 - 1955	%54,8	%56,2
1955 – 1960	%39,6	%45,5
1960 - 1965	%39,6	%40,8
1965 - 1970	%52,3	%65,7
1970 - 1975	%42,4	%78,5
1975 - 1980	%29,2	%61,8
1980 - 1985	%37,7	%51,2
1985 - 1990	%36,7	%61,4
1990 - 1997	%34,2	%36,8
1997 - 2000	%26,8	%31,7
2000 - 2007	%32,0	%33,2

Sayım sonuçları, belirlenen nüfus artış hızları (tablo 2.11) ve (2.2) no.lu denklem kullanılarak İstanbul’da 1950 – 2017 yılları arasında sayım yapılmamış yılların nüfusları hesaplanmıştır.

$$N = N_0 \cdot e^{rt} \quad (2.2)$$

Burada:

N_0 : 0. yılın nüfusu

N: Aranan yılın nüfusu

r: 0. yıl ve aranan yıl arasındaki nüfus artış hızı

t: 0. yıl ve aranan yıl arasındaki zaman farkı (yıl)

2.2.2. Kişi Başı ve Toplam Oluşan KKA Miktarlarının Belirlenmesi

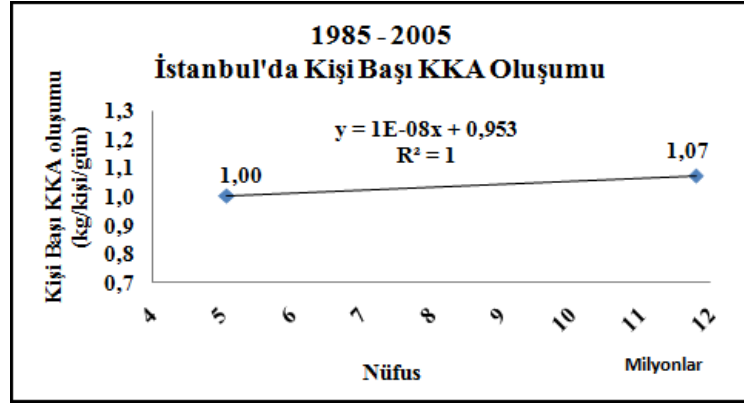
İstanbul’da 1990 – 2016 yılları arasında kentsel katı atıktan kaynaklanan sera gazı salımlarını tahmin etmek için gerekli olan diğer veri İstanbul’da yıllık toplam oluşan KKA miktarı ve bu oluşumun uzaklaştırılan kısmının miktarıdır. Kentte toplam KKA miktarına yönelik veri bulunmayan yıllarda oluşan atık miktarı, bu yıllarda oluşan kişi başı kentsel atık miktarı tahminleri üzerinden türetilmiştir.

Türkiye’nin ulusal sera gazı envanterinde sunulan ortalama kişi başı oluşan KKA miktarları incelendiğinde, bu değer 66 yıl boyunca 1 kg/kişi/gün seviyesinin üzerinde olduğu ve 1950 – 1994 döneminde bu miktarın 1,09 kg/kişi/gün değerine sabitlendiği görülmektedir. Bununla birlikte OECD (2018) 1985 yılında Türkiye’de ortalama kişi başı kentsel katı atık oluşumunun 1,0 kg/kişi/gün olduğunu öngörmektedir.

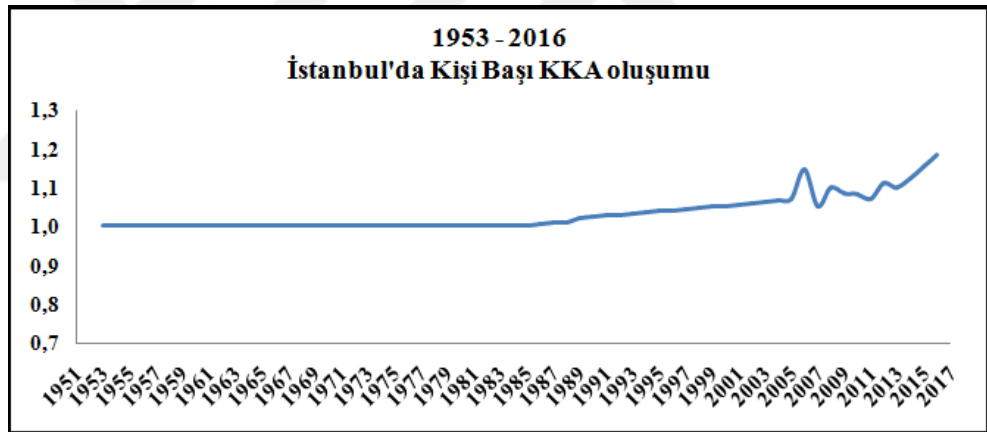
İstanbul’da 1995 öncesine dair toplam oluşan KKA miktarına dair veri bulunmazken, 1995 sonrasında kentte düzenli depolanan kentsel katı atık miktarı toplam oluşan kentsel katı atık miktarı olarak kabul edildiğinde (ve bu miktar nüfus değerine bölüldüğünde) 1995 – 2004 döneminde özellikle 90’lı yılların ikinci yarısında kişi başı kentsel katı atık oluşum değerlerinin Türkiye ortalamasının oldukça altında kaldığı göze çarpmaktadır. Bu dönemde atık toplama hizmetinin tüm nüfusa ulaştırılamaması, toplanan atığın depolama harici faaliyetler yoluyla uzaklaştırılabilmesi gibi durumların bu sonucu yaratması mümkündür.

Bu bilgilerden hareketle, OECD’nin 1985 yılı için sunduğu kişi başı KKA oluşum değeri ile 2005 yılı değeri arasında kent nüfusuna bağlı olarak değişen bir eğilim oluşturulmuş (Şekil 2.4), 1953 – 1985 yılları arasında ise ortalama kişi başı kentsel katı atık oluşumunun 1,0 kg/kişi/gün (1985) seviyesinde sabitlendiği kabul edilmiştir (Şekil 2.5).

Şekil 2.4: 1985 – 2005 arasında İstanbul’da kişi başı ortalama KKA oluşumu (kg/kişi/gün)



Şekil 2.5: 1953 – 2016 arasında İstanbul’da kişi başı ortalama KKA oluşumu (kg/kişi/gün)



2005 yılı sonrası için kentin Avrupa ve Asya yakalarında düzenli olarak depolanan KKA miktarından türetilen kişi başı oluşan KKA miktarları karşılaştırıldığında, Avrupa yakasında kişi başı KKA oluşumu ile Asya yakasında kişi başı KKA oluşumu arasında yaklaşık 1.1 seviyesinde bir oranın olduğu görülmüştür. 2005 – 2016 döneminde izlenen bu oran tüm sürece yansıtılmıştır. Avrupa yakasında yaşayanların günlük olarak daha fazla atık çıkarması, kentin bu yakasındaki kentsel nüfusun kırsaldan daha fazla olması, sanayileşme ve yapılaşmanın daha çok görülmesi ve çeşitli sosyoekonomik farklılıklar gibi nedenlerle mümkündür. Hatta kişi başı atık oluşumu ilçeler arasında bile aynı faktörlere bağlı olarak değişim göstermektedir.

Daha önce de belirtildiği kentte 2001 yılından itibaren toplanan kentsel katı atığın bir bölümü Pazar ve hal atıklarıyla beraber kompostlaştırma tesisine gitmektedir. Kompostlaştırma tesisine giren kentsel katı atığın tesise giren atığın ne kadarını oluşturduğu üzerine net bir veri olmaması nedeniyle 2001 – 2016 döneminde de kişi başı KKA oluşum miktarları belirlenirken, kompostlaştırma tesisine giden KKA miktarı hesaplama dâhil edilmemiştir.

2.2.3. İstanbul’da Kentsel Katı Atığın Depolanmasından Kaynaklanan Metan (CH₄) Salımlarının Tahmini

Katı atık depolama alanlarına bırakılan bozunabilir maddeler zincirleme ve paralel tepkimeler sonucunda CO₂ ve CH₄’e dönüşmektedir; Tam model karışık olup, depolama alanındaki şartlara göre değişmektedir, bununla birlikte metan oluşumu üzerine yürütülen laboratuvar ve saha çalışmaları genel bozunma sürecinin yaklaşık olarak birinci derece kinetiğiyle değerlendirilebildiğini ileri sürmekte ve bu yaklaşım yaygın olarak kabul görmektedir (IPCC, 2006).

Tek bir yıl için katı atıkların depolanmasından kaynaklanan CH₄ salımları IPCC (2006) kılavuzunda sunulan (2.3) no.lu denklem ile hesaplanabilmektedir.

$$CH_4 \text{ Salımları} = \left[\sum_x CH_4 \text{ oluşum}_{x,T} - R_T \right] \cdot (1 - OX_T) \quad (2.3)$$

Burada:

CH₄ salımları = T yılında salınan CH₄, Gg

T = Envanter yılı

x = Atık kategorisi veya tipi

R_T = T yılında geri kazanılan CH₄, Gg

OX_T = T yılı için oksidasyon faktörü (%)

Havasız şartlarda organik maddenin bozunması sonucu açığa çıkan metanın bir kısmı katı atık depolama alanının yüzeyinden oksitlenmekte veya enerji için geri kazanılabilmekte ya da tutuşturularak (flaring) ortamdan uzaklaştırılabilmektedir. Bu

yüzden katı atık depolama alanından salınan CH₄, gerçekte oluşan miktardan az olmaktadır.

Belirli bir yılda katı atık uzaklaştırma alanına bırakılan bir atığın CH₄ oluşturma potansiyeli, takip eden on yıllar boyunca kademeli olarak azalmaktadır; oluşan bu CH₄ salımını hesaplamak için kullanılan FOD modeli, her yıl CH₄ ve CO₂'ye indirgenen parçalanabilir madde kısmını ifade eden üstel bir faktör üzerine kurulmuştur (IPCC, 2006).

Modeldeki anahtar girdilerden bir tanesi katı atık depolama alanına bırakılan atık içerisindeki parçalanabilir organik madde (DOC_m) miktarıdır; Bu değer, farklı atık kategorilerinin (kentsel katı atık, endüstriyel atık, çamur ve diğer) ve bu kategorilere dâhil olan farklı atık bileşenlerinin (gıda, kâğıt, odun, tekstil vb.) depolanma durumlarına dayanılarak veya karışık atığın içindeki ortalama DOC olarak tahmin edilebilmektedir (IPCC, 2006).

Yıllar boyunca oluşan CH₄ potansiyeli, katı atık depolama sahalarına bırakılan/atılan atık miktarına, kompozisyonuna ve bu atık sahalarındaki atık yönetimi uygulamalarına dayanarak tahmin edilebilir; hesaplamanın temelini, (2.4) no.lu denklemde ifade edildiği üzere Parçalanabilir Organik Karbon'un (DOC) Ayrıştırılabilir kısmının miktarı (DDOC_m) oluşturmaktadır ve DDOC_m, organik karbonun katı atık depolama alanının havasız koşulları altında bozunan kısmını ifade etmektedir (IPCC, 2006).

$$DDOC_m = W \cdot DOC \cdot DOC_f \cdot MCF \quad (2.4)$$

Burada:

DDOC_m = Ayrıştırılabilir DOC kütlesi, Gg

W = Depolanan atık kütlesi, Gg

DOC = Depolama yapılan yıldaki parçalanabilir organik karbon, fraksiyon, Gg C/Gg atık

DOC_f = DOC'nin ayrışabilen kısmı, fraksiyon

MCF = Depolama yapılan yıldaki oksijenli ayrışma için CH₄ düzeltme faktörü

Birinci dereceden bir tepkimede, ürün miktarı daima tepkimeye giren madde miktarı ile orantılıdır; Bu durum, atığın depolama alanında depolandığı yılın, her yıl oluşan CH₄ miktarından bağımsız olduğu anlamına gelmektedir ve mevcut durumda sadece alanda bulunan bozunabilir maddenin toplam miktarı önem taşımaktadır (IPCC, 2006). Sene başında katı atık depolama alanındaki bozunan madde miktarı bilindiği takdirde, tahmin yönteminde her sene 1 numaralı yıl olarak kabul edilebilmekte ve temel birinci derece hesaplamaları iki basit denklem (2.5 ve 2.6) ile yapılabilmektedir (IPCC, 2006).

$$DDOCma_T = DDOCmd_T + (DDOCma_{T-1} \cdot e^{-k}) \quad (2.5)$$

$$DDOCm \text{ bozunan}_T = DDOCma_{T-1} \cdot (1 - e^{-k}) \quad (2.6)$$

Burada:

T = Envanter yılı

DDOCma_T = T yılı sonunda katı atık depolama alanında biriken DDOCm, Gg

DDOCma_{T-1} = (T-1) yılı sonunda katı atık depolama alanında biriken DDOCm, Gg

DDOCmd_T = T yılında katı atık depolama alanında depolanan DDOCm, Gg

DDOCmbozunan_T = T yılında katı atık depolama alanında bozunan DDOCm, Gg

k = Tepkime sabiti $k = \ln(2) / t_{1/2}$ (yıl⁻¹)

t_{1/2} = Yarılanma ömrü (yıl)

Katı atıkların depolanma alanlarında depolanmasından kaynaklanan metan salımının hesaplanması için IPCC (3.5) ve (3.6) no.lu denklemlerden yola çıkarak FOD E-tablo Modeli'ni (FOD Spreadsheet Model) geliştirmiştir. Model 2006 Guidelines CDROM'undan kopyalanabilmekte veya IPCC NGGIP web sitesinden indirilebilmektedir.

İstanbul'da KKA'nın depolanmasından kaynaklanan metan salımlarını tahmin etmek için kullanılan *IPCC Atık Modeli*'nde yer alan e-tablo her yıl depolanan ve önceki yıllardan kalan miktarı hesaba katarak, depolama sahasındaki toplam ayrıştırılabilir DOC miktarının sürekli olarak kaydını tutmakta ve bu bilgiyi

her yıl CH_4 ve CO_2 'ye ayrılan DOC miktarını hesaplamak için kullanmaktadır (IPCC, 2006). Daha sonra DDOCm'den oluşan CH_4 miktarını hesaplamakta ve salınan CH_4 miktarını elde etmek için, saha yüzeyini örten materyalde oksitlenen ve geri kazanılan CH_4 miktarını hesapladığı değerden çıkarmaktadır (IPCC, 2006).

KKA kaynaklı salımların tahmini için bu model, mevcut faaliyet verilerine bağlı olarak uygulanabilen iki seçenek sunmaktadır: İlk seçenek, atık kompozisyonu verilerine dayanan çok fazlı bir modeldir ve KKA'daki her bir parçalanabilir atık bileşeninin (yiyecek, park ve bahçe, kağıt/karton, odun, tekstil vb.) miktarı ayrı ayrı girilmektedir, İkinci seçenek karışık atığa dayalı tek fazlı modeldir (IPCC, 2006).

Bu tez çalışmasında, İstanbul'da belirli yıllara ait KKA kompozisyonlarının mevcut olduğundan ilk seçenek uygulanmıştır. E-tablo modelinin atık kompozisyonu seçeneğinde farklı atık bileşenleri için farklı DOC değerleri ve bozunma yarı ömürleri girilebilmektedir, ayrıca bozunma yarı ömrünün tüm atık kategorileri ve/veya bileşenleri için aynı olduğunu kabul etmek de mümkündür (IPCC, 2006).

E-tablo, her bir atık bileşeninden kaynaklanan CH_4 miktarını farklı bir çalışma sayfasında hesaplamaktadır; metan düzeltme faktörü (MCF) , bölgedeki tüm atık depolama sahaları için ağırlıklı ortalama olarak girilmektedir ve son olarak, her bir atık kategorisinden ve bileşeninden kaynaklanan CH_4 miktarı toplanır, toplam CH_4 salımlarının tahmini için geri kazanılan ve örtü tabakasında oksitlenen (eğer uygulanıyorsa) CH_4 miktarları çıkarılır (IPCC, 2006).

Kentlerde oluşan sera gazı salımlarının tahmini için sunulan Topluluk Ölçekli Sera Gazı Salım Envanterleri Küresel Protokolü'nde depolama kaynaklı metan salımlarının *Metan Taahhüt Yöntemi* ile belirlenmesi önerilmektedir. Bu yöntem FOD'den farklı olarak, atığın içindeki parçalanabilir organik karbonun (DOC) uzun yıllar boyunca bozunduğunu temsil eden bir sabit içermemektedir. Bu durumda atığın depolandığı sahada geçmiş yıllarda depolanmış atıklardan kaynaklanan metan salımları ihmal edilmektedir. İstanbul'da kentsel katı atığın depolanması sonucunda ortaya çıkan metan salımlarının ulusal envanter tahminleriyle karşılaştırılabilmesi ve

tahminlerin gerçeğe yakınlığı için bu çalışmada Metan Taahhüt yöntemi kullanılmamıştır.

2.2.3.1.İstanbul'da Kentsel Katı Atığın Depolanmasından kaynaklanan Metan (CH₄) Salımlarının Tahmininde Kullanılan Faaliyet Verisi

Kente oluşan çöplerin 1953 senesine kadar denize döküldüğü (İBB, 2016) bilgisinden hareketle, İstanbul'da kentsel katı atığın depolanmasından kaynaklanan metan salımları belirlenirken, IPCC FOD E-tablo Modeli'nde başlangıç yılı 1953 olarak kabul edilmiştir.

1995 öncesinde şehirde oluşan kentsel katı atığın ne kadarlık bir bölümünün depolanarak uzaklaştırıldığına dair veri bulunmaması üzerine, 1953 – 1994 döneminde kentte oluşan kentsel katı atığın depolama oranı ulusal envanterde (2018) 1950 – 1994 dönemi için sunulan %70,6 olarak kabul edilmiştir. Geri kalan kentsel atığın bir kısmının yakma, denize dökme ve/veya gömme vb. yöntemler kullanılarak uzaklaştırıldığı varsayılmaktadır. Bu dönemde atık oluşumu ve bileşimiyle birlikte atık yönetimi konusundaki veri yetersizliğinin depolama kaynaklı metan salımlarının tahminindeki belirsizliği artıran en önemli faktör olduğu söylenebilmektedir.

1995 – 2016 yılları arsında düzenli olarak depolanan KKA miktarları (ton/yıl) (Tablo 2.8) ilgili yıllar arasındaki nüfus değerlerine bölünerek günlük depolanan kişi başı KKA miktarları (kg/kişi/gün) hesaplanmıştır 1995 – 2016 yılları arasında günlük depolanan kişi başı KKA miktarları (Tablo 2.12) incelendiğinde, özellikle 1995 ve 1996 yılı değerlerinin çok düşük olduğu görülmektedir.

1995 yılı için DİE tarafından sunulan raporda (DİE, 1995'e atfen Berkun vd.,2005) İstanbul'da oluşan kişi başı KKA miktarı 0,53 kg/kişi.gün olarak belirtilmekte, 1996 yılı ortalama değerinin ise Kanat'ın (2010) çalışmasında yer alan 1996 – 2005 yılları arasında İstanbul'da ortalama kişi başı KKA oluşumunun değişimini gösteren grafikte 0,6 kg/kişi.gün seviyesinde olduğu görülebilmektedir. Bu iki kaynakta kişi başı KKA oluşum miktarı olarak verilen değerlerin, toplanan atık miktarı üzerinden değerlendirildiği ve oluşum değil depolanan miktarı yansıttığı düşünülmektedir. Düzenli depolama değerlerinin üzerinde olan bu miktarlar 1995 ve

1996 yıllarında atığın düzensiz depolanmaya devam ettiğini göstermiş ve bu bilgi İSTAÇ tarafından doğrulanmıştır.

Tablo 2.12: İstanbul’da 1995 – 2016 yılları arasında günlük kişi başı oluşan KKA miktarları (kg/kişi.gün)

Yıl	Avrupa _{ort}	Asya _{ort}	İstanbul _{ort}	Yıl	Avrupa _{ort}	Asya _{ort}	İstanbul _{ort}
1995	0,26	0,21	0,24	2006	1,20	1,04	1,15
1996	0,53	0,56	0,54	2007	1,07	1,02	1,05
1997	0,69	0,67	0,69	2008	1,11	1,07	1,10
1998	0,79	0,74	0,77	2009	1,09	1,07	1,08
1999	0,96	0,78	0,90	2010	1,10	1,06	1,08
2000	0,96	0,81	0,91	2011	1,09	1,04	1,07
2001	0,90	0,77	0,85	2012	1,14	1,06	1,11
2002	0,90	0,76	0,85	2013	1,13	1,04	1,10
2003	0,94	0,78	0,88	2014	1,17	1,04	1,13
2004	1,05	0,90	1,00	2015	1,19	1,09	1,15
2005	1,13	0,97	1,07	2016	1,22	1,13	1,18

ort : Ortalama.

Kentin iki yakasında kentsel katı atığın depolandığı sahaların hangi yıllar arasında kullanıldığı üzerine de çeşitli kabuller yapılmıştır. Avrupa yakasında yer alan Kemerburgaz - Hasdal düzensiz depolama alanı 1977’de, Asya yakasında Ümraniye - Hekimbaşı düzensiz depolama alanı 1975’te açılmıştır (İSTAÇ, 2016).

Buna göre Avrupa yakasında kentsel katı tığın %70,6’sının 1953’ten 1976 yılına kadar Feriköy, Esenler ve Halkalı’da bulunan vahşi alanlarda; Asya yakasında ise 1953 ile 1975 yılları arasında atığın %70,6’sının Tuzla ve Kartal’da yer alan sahalarda depolandığı kabul edilmiştir.

28 Nisan 1993 tarihinde Ümraniye çöplüğünde metan sıkışması nedeniyle gerçekleşen patlamanın atık yönetimi ve sahada oluşan sera gazları üzerinde yarattığı etkinin bilinmemesi yüzünden bu durum çalışma dışında bırakılmıştır.

Bununla birlikte geçmiş dönemlerde kentin toplam nüfusunun yüzde kaçına atık hizmeti verildiğine dair verinin bulunmaması nedeniyle, yapılan hesaplamalar kentin tüm nüfusunu kapsamaktadır.

İstanbul’da oluşan kentsel katı atığın bileşimine dair farklı kişi ve kurumlar tarafından yürütülmüş 1978, 1984, 1985, 1993, 1999, 2005, 2006, 2007, 2009 ve 2010 tarihli çalışmalar (Şekil 2.3), 1953 – 2016 yılları arasında oluşan kentsel katı atığın bileşimini yansıtacak şekilde kullanılmaya çalışılmıştır (Tablo 2.13).

Tablo 2.13: İstanbul 1953 – 2016 KKA Karakterizasyonu

Çalışma yılı	Temsil ettiği dönem
1978	1953 - 1980
1984	1981 - 1984
1985	1985 - 1989
1993	1990 - 1994
1999	1995 - 1999
2005	2000 - 2005
2006	2006
2007	2007
2007 ve 2009’un ortalaması	2008
2009	2009
2010	2010 - 2016

Depolama kaynaklı metan salımları belirlenirken, kullanılan KKA kompozisyonu depolama yöntemiyle uzaklaştırılan atığın içeriğini yansıtmalıdır. Bu çalışmada kullanılan atık kompozisyonlarının depolanan KKA bileşimini temsil ettiği kabul edilmiştir.

2.2.3.2.İstanbul’da KKA Depolanmasından Kaynaklanan CH₄ Salımlarının Tahmininde Kullanılan Emisyon Faktörleri ve Parametreler

KKA’nın depolanması sonucunda atmosfere salınan metan emisyonlarının tahmini için IPCC Atık Modeli’nin denklemlerinde kullanılan emisyon faktörleri ve parametreler, bu faktör ve parametrelerin seçimini etkileyen verilerin İstanbul için mevcut olup olmadığı dikkate alınarak belirlenmiştir. Bazı faktör ve parametreler İstanbul’a özgü olarak seçilirken, bazıları kılavuzda (2006) sunulan varsayılan (default) değerler olarak alınmıştır.

a) Parçalanabilir Organik Karbon (DOC)

Kentsel katı atıkta bulunan parçalanabilir organik karbonun çoğunu gıda, kâğıt/karton, odun, park ve bahçe, tekstil, çocuk bezi bileşenleri içermektedir; kül, toz, kauçuk ve deri de belli miktarlarda fosil olmayan karbon içerir ancak bu karbon türü güçlükle parçalanabilen bir yapıdadır (IPCC, 2006).

Tablo 2.14: Farklı KKA bileşenleri için DOC değerleri

KKA Bileşeni	Yaş Atığın DOC İçeriği (%)		Kuru Atığın DOC İçeriği (%)	
	Varsayılan	Aralık	Varsayılan	Aralık
Kağıt/Karton	40	36 – 45	44	40 – 50
Tekstil	24	20 – 40	30	25 – 50
Gıda	15	8 – 20	38	20 – 50
Odun	43	39 – 46	50	46 – 54
Park/Bahçe	20	18 – 22	40	45 – 55
Çocuk Bezi	24	18 – 32	60	44 – 80
Kauçuk ve Deri	(39)	(39)	(47)	(47)
Plastik	-	-	-	-
Metal	-	-	-	-
Cam	-	-	-	-
Diğer, İnert Atık	-	-	-	-

Kaynak: IPCC, 2006.

Çalışmada İstanbul’da oluşan ve depolanan KKA bileşenlerinin parçalanabilir karbon içerikleri (DOC’leri) olarak, kılavuzda (2006) yaş atık için verilen varsayılan değerler (Tablo 2.14) seçilmiştir.

b) Parçalanabilir Organik Karbonun Ayrışabilen Fraksiyonu (DOC_f)

Parçalanabilir organik karbonun ayrışabilen kısmı (DOC_f) karbonun katı atık depolama sahalarında en nihayetinde bozulan ve salınan kısmının bir tahminidir ve bir miktar parçalanabilir organik karbonun sahadaki havasız şartlar altında bozunmadığı veya çok yavaş bozunduğu gerçeğini yansıtmaktadır (IPCC, 2006). İstanbul’da depolanan KKA’nın DOC_f değeri, kılavuzda (2006) kullanılması önerilen 0,5 olarak alınmıştır.

c) Metan Düzeltme Faktörü (MCF)

CH₄ düzeltme faktörü (MCF), belirli bir atığın düzensiz bir depolama sahasında depolanmasının, düzenli bir sahadakine göre daha az CH₄ oluşturduğunu göz önünde bulundurur çünkü düzensiz bir sahada atıkların büyük bir bölümü üst katmanda aerobik olarak ayrışmaktadır; MCF katı atık yönetimine ilişkin olarak o alana özeldir ve kapsadığı yönetim anlayışını yansıtan atık yönetimi düzeltme faktörü olarak yorumlanmalıdır (IPCC, 2006).

Tablo 2.15: Katı atık depolama sahaları sınıflandırması ve Metan düzeltme faktörleri (MCF)

Saha Tipi	Varsayılan MCF Değerleri
Düzenli – anaerobik	1,0
Düzenli – yarı aerobik	0,5
Düzensiz – derin (>5 m atık) ve/veya yüksek su tablası	0,8
Düzensiz – sığ (<5 m atık)	0,4
Kategorize edilmemiş depolama alanı	0,6

Kaynak: IPCC, 2006.

Metan düzeltme faktörü, depolama sahasının fiziksel şartlarının metan oluşumu üzerindeki etkisini gösteren bir değerdir. İstanbul’da kentsel katı atığın kara üzerinde depolandığı yıllar boyunca kullanılan alanlar için metan düzeltme faktörleri Kılavuzda (2006) sunulan sınıflandırmaya (Tablo 2.15) göre belirlenmiştir (Tablo 2.16).

Kartal – Yakacık, Şişli – Feriköy, Tuzla – Aydınlı, Esenler – Habipler, Küçükçekmece – Halkalı mevkillerinde yer alan alanların düzensiz (vahşi) depolama sahası oldukları bilinmekle beraber saha derinliklerine ait bilgiye ulaşılamaması nedeniyle bu alanlar için, IPCC kılavuzunda kategorize edilmemiş sahalar için verilen 0,6 değeri metan düzeltme faktörü olarak kullanılmıştır. Hasdal ve Ümraniye çöplüklerinin derin düzensiz; Odayeri, Kömürcüoda ve Seymen sahalarının ise anaerobik düzenli sahalar olduğu bilgisi İSTAÇ’tan alınmıştır.

Tablo 2.16: İstanbul’da yer alan KKA depolama alanları için seçilen MCF değerleri

Depolama Alanı	Saha Tipi	MCF değeri
Kartal - Yakacık	Kategorize edilmemiş	0,6
Şişli - Feriköy	Kategorize edilmemiş	0,6
Tuzla - Aydınli	Kategorize edilmemiş	0,6
Esenler - Habipler	Kategorize edilmemiş	0,6
Küçükçekmece - Halkalı	Kategorize edilmemiş	0,6
Ümraniye - Hekimbaşı	Düzensiz (derin)	0,8
Kemerburgaz - Hasdal	Düzensiz (derin)	0,8
Odayeri	Düzenli (anaerobik)	1
Kömürcüoda	Düzenli (anaerobik)	1
Seymen	Düzenli (anaerobik)	1

d) Oluşan Depo Gazındaki CH_4 Fraksiyonu (F)

İstanbul’da kentsel katı atığın depolandığı alanlarda açığa çıkan depo gazındaki metan fraksiyonu IPCC kılavuzunun (2006) önerdiği 0,5 olarak kabul edilmiştir.

e) Oksidasyon Faktörü (OX)

Oksidasyon faktörü (OX) katı atık depolama sahalarında atığın üzerini örten toprak veya diğer materyallerde oksitlenen CH_4 miktarını yansıtmaktadır; oksidasyon faktörü için kılavuzda (2006) sunulan varsayılan değer sıfır iken örtülü, düzenli katı atık depolama sahaları için oksidasyon değeri 0,1 olarak alınabilmektedir.

İstanbul’da KKA’nın depolandığı düzensiz ve kategorize edilmemiş alanlar için oksidasyon faktörü kılavuzda öngörülen şekilde 0; düzenli alanlar içinse, bu alanlarda toprağın üst örtü olarak kullanılması nedeniyle (İSTAÇ, 2016), 0,1 değeri olarak kabul edilmiştir.. Ancak bu çalışmada geri kazanım verilerinin mevcut olmaması nedeniyle, düzenli sahalar için geçerli olan oksidasyon değeri kullanılmamış ve net salım miktarları hesaplanamamış, brüt metan salımları dikkate alınmıştır. Geri kazanılan metan miktarlarının elde edilmesi halinde brüt değerlerden geri kazanım değerleri çıkarılıp, bu sonuç 0,1 değeri ile çarpılarak düzenli sahalarla açığa çıkan net metan salımı belirlenebilecektir.

f) Yarılanma Ömrü ($t_{1/2}$) ve Metan Oluşum Hızı Sabiti (k)

Yarılanma ömrü değeri, $t_{1/2}$ atıktaki parçalanabilir organik karbon miktarının (DOCm) ilk kütlenin yarısına kadar çürümesi için geçen süreyi ifade etmektedir (IPCC, 2006). FOD modelinde ve IPCC kılavuzunun (2006) sunduğu denklemlerde k , reaksiyon sabiti kullanılmaktadır. k ve $t_{1/2}$ arasındaki ilişki: $k = \ln(2)/t_{1/2}$ şeklindedir. Yarılanma ömrü, atık kompozisyonu, sahanın bulunduğu alandaki iklim koşulları, saha özellikleri, atık uzaklaştırma uygulamaları ve bunun gibi çok çeşitli faktörlerden etkilenmektedir (Pelt vd, 1998; Environment Canada, 2003'e atfen IPCC, 2006). Kılavuzda (2006) herhangi bir saha için geçerli yarılanma ömrü değerinin, atık kompozisyonu ve sahadaki koşullarla ilişkili çok sayıda faktör tarafından belirlendiği belirtilmektedir.

Atık bileşenlerinin yarılanma ömürlerine bağlı olan metan oluşum hızı sabiti (k) aynı zamanda atığın depolandığı alanda hâkim hava şartlarından da etkilenmektedir. Depolama alanlarında açığa çıkan metan salımlarının tahmininde önemli bir faktör olan k değerinin kılavuzda (2006) verilen değerler arasından seçilebilmesi için depolama alanındaki yıllık ortalama sıcaklık (MAT), yıllık ortalama yağış (MAP) ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yıllık ortalama sıcaklık değeri alanın boreal ve ılıman bir coğrafyada mı yoksa tropikal bir bölgede mi bulunduğunu belirlerken, MAP/PET oranı ise alanın nemli (>1) ya da kurak (<1) bir iklime sahip olduğunu göstermektedir.

İstanbul'da 1953'ten bugüne kadar kullanılmış ve kullanılmakta olan depolama sahalarındaki iklim koşullarının belirlenmesi için bu sahalara yakın mesafelerde bulunan bazı noktaların (Bahçeköy, Florya, Göztepe, Şile) meteorolojik veriler (Tablo 2.4, 2.5, 2.6, 2.7) kullanılmıştır (Şekil 2.6).

Şekil 2.6: İstanbul’da depolama sahaları ve meteorolojik veri noktalarının konumu



Kentte 1953 – 2016 yılları arasında kentsel katı atığın depolandığı her bir depolama sahası için belirlenen iklim şartlarına (Tablo 2.17) göre, bu alanlarda depolanan KKA için IPCC (2006) kılavuzundan uygun metan oluşum hızı sabitleri seçilmiştir (Tablo 2.18).

Meteorolojik bulgulardan hareketle depolama alanlarının konumu incelendiğinde, Karadeniz’e daha yakın sahalarda nemli hava şartlarının, kentin daha güneyinde kalan (Marmara Denizi’ne daha yakın) alanlarda ise kuru koşulların geçerli olduğu anlaşılmaktadır.

Tablo 2.17: İstanbul’da KKA depolama alanlarındaki iklim şartları

	MAP/PET	Saha	
Bahçeköy	1,6: >1	Odayeri, Hasdal	Nemli
Florya	0,74 – 0,68: <1	Feriköy, Halkalı, Esenler, Seymen	Kurak
Göztepe	0,9 – 0,8: <1	Hekimbaşı, Aydınli, Yakacık	Kurak
Şile	1,1>1	Kömürcüoda	Nemli

Tablo 2.18: KKA bileşenleri için iklim koşullarına göre metan oluşum hızı sabitleri

Atık Bileşeni	Metan oluşum hızı sabiti (k) (yıl-1)	
	Boreal ve Ilıman (MAT $\leq 20^{\circ}\text{C}$)	
	Nemli (MAP/PET > 1)	Kurak (MAP/PET < 1)
Gıda	0,185	0,06
Bahçe	0,1	0,05
Kâğıt	0,06	0,04
Odun ve saman	0,03	0,02
Tekstil	0,06	0,04
Çocuk bezi	0,1	0,05

Kaynak: IPCC, 2006.

g) Metan Geri Kazanımı(R)

Kılavuzda (2006) metan geri kazanımının yalnızca geri kazanılan CH₄ miktarını belgeleyen referanslar olması halinde rapor edilmesi gerektiği belirtilmektedir. İstanbul'da depo gazından elektrik üretimi (Tablo 2.10) yapılan tesislerde yıllık geri kazanılan metan miktarı verisi, bilginin ticari sır olduğu gerekçesiyle paylaşılmamaktadır. Geri kazanımın uygulanmaya başladığı yıllardan bu yana kullanılan sistem hakkında da yeterli bilgiye ulaşılamaması nedeniyle bu çalışmada geri kazanılan metan miktarları çalışmaya dâhil edilmemiş ve brüt metan salımları değerlendirilmiştir.

h) Gecikme Süresi

Çoğu atık depolama sahasında atıklar yıl boyunca sürekli, genellikle günlük olarak depolanmaktadır; bununla birlikte, atığın sahaya bırakılmasından hemen sonra CH₄ oluşumunun başlamadığına dair kanıtlar bulunmaktadır (IPCC, 2006).

Atık depolama alanına bırakıldıktan sonra, İlk başta, ayrışma aerobiktir ve bu durum, mevcut oksijen tükenene kadar birkaç hafta sürebilmektedir, bunu hidrojen oluşumu ile asidifikasyon aşaması takip etmektedir, asidifikasyon aşamasının çoğu kez birkaç ay sürdüğü söylenmektedir; asidik koşullardan nötr koşullara geçiş dönemi sonrasında, CH₄ oluşumu başlamaktadır (IPCC, 2006).

Atığın depolanması ile CH_4 oluşumu arasındaki süreç kimyasal olarak karmaşık olup mikrobik reaksiyonlar içermektedir, gecikme süresinin tahmini belirsizdir ve büyük bir olasılıkla atık kompozisyonu ve iklim koşullarına göre değişmektedir (IPCC, 2006). İstanbul'da kentsel katı atığın depolanmasından kaynaklanan metan salımları belirlenirken, gecikme süresi 6 ay olarak alınmıştır. Bu değer kılavuzun (2006) gecikme süresi için sunduğu varsayılan değerdir.

2.2.3.3. Atık Depolama Kaynaklı CH_4 Salımlarının Tahminindeki Belirsizliklerin Değerlendirilmesi

İstanbul'da kentsel katı atığın depolanmasından kaynaklanan metan salımlarının hesaplanmasında ortaya çıkan belirsizliklere dair IPCC (2006) kılavuzunda önerilen ve bu çalışmada dikkate alınan değerler Tablo 2.19'da özetlenmiştir.

Tablo 2.19: İstanbul'da KKA'nın depolanmasından kaynaklanan CH_4 salımlarının hesaplanmasındaki belirsizlikler

Faaliyet verisi ve emisyon faktörleri	Belirsizlik
Toplam Kentsel Katı Atık (MSW_T)	%30
KKA'nın depolama alanına gönderilen kısmı (MSW_F)	$\pm\% 30$
Atık kompozisyonunun toplam belirsizliği	$\pm\% 30$
Parçalanabilir organik karbon (DOC)	$\pm\% 20$
Parçalanabilir organik karbonun ayrışan kısmı (DOC_f),	$\pm\% 20$
Metan düzeltme faktörü (MCF)	
= 1,0	+0%
= 0,8	$\pm 20\%$
= 0,5	$\pm 20\%$
= 0,4	$\pm 30\%$
= 0,6	+60%
Depo gazındaki metan fraksiyonu (F) = 0,5	$\pm 5\%$
Metan geri kazanımı (R)	-
Oksidasyon faktörü (OX)	
= 0,1	$\pm 10\%$

2.2.4. İstanbul'da KKA'nın Kompostlaştırılmasından Kaynaklanan Sera Gazı Salımlarının Tahmini

Kompostlaştırma atık içeriğindeki parçalanabilir organik karbonun (DOC) büyük bir kısmını karbondioksit (CO_2) haline dönüştüren anaerobik bir süreçtir ve

CH₄ kompostun anaerobik bölümlerinde oluşmakta ancak kompostun aerobik bölümlerinde büyük oranda oksitlenmektedir (IPCC, 2006). Atmosfere salınan tahmini CH₄, materyaldeki başlangıç karbon içeriğinin %1'inden birkaç yüzdesine kadar bir aralıktan az olacak biçimde değişim göstermektedir (Beck-Friis, 2001; Detzel et al., 2003; Arnold, 2005'e atfen IPCC, 2006).

Kompostlaştırma ayrıca N₂O salımları oluşturmaktadır; tahmini salım aralığı, materyalin başlangıçtaki azot içeriğinin yüzde 0,5'i ile %5'i arasındaki bir değerden az olacak şekilde değişmektedir (Petersen vd., 1998; Hellebrand, 1998; Vesterinen, 1996; Beck-Friis, 2001; Detzel vd., 2003'e atfen IPCC, 2006). Zayıf işleyen kompostlaştırma süreçlerinin daha fazla CH₄ ve N₂O oluşturmaları muhtemel bir durumdur (Vesterinen, 1996'ya atfen IPCC, 2006).

İstanbul'da 2001 yılından beri toplanan kentsel katı atığın bir bölümüyle pazar ve hal atıklarının Kemerburgaz'da bulunan açık kompostlaştırma tesisinde işlenmesinden kaynaklanan metan ve nitroz oksit salımları (2.7) ve (2.8) no.lu denklemler kullanılarak belirlenmiştir.

$$CH_4 \text{ Salımları} = \sum_i (M_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-3} \quad (2.7)$$

Burada:

CH₄ Salımları = Envanter yılında oluşan toplam CH₄ salımları, Gg CH₄/yıl

M = Kompostlaştırma yoluyla işlenen organik atık kütlesi, Gg

EF = Emisyon faktörü, g CH₄ / kg işlenen atık

$$N_2O \text{ Salımları} = \sum_i (M_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-3} \quad (2.8)$$

Burada:

N₂O Salımları = Envanter yılında oluşan toplam N₂O salımları, Gg N₂O/yıl

M = Kompostlaştırılan organik atık kütlesi, Gg

EF = Emisyon faktörü, g N₂O / kg işlenen atık

2.2.4.1.İstanbul'da Kompostlaştırma kaynaklı Sera Gazı salımlarının Tahmininde Kullanılan Faaliyet Verisi

2001 – 2016 yılları arasında kompostlaştırma tesisine giren KKA, pazar ve hal atıklarından plastik, cam vb. geri kazanılabilir materyaller ayrıldıktan sonra, kalan organik kısım işlenerek kompost haline gelmektedir (Tablo 2.9). (2.7) ve (2.8) no.lu denklemlerde kullanılacak atık miktarının tesise giren değil, biyolojik işleme giren miktar olmasına dikkat edilmelidir.

2.2.4.2.İstanbul'da Kompostlaştırma Kaynaklı Sera Gazı Salımlarının Tahmininde Kullanılan Emisyon Faktörleri

Kompostlaştırma kaynaklı metan salımlarının tahmininde IPCC (2006) kılavuzunda verilen (ıslak ağırlık bazında) 4 g CH₄ / kg işlenen atık değeri emisyon faktörü olarak kullanılmıştır. Nitröz oksit salımları için ise Yine kılavuzda (2006) (ıslak ağırlık bazında) 0,24 g N₂O / kg işlenen atık varsayılan değeri emisyon faktörü olarak kabul edilmiştir.

2.2.4.3.İstanbul'da Kompostlaştırma Kaynaklı Sera Gazı Salımlarının Tahmininde Orta Çıkan Belirsizliklerin Değerlendirilmesi

İstanbul'da kompostlaştırılmasından kaynaklanan metan ve nitröz oksit salımlarının tahmininde, faaliyet verisi kaynaklı belirsizliğin %10 (IPCC, 2006), emisyon faktörlerinden kaynaklanan belirsizliğin ise %20 (TÜİK, 2018) seviyesinde olduğu varsayılmıştır.

2.2.5. İstanbul'da Kentsel Katı Atığın Açıkta Yakılması Sonucu Açığa Çıkan Sera Gazı Salımlarının Tahmini

İstanbul'da oluşan kentsel katı atığın uzaklaştırılması amacıyla geçmişte uygulanmış yöntemlerden bir diğeri bu atık kategorisinin çöplüklerde açıkta (açık havada) yakılmasıdır. Canlı yaşamı, çevre ve iklim üzerinde yarattığı olumsuz etkiler

sebebiyle günümüzde iyi bir atık yönetimi uygulaması olarak görülmeyen açıkta yakma şu anda İstanbul'da uygulanmamaktadır.

TÜİK tarafından 1991 yılı için yayınlanmış olan Çevre İstatistikleri Raporu İstanbul'da 1990'lı yıllarda kentsel katı atığın çöplüklerde açıkta yakıldığına dair bilgi barındıran tek resmi kaynak olarak bu çalışma kapsamında dikkate alınmıştır. 1990 – 1994 yılları arasında kentsel katı atığın, ulusal envanterde (TÜİK, 2018) Türkiye için sunulan %1,89 oranında yakıldığı kabul edilmiştir. Bununla birlikte 1990 öncesi kentsel katı atığın açıkta yakılıyor olması oldukça muhtemeldir fakat envanterin başlangıç yılının 1990 olması sebebiyle bu dönem hesaba katılmamıştır.

1994 sonrası açıkta yakma uygulamasına son verildiği varsayılan kentte mevcut durumda kentsel katı atığın yakıldığı bir tesis de bulunmamaktadır.

Yine IPCC (2006) kılavuzunda sunulan metodolojiler kullanılarak İstanbul'da 1990 – 1994 yılları arasında KKA'nın açıkta yakılmasıyla ortaya çıkan CO₂, CH₄ ve N₂O salımları belirlenmiştir.

Açıkta yakma kaynaklı sera gazı salımlarının hesaplanması için genel yaklaşım açıkta yakılan atığın (tercihen atık türüne göre ayrılmış) kuru ağırlık miktarının elde edilmesi ve ilgili sera gazı emisyon faktörlerinin (tercihen karbon içeriği ve fosil karbon fraksiyonu üzerine alana özgü bilgiler) araştırılmasıdır (IPCC, 2006).

2.2.5.1.KKA'nın Açıkta Yakılmasından Kaynaklanan Sera Gazı Salımlarının Tahmininde Kullanılan Faaliyet Verisi

Atıkların açıkta yakılması bağlamında ihtiyaç duyulan faaliyet verisi açıkta yakılan atık miktarı, ilgili atık kompozisyonu ve kuru madde içeriğini kapsamaktadır (IPCC, 2006).

2.2.5.1.1. İstanbul'da Açıkta yakılan KKA Miktarının Belirlenmesi

Açıkta yakılan atık miktarı, açıkta yakma kaynaklı emisyonların hesaplanması için gerekli olan en önemli faaliyet verisidir (IPCC, 2006).

İstanbul’da 1990 – 1994 arasında açıkta yakılan KKA miktarı (2.9) no.lu denklem (IPCC, 2006) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$MSW_B = P \cdot P_{frac} \cdot MSW_P \cdot B_{frac} \cdot 365 \cdot 10^{-6} \quad (2.9)$$

Burada:

MSW_B = Açıkta yakılan toplam KKA miktarı, Gg/yıl

P = Nüfus (kişi)

P_{frac} = Atığı açıkta yakılan nüfus fraksiyonu, (fraksiyon)

MSW_P = Kişi başı KKA oluşumu, kg atık/kişi/gün

B_{frac} = İşlenen toplam atık miktarına kıyasla yakılan atık fraksiyonu (fraksiyon)

365 = Yıl içindeki gün sayısı

10^{-6} = Kilogramdan Gigagrama dönüşüm faktörü

İstanbul’da atığı açıkta yakılan nüfus fraksiyonu (P_{frac}) hesap yapılan yıllar için %100, açıkta yakılan atık fraksiyonu (B_{frac}) %1,89 olarak alınmıştır. Daha önce belirlenen kişi başı KKA miktarı (kg/kişi.gün) ile bu değerler ve denklemdeki diğer faktörler (nüfus, yıl içindeki gün sayısı, kg-Gg dönüşüm faktörü) çarpılarak 1990 – 1994 yılları arasında yıllık olarak açıkta yakılan KKA miktarları belirlenmiştir.

2.2.5.1.2. İstanbul’da Açıkta Yakılan KKA’nın Kuru Madde İçeriğinin Belirlenmesi

Atığın açıkta yakılmasından kaynaklanan CO_2 , CH_4 ve N_2O salımlarının tahmini için açıkta yakılan KKA miktarı belirlendikten sonra, belirlenen bu miktardaki kuru madde içeriğinin hesaplanması gerekmektedir. Çünkü atığın su içeriği atığın yanması sonucu sera gazlarının oluşumunda önemli olabilmektedir (IPCC, 2006). KKA’nın kuru madde içeriği, (2.10) no.lu denklemde belirtildiği üzere KKA bileşeninin (gıda, kağıt, vb.) fraksiyonu (atık içindeki yüzdesi) ile bileşenin kuru madde içeriğinin çarpılması ile belirlenmektedir.

$$dm = \sum_i W F_i \cdot dm_i \quad (2.10)$$

Burada.

dm = Kentsel katı atığın toplam kuru madde içeriği

WF_i = KKA bileşeninin fraksiyonu

dm_i = i bileşeninin kuru madde içeriği

i = KKA bileşeni

Bu denklemde İstanbul'da 1990 – 1994 yılları arasındaki KKA bileşen yüzdeleri ile, IPCC (2006) kılavuzunda sunulan KKA bileşenlerinin varsayılan kuru madde içeriği değerleri (Tablo 2.20) kullanılmıştır.

Tablo 2.20: Farklı KKA Bileşenlerinin Varsayılan Kuru Madde İçerikleri (%)

KKA Bileşeni	Köken	Yaş Ağırlığının Kuru Madde İçeriği (%) Varsayılan (Default)
Kâğıt/Karton	Biyojenik	90
Tekstil	Biyojenik olmayan	80
Gıda Atığı	Biyojenik	40
Tahta	Biyojenik olmayan	85
Park ve Bahçe	Biyojenik olmayan	40
Çocuk Bezi	Biyojenik olmayan	40
Kauçuk ve Deri	Biyojenik olmayan	84
Plastik	Biyojenik olmayan	100
Metal	Biyojenik olmayan	100
Cam	Biyojenik olmayan	100
Diğer, İnert	Biyojenik olmayan	90

Kaynak: IPCC, 2006.

2.2.5.2.İstanbul'da KKA'nın Açıkta Yakılmasından Kaynaklanan CO₂ Salımlarının Tahmini

Atığın açıkta yakılmasından kaynaklanan CO₂ salımlarını hesaplamak için yaygın yöntem yanan atıktaki fosil karbon içeriğinin tahmini, bu tahminin oksidasyon faktörü ile çarpımı ve sonucun (oksitlenmiş fosil karbon miktarı) CO₂'ye dönüştürülmesine dayanmaktadır (IPCC, 2006).

Kılavuzda (2006) açıkta yakma kaynaklı CO₂ salımlarının tahmini için yakılan toplam atık miktarını veya KKA kompozisyonunu temel alan iki basit

denklem bulunmaktadır. İstanbul’da açıkta yakma kaynaklı CO₂ salımları KKA kompozisyonunu temel alan (2.11) no.lu denklem kullanılarak belirlenmiştir.

$$CO_2 \text{ Salımları} = MSW \cdot \sum_j (WF_j \cdot dm_j \cdot CF_j \cdot FCF_j \cdot OF_j) \cdot 44/12 \quad (2.11)$$

Burada:

CO₂ Salımları = Envanter yılındaki CO₂ salımları, Gg/yıl

MSW = Islak ağırlık olarak yakılan toplam kentsel katı atık miktarı, Gg/yıl

WF_j = Islak atıktaki j bileşenin atıktaki fraksiyonu

dm_j = Yakılan KKA’daki j bileşenin kuru madde içeriği

CF_j = Kuru maddedeki karbon fraksiyonu

FCF_j = j bileşenindeki toplam karbonun fosil karbon fraksiyonu

OF_j = Oksidasyon faktörü

44/12 = C’den CO₂’ye dönüştürme faktörü

j = Yakılan KKA bileşeni

$\sum_j WF_j = 1$

2.2.5.2.1. İstanbul’da KKA’nın Açıkta Yakılmasından Kaynaklanan CO₂ Salımlarının Tahmininde Kullanılan Emisyon Faktörleri

Kılavuzda (2006) CO₂ konsantrasyonunun ölçülmesi yerine atıktaki karbon içeriğine dayalı hesaplamalar kullanılarak açıkta yakma kaynaklı CO₂ salımlarının tahmin edilmesinin genellikle daha pratik olduğu belirtilmektedir. İstanbul için emisyon faktörleri kılavuzda önerilen biçimde belirlenmeye çalışılmıştır.

a) Toplam Karbon İçeriği

Açıkta veya tam yakılan karbonun bir kısmı biyokütle hammaddelerinden (Örneğin Kâğıt, gıda atığı) üretilirken, toplam karbonun bir bölümü plastikler ya da fosil yakıttan üretilen diğer ürünlerden gelmektedir (IPCC, 2006).

İstanbul’da yakılan KKA’nın toplam karbon içeriği, (2.12) no.lu denklem ile belirlenmiştir.

$$CF = \sum_i WF_i \cdot CF_i \quad (2.12)$$

Burada:

CF = Kentsel katı atın toplam karbon içeriği

WF_i = KKA'nın i bileşeninin fraksiyonu

CF_i = i türü/bileşeninin karbon içeriği

Denklemin bir değişkeni olan KKA bileşeninin karbon içeriği olarak IPCC (2006) kılavuzunda verilen varsayılan değerler (Tablo 2.21) kullanılmıştır.

Tablo 2.21: KKA Bileşenlerinin Toplam Karbon İçeriği (%)

KKA Bileşeni	Kuru Ağırlığın Toplam Karbon İçeriği (%)	
	Varsayılan (Default)	Aralık
Kağıt/Karton	46	42 – 50
Tekstil	50	25 – 50
Gıda	38	20 – 50
Odun	50	46 – 54
Park ve Bahçe	49	45 – 55
Çocuk Bezi	70	54 – 90
Kauçuk ve Deri	67	67
Plastik	75	67 – 85
Metal	NA	NA
Cam	NA	NA
Diğer, İnert Atık	3	0 – 5

Kaynak: IPCC, 2006.

b) Fosil Karbon Fraksiyonu

Açıkta yakma kaynaklı salımların tahmininde, geçerli yaklaşım atıktaki karbonu biyokütle ve fosil yakıt bazlı fraksiyonlara ayırmaktır; atığın açıkta yakılmasından kaynaklanan insan kaynaklı CO₂ salımlarının hesaplanması amacıyla atıktaki fosil karbon miktarı belirlenmelidir, fosil karbon fraksiyonu farklı atık kategorileri ve atık türleri için farklı olmaktadır (IPCC, 2006).

İstanbul'da yakılan KKA bileşenlerinin fosil karbon fraksiyonu, (2.13) no.lu denklemde kılavuzun sunduğu varsayılan değerler (Tablo 2.22) ve KKA bileşenlerinin yüzdesi kullanılarak belirlenmiştir.

$$FCF = \sum_i WF_i \cdot FCF_i \quad (2.13)$$

Burada:

FCF = KKA'daki toplam fosil karbon fraksiyonu

WF_i = KKA'nın i bileşeninin fraksiyonu

FCF_i = KKA'nın i bileşeninin fosil karbon fraksiyonu

Tablo 2.22: Farklı KKA Bileşenlerinin Fosil karbon fraksiyonu (%)

KKA Bileşeni	Toplam Karbonun Fosil Karbon Fraksiyonu (%)	
	Varsayılan (Default)	Aralık
Kâğıt/Karton	1	0 – 5
Tekstil	20	0 – 50
Gıda	-	-
Tahta	-	-
Park ve Bahçe	0	0
Çocuk Bezi	10	10
Kauçuk ve Deri	20	20
Plastik	100	95 – 100
Metal	NA	NA
Cam	NA	NA
Diğer, İnert Atık	100	50 - 100

Kaynak: IPCC, 2006.

c) Oksidasyon Faktörü

İstanbul'da açıkta yakılan KKA için oksidasyon faktörü IPCC (2006) kılavuzunda verilen %58 olarak alınmıştır.

2.2.5.3.İstanbul'da KKA'nın Açıkta Yakılmasından Kaynaklanan CH₄ Salımlarının Tahmini

Açıkta ve/veya tam yakma kaynaklı CH₄ salımları tamamlanmamış bir yanma prosesinin sonucudur; metan salımları özellikle atığın içerdiği karbonun büyük bir bölümünün okside olmadığı açıkta yakma ile ilgilidir, büyük ve iyi işletilen yakma fırınlarında genellikle çok küçük miktarda CH₄ salımı oluşmaktadır (IPCC, 2006).

İstanbul’da açıkta yakma kaynaklı CH₄ salımları açıkta yakılan KKA miktarına ve ilgili emisyon faktörüne dayanan (2.14) no.lu denklem (IPCC, 2006) aracılığıyla belirlenmiştir.

$$CH_4 \text{ Salımları} = \sum_i (IW_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-6} \quad (2.14)$$

Burada:

CH₄ Salımları = Envanter yılındaki CH₄ Salımları, Gg/yıl

IW_i = Yakılan katı atık türü

EF_i = Toplam CH₄ emisyon faktörü, kg CH₄ Gg/atık

10⁻⁶ = Kilogramdan gigagrama çevirme faktörü

i = Atık türü (KKA, EKA, tehlikeli atık, atık çamuru, tıbbi atık gibi)

IPCC kılavuzunda (2006) verilen 6500 g/ton (ıslak) atık değeri açıkta yakma kaynaklı CH₄ salımları tahmin edilirken gerekli emisyon faktörü olarak kullanılmıştır.

2.2.5.4.İstanbul’da KKA’nın Açıkta Yakılmasından Kaynaklanan N₂O Salımlarının Tahmini

Kılavuzda (2006) nitroz oksit 500 ila 950 ° C arasındaki nispeten düşük yanma sıcaklıklarında gerçekleşen yanma işlemlerinde açığa çıktığı, yanan atık türünün ve azot içeriğinin N₂O salımlarını etkileyen faktörlerden bazıları olduğu belirtilmektedir. İstanbul’da yanan KKA’nın meydana getirdiği nitroz oksit salımları (2.15) no.lu denklem (IPCC, 2006) ile hesaplanmıştır.

$$N_2O \text{ Salımları} = \sum_i (IW_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-6} \quad (2.15)$$

Burada:

N₂O Emisyonları = Envanter yılındaki N₂O salımları, Gg/yıl

IW_i = Açıkta veya tam yakılan i atığının miktarı, Gg/yıl

EF_i = Yakılan i atığı için N₂O emisyon faktörü, kg N₂O Gg/atık

10^{-6} = Kilogramdan gigagrama çevirme faktörü

i = Atık türü (KKA, EKA, tehlikeli atık, atık çamuru, tıbbi atık gibi)

İstanbul'da açıkta yakılan KKA için N₂O emisyon faktörü kılavuzda (2006) belirtildiği şekilde 150 g/ton (kuru) atık olarak alınmıştır. Bu noktada atığın kuru içeriğinin hesaba katılması gerektiğine dikkat edilmelidir.

2.2.5.5.İstanbul'da Açıkta Yakılan KKA Kaynaklı Sera Gazı Salımlarının Tahmininde Oluşan Belirsizliklerin Değerlendirilmesi

Açıkta yakma kaynaklı sera gazı salımlarının tahmininde faaliyet verisine bağlı belirsizlik $\pm 50\%$ (IPCC, 2006), CO₂ emisyon faktörlerine bağlı belirsizliğin kılavuzda (2006) önerilen $\pm 40\%$ seviyesinde, CH₄ ve N₂O emisyon faktörleri için ise $\pm 100\%$ seviyesinde olduğu kabul edilmiştir.

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

İSTANBUL'DA KENTSEL KATI ATIK KAYNAKLI SERA GAZI SALIMLARI

1990 – 2016 arasında İstanbul'un KKA salımları (Tablo 3.1) incelendiğinde,

Tablo 3.1: 1990 – 2016 İstanbul'da KKA kaynaklı oluşan toplam sera gazı salımları (ktCO₂e/yıl)

Yıl	Depolama	Kompostlaştırma		Açıkta yakma			Toplam
	CH ₄	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
ktCO ₂ e/yıl							
1990	974,5	-	-	8,8	8,3	1,6	993,2
1991	1032,5	-	-	9,2	8,6	1,6	1051,9
1992	1090,7	-	-	9,5	8,9	1,7	1110,8
1993	1149,4	-	-	9,9	9,3	1,7	1170,3
1994	1208,9	-	-	10,3	9,6	1,8	1230,6
1995	1269,4	-	-	-	-	-	1269,4
1996	931,9	-	-	-	-	-	931,9
1997	1051,4	-	-	-	-	-	1051,4
1998	1202,6	-	-	-	-	-	1202,6
1999	1376,8	-	-	-	-	-	1376,8
2000	1591,0	-	-	-	-	-	1591,0
2001	1856,2	11,0	7,7	-	-	-	1874,9
2002	2072,3	16,6	11,9	-	-	-	2100,8
2003	2275,3	19,8	14,0	-	-	-	2309,1
2004	2487,8	16,4	11,6	-	-	-	2515,8
2005	2762,8	14,0	10,1	-	-	-	2786,9
2006	3067,1	13,6	9,8	-	-	-	3090,5
2007	3439,8	15,5	11,0	-	-	-	3466,3
2008	3772,5	13,6	9,8	-	-	-	3795,9
2009	4092,5	11,7	8,3	-	-	-	4112,5
2010	4361,9	15,1	10,7	-	-	-	4387,7
2011	4557,4	14,8	10,7	-	-	-	4582,9
2012	4742,5	12,2	8,6	-	-	-	4763,3
2013	4949,0	10,7	7,7	-	-	-	4967,4
2014	5140,4	12,2	8,6	-	-	-	5161,2
2015	5341,1	12,8	9,2	-	-	-	5363,1
2016	5549,7	12,8	9,2	-	-	-	5571,7

Bu çalışmada CH₄'ün küresel ısınma potansiyelinin CO₂'nin 25 katı, N₂O'nun küresel ısınma potansiyelinin ise CO₂'nin 298 katı olduğu (IPCC, 2007) kabul edilerek işlemler yapılmıştır.

tüm yıllar boyunca depolama yoluyla kentsel katı atığın uzaklaştırma faaliyetinin sera gazı açığa çıkarmada öne çıktığı ve salınan sera gazları arasında metanın en fazla miktarda olduğu görülmektedir.

1990 yılında 993,2 ktCO₂eşdeğerinde olduğu belirlenen KKA kaynaklı toplam sera gazı salımı 2016'ya gelindiğinde 5571,7 ktCO₂eşdeğeri seviyesine ulaşmıştır.

1995 – 2016 yılları arasında KKA'nın açıkta yakılmadığı ve 1990 – 2000 arasında kentsel katı atığa kompostlaştırma işleminin uygulanmadığı kabulleri ile belirtilen dönemlerde bu KKA uzaklaştırma pratiklerinin sera gazı meydana getirmedeği varsayılmıştır.

3.1. İstanbul'da Kentsel Katı Atığın Depolanmasından Kaynaklanan Metan (CH₄) Salımları

3.1.1. Sera Gazı Salımlarının Tahmininde Kullanılan Nüfus

KKA kaynaklı sera gazı salımlarının belirlenmesi için gerekli olan nüfus verileri, 1950 – 2016 yılları arasında yapılmış İstanbul'a ait resmi nüfus sayım sonuçları ve nüfus artış hızları kullanılarak kentin Avrupa ve Asya yakaları için ayrı olarak belirlenmiştir (Tablo 3.2).

İncelenen dönemde İstanbul nüfusunun 1,35 milyondan 14,8 milyona çıktığı, Avrupa yakası nüfusunun ise her zaman Asya yakasındaki nüfustan fazla olduğu anlaşılmıştır.. Nüfusta yaşanan bu artış, kentte oluşan kentsel katı atık miktarının artmasına ve buna bağlı olarak KKA kaynaklı açığa çıkan sera gazı salımlarının artışındaki ilk ve temel neden olarak değerlendirilmektedir.

Kentin Avrupa yakasında yaşayan nüfus ve artış miktarı, dikkate alınan tüm yıllar boyunca Asya yakasındakine göre daha fazla olmuştur. Bu durum İstanbul'da kentsel katı atığın meydana getirdiği sera gazı salımlarının çoğunun kentin Avrupa bölümünde oluşmasına yol açmıştır.

Tablo 3.2: 1953 – 2016 yılları arasında İstanbul nüfusu

Yıl	Avrupa	Asya	İstanbul	Yıl	Avrupa	Asya	İstanbul
1953	1.059.526	290.362	1.349.888	1985	3.942.005	1.810.752	5.752.757
1954	1.119.210	307.144	1.426.354	1986	4.087.075	1.919.752	6.006.827
1955	1.182.256	324.895	1.507.151	1987	4.238.499	2.037.828	6.276.326
1956	1.227.485	340.010	1.567.496	1988	4.396.657	2.166.278	6.562.935
1957	1.275.666	355.837	1.631.503	1989	4.561.961	2.306.673	6.868.634
1958	1.327.093	372.410	1.699.503	1990	4.734.857	2.460.916	7.195.773
1959	1.382.099	389.764	1.771.863	1991	4.898.385	2.552.425	7.450.810
1960	1.441.054	407.937	1.848.991	1992	5.067.947	2.647.583	7.715.530
1961	1.499.006	424.741	1.923.746	1993	5.243.790	2.746.538	7.990.327
1962	1.559.402	442.340	2.001.742	1994	5.426.174	2.849.440	8.275.614
1963	1.622.351	460.778	2.083.130	1995	5.615.370	2.956.450	8.571.820
1964	1.687.969	480.102	2.168.071	1996	5.811.663	3.067.732	8.879.395
1965	1.756.374	500.359	2.256.733	1997	6.015.351	3.183.458	9.198.809
1966	1.847.457	534.266	2.381.723	1998	6.177.250	3.281.791	9.459.041
1967	1.944.884	570.520	2.515.405	1999	6.344.737	3.387.202	9.731.939
1968	2.049.227	609.288	2.658.516	2000	6.518.082	3.500.653	10.018.735
1969	2.161.117	650.749	2.811.866	2001	6.730.315	3.618.867	10.349.182
1970	2.281.249	695.094	2.976.343	2002	6.949.458	3.741.074	10.690.532
1971	2.376.806	751.552	3.128.357	2003	7.175.737	3.867.407	11.043.144
1972	2.478.050	812.755	3.290.805	2004	7.409.384	3.998.007	11.407.390
1973	2.585.412	879.117	3.464.529	2005	7.650.638	4.133.016	11.783.654
1974	2.699.356	951.089	3.650.446	2006	7.899.748	4.272.585	12.172.333
1975	2.820.388	1.029.164	3.849.552	2007	8.156.969	4.416.867	12.573.836
1976	2.898.113	1.094.089	3.992.203	2008	8.232.849	4.464.315	12.697.164
1977	2.980.980	1.163.463	4.144.443	2009	8.360.446	4.554.712	12.915.158
1978	3.069.370	1.237.615	4.306.985	2010	8.571.374	4.684.311	13.255.685
1979	3.163.694	1.316.903	4.480.596	2011	8.802.498	4.821.742	13.624.240
1980	3.264.393	1.401.710	4.666.103	2012	8.963.431	4.891.309	13.854.740
1981	3.389.888	1.475.361	4.865.249	2013	9.162.919	4.997.548	14.160.467
1982	3.520.208	1.552.882	5.073.090	2014	9.301.455	5.075.563	14.377.018
1983	3.655.538	1.634.476	5.290.014	2015	9.474.894	5.182.540	14.657.434
1984	3.796.070	1.720.358	5.516.428	2016	9.575.748	5.228.368	14.804.116

3.1.2. Sera Gazı Salım Tahminlerinde Kullanılan Kişi Başı Kentsel Katı Atık Miktarı

1953 – 2016 yılları arasında İstanbul’da oluşan günlük kişi başı atık miktarı (Tablo 3.3) bu dönemdeki nüfus değerleriyle çarpılarak (zaman ve miktar dönüşümleri ile birlikte) salım tahminleri için gerekli olan yıllık toplam oluşan kentsel katı atık miktarları belirlenmiştir. 1953 – 1985 yılları arasında kentte günlük oluşan kentsel katı miktarının değişmediği kabul edilirken, 1985 – 2005 arasındaki oluşum miktarları bu dönemde değişen (artan) nüfus değerlerine göre türetilmiştir.

Nüfusun tüm yıllar süresince daha fazla olduğu Avrupa yakasında kişi başına oluşan kentsel katı atık miktarının da Asya yakası için belirlenenden daha fazla olduğu görülmektedir.

Tablo 3.3: 1953 – 2016 İstanbul’da kişi başı KKA oluşumu (kg/kişi/gün)

Yıl	Avrupa	Asya	İstanbul	Yıl	Avrupa	Asya	İstanbul
Kişi Başı Oluşan KKA Miktarı (kg/kişi/gün)							
1953	1,02	0,93	1,00	1985	1,03	0,94	1,00
1954	1,02	0,93	1,00	1986	1,04	0,94	1,01
1955	1,02	0,93	1,00	1987	1,04	0,94	1,01
1956	1,02	0,93	1,00	1988	1,04	0,95	1,01
1957	1,02	0,93	1,00	1989	1,05	0,96	1,02
1958	1,02	0,93	1,00	1990	1,06	0,96	1,02
1959	1,02	0,93	1,00	1991	1,06	0,96	1,03
1960	1,02	0,93	1,00	1992	1,06	0,97	1,03
1961	1,02	0,93	1,00	1993	1,07	0,97	1,03
1962	1,02	0,93	1,00	1994	1,07	0,97	1,04
1963	1,02	0,93	1,00	1995	1,07	0,97	1,04
1964	1,02	0,93	1,00	1996	1,08	0,98	1,04
1965	1,02	0,93	1,00	1997	1,08	0,98	1,04
1966	1,02	0,93	1,00	1998	1,08	0,98	1,05
1967	1,02	0,93	1,00	1999	1,08	0,99	1,05
1968	1,02	0,93	1,00	2000	1,09	0,99	1,05
1969	1,03	0,93	1,00	2001	1,09	0,99	1,06
1970	1,03	0,93	1,00	2002	1,09	1,00	1,06
1971	1,03	0,93	1,00	2003	1,10	1,00	1,06
1972	1,03	0,93	1,00	2004	1,10	1,00	1,07
1973	1,03	0,93	1,00	2005	1,10	1,00	1,07
1974	1,03	0,93	1,00	2006	1,20	1,00	1,15
1975	1,03	0,94	1,00	2007	1,07	1,02	1,05
1976	1,03	0,94	1,00	2008	1,11	1,07	1,10
1977	1,03	0,94	1,00	2009	1,09	1,07	1,08
1978	1,03	0,94	1,00	2010	1,10	1,06	1,08
1979	1,03	0,94	1,00	2011	1,09	1,04	1,07
1980	1,03	0,94	1,00	2012	1,14	1,06	1,11
1981	1,03	0,94	1,00	2013	1,13	1,04	1,10
1982	1,03	0,94	1,00	2014	1,17	1,04	1,13
1983	1,03	0,94	1,00	2015	1,19	1,09	1,15
1984	1,03	0,94	1,00	2016	1,22	1,13	1,18

3.1.3. İstanbul’da Toplam Oluşan ve Depolanan Kentsel Katı Atık Miktarı

Kentte 1953 – 1994 yılları arasında oluştuğu varsayılan birim kentsel katı atık oluşum değerinin nüfus ile çarpılması sonucu elde edilen toplam oluşum oluşumun %70,6’sının kentin iki yakasında yer alan 7 adevy düzensiz depolama alanında depolandığı kabul edilmiştir.

1995 – 2016 yılları arasında ise İSTAÇ’tan ulaşılan düzenli depolanan KKA miktarı verileri kullanılmış, 1995 ve 1996 yılında kentte bir miktar kentsel katı atığın da düzensiz olarak depolandığı kabul edilmiştir.

1953 – 2016 yılları arasında Avrupa yakasında toplam oluşan ve depolanan atık miktarları incelendiğinde 1995 yılına kadar birim atık oluşumunun

değişmemesine rağmen nüfusun artması sebebiyle oluşan ve depolanan atık miktarlarının arttığı görülmektedir.

Tablo 3.4: 1953 – 2016 arasında Avrupa yakasında oluşan ve depolanan KKA miktarı (Gg/yıl)

Yıl	KKA _{Toplam} (Gg/yıl)	Depolama (%)	KKA _{Depolanan} (Gg/yıl)	Yıl	KKA _{Toplam} (Gg/yıl)	Depolama (%)	KKA _{Depolanan} (Gg/yıl)
1953	394,5	70,6	278,5	1985	1482	70,6	1046,3
1954	416,7	70,6	294,2	1986	1551,5	70,6	1095,3
1955	440,2	70,6	310,7	1987	1608,9	70,6	1135,9
1956	457	70,6	322,6	1988	1669	70,6	1178,3
1957	474,9	70,6	335,3	1989	1748,4	70,6	1234,4
1958	494,1	70,6	348,8	1990	1831,9	70,6	1293,3
1959	514,6	70,6	363,3	1991	1895,2	70,6	1338
1960	536,5	70,6	378,8	1992	1960,8	70,6	1384,3
1961	558,1	70,6	394	1993	2048	70,6	1445,9
1962	580,6	70,6	409,9	1994	2119,2	70,6	1496,1
1963	604	70,6	426,4	1995	2193,1	54	1188,8
1964	628,4	70,6	443,7	1996	2291	57	1315,2
1965	653,9	70,6	461,7	1997	2371,3	64	1521,5
1966	687,8	70,6	485,6	1998	2435,1	73	1776
1967	724,1	70,6	511,2	1999	2501,1	89	2220,2
1968	762,9	70,6	538,6	2000	2593,2	88	2282,3
1969	812,5	70,6	573,6	2001	2677,7	82	2205,2
1970	857,6	70,6	605,5	2002	2764,8	83	2281,2
1971	893,6	70,6	630,9	2003	2881,1	85	2452,3
1972	931,6	70,6	657,7	2004	2974,9	96	2848,3
1973	972	70,6	686,2	2005	3145	100	3145
1974	1014,8	70,6	716,5	2006	3469,9	100	3469,9
1975	1060,3	70,6	748,6	2007	3182,8	100	3182,8
1976	1089,5	70,6	769,2	2008	3346	100	3346
1977	1120,7	70,6	791,2	2009	3336	100	3336
1978	1153,9	70,6	814,7	2010	3426,4	100	3426,4
1979	1189,4	70,6	839,7	2011	3491,7	100	3491,7
1980	1227,2	70,6	866,4	2012	3725,4	100	3725,4
1981	1274,4	70,6	899,7	2013	3784,6	100	3784,6
1982	1323,4	70,6	934,3	2014	3980,1	100	3980,1
1983	1374,3	70,6	970,3	2015	4108,8	100	4108,8
1984	1427,1	70,6	1007,6	2016	4250	100	4250

1995 – 2004 yılları arasında depolanan kentsel katı atık miktarının (çalışmada 2005 -2016 arasında oluşum miktarı olarak kabul edilmiş olan) toplanan kentsel katı atık miktarına oranlanması ile elde edilen depolama oranlarının kentte oluşan kentsel katı atık miktarına bağlı olarak değişmesi olasıdır.

Asya yakasındaki toplam oluşan ve depolanan kentsel katı atık miktarları da Avrupa yakası için kabul edilen varsayımlarla hesaplanmıştır. Salım tahmini yapılan tüm yıllar boyunca Asya yakasında Avrupa yakasındakine göre hem nüfus azlığı

gerek kişi başı KKA oluşumunun oransal düşüklüğü sebebiye toplam oluşan ve depolanan KKA miktarları daha az seviyelerde olmuştur (Tablo 3.5).

Tablo 3.5: 1953 – 2016 arasında Asya yakasında oluşan ve depolanan KKA miktarı (Gg/yıl)

Yıl	KKA _{Toplam} (Gg/yıl)	Depolama (%)	KKA _{Depolanan} (Gg/yıl)	Yıl	KKA _{Toplam} (Gg/yıl)	Depolama (%)	KKA _{Depolanan} (Gg/yıl)
1953	98,6	70,6	69,6	1985	621,3	70,6	438,6
1954	104,3	70,6	73,6	1986	658,7	70,6	465
1955	110,3	70,6	77,9	1987	699,2	70,6	493,6
1956	115,4	70,6	81,5	1988	751,2	70,6	530,3
1957	120,8	70,6	85,3	1989	808,3	70,6	570,6
1958	126,4	70,6	89,2	1990	862,3	70,6	608,8
1959	132,3	70,6	93,4	1991	894,4	70,6	631,4
1960	138,5	70,6	97,8	1992	937,4	70,6	661,8
1961	144,2	70,6	101,8	1993	972,4	70,6	686,5
1962	150,2	70,6	106	1994	1008,8	70,6	712,2
1963	156,4	70,6	110,4	1995	1046,7	46	485,6
1964	163	70,6	115,1	1996	1097,3	57	628,6
1965	169,8	70,6	119,9	1997	1138,7	68	779,4
1966	181,4	70,6	128	1998	1173,9	75	885,4
1967	193,7	70,6	136,7	1999	1224	79	965,2
1968	206,8	70,6	146	2000	1265	82	1037,6
1969	220,9	70,6	156	2001	1307,7	77	1013,2
1970	235,9	70,6	166,6	2002	1365,5	76	1032,5
1971	255,1	70,6	180,1	2003	1411,6	78	1100
1972	275,9	70,6	194,8	2004	1459,3	90	1314,2
1973	298,4	70,6	210,7	2005	1459,2	100	1459,2
1974	322,8	70,6	227,9	2006	1620,8	100	1620,8
1975	353,1	70,6	249,3	2007	1639,3	100	1639,3
1976	375,4	70,6	265	2008	1750	100	1750
1977	399,2	70,6	281,8	2009	1776,1	100	1776,1
1978	424,6	70,6	299,8	2010	1816,1	100	1816,1
1979	451,8	70,6	319	2011	1838,6	100	1838,6
1980	480,9	70,6	339,5	2012	1897,7	100	1897,7
1981	506,2	70,6	357,4	2013	1905,3	100	1905,3
1982	532,8	70,6	376,2	2014	1926,1	100	1926,1
1983	560,8	70,6	395,9	2015	2058,3	100	2058,3
1984	590,3	70,6	416,7	2016	2152	100	2152

İstanbul’da kentsel katı atığın depolanmasından kaynaklanan metan salımları (Tablo 3.8), *IPCC Atık Modeli* aracılığıyla hesaplanmıştır. Kentte 1990 öncesi depolanan kentsel katı atığın meydana getirdiği metan salımları, 1990 ve 2000 sonrası aynı kaynağın oluşturduğu metan salımlarının oldukça aşağısında seyrettiği görülmektedir.

2000 öncesine yönelik hesaplamalarda kentte oluşan kentsel katı atık miktarı, atık içeriği, depolama oranı, depolamanın gerçekleştiği konumlar gibi hususlara ait

veri yetersizliği ve veri kalitesinin zayıflığına bağlı olarak yapılan salım tahminlerinde belirsizlikler yüksektir. Kullanılan modelde atığın depolanmaya başlandığı yıl içinde metan salımı gerçekleşmediği kabulüyle, İstanbul'da atıkların kara üzerinde depolanmaya başladığı yıl olan 1953 senesinde metan salımının olmadığı, 2016 yılında ise Avrupa yakasında 149,3 Gg, Asya yakasında 72,7 Gg ve toplamda 222,0 Gg metan salımı gerçekleştiği sonucuna varılmıştır.

Tablo 3.6: 1953 – 2016 yılları arasında İstanbul'da depolanan KKA kaynaklı CH₄ salımları (GgCH₄/yıl)

Yıl	Avrupa	Asya	İstanbul	Yıl	Avrupa	Asya	İstanbul
	GgCH ₄ /yıl				GgCH ₄ /yıl		
1953	0	0	0	1985	25,4	5,9	31,3
1954	0,3	0,1	0,4	1986	26,4	6,3	32,7
1955	0,7	0,2	0,9	1987	27,4	6,7	34,1
1956	1,1	0,3	1,3	1988	28,5	7,2	35,7
1957	1,4	0,4	1,7	1989	29,6	7,7	37,3
1958	1,7	0,4	2,2	1990	30,8	8,2	39
1959	2,1	0,5	2,6	1991	32,4	8,9	41,3
1960	2,4	0,6	3,1	1992	34	9,6	43,6
1961	2,8	0,7	3,5	1993	35,7	10,3	46
1962	3,1	0,8	3,9	1994	37,4	11	48,4
1963	3,5	0,9	4,4	1995	39,1	11,7	50,8
1964	3,8	1	4,8	1996	36,1	1,2	37,3
1965	4,2	1,1	5,3	1997	37,9	4,2	42,1
1966	4,6	1,2	5,7	1998	40,6	7,5	48,1
1967	4,9	1,3	6,2	1999	44,1	10,9	55,1
1968	5,3	1,4	6,7	2000	49,4	14,2	63,6
1969	5,7	1,5	7,2	2001	56	18,2	74,2
1970	6,1	1,6	7,7	2002	61,4	21,5	82,9
1971	6,6	1,7	8,3	2003	66,5	24,5	91
1972	7	1,9	8,9	2004	72	27,5	99,5
1973	7,5	2	9,5	2005	79,1	31,4	110,5
1974	8	2,2	10,1	2006	87,1	35,6	122,7
1975	8,4	2,3	10,8	2007	96,9	40,7	137,6
1976	8,9	2,5	11,5	2008	105	45,9	150,9
1977	9,4	2,8	12,3	2009	112,7	51,0	163,7
1978	12,1	3,2	15,3	2010	119,1	55,4	174,5
1979	14,5	3,5	18	2011	123,7	58,6	182,3
1980	16,5	3,9	20,4	2012	128,1	61,6	189,7
1981	18,4	4,2	22,6	2013	133,4	64,6	198
1982	20,3	4,6	25	2014	138,4	67,3	205,6
1983	22,1	5	27,2	2015	143,9	69,7	213,6
1984	23,8	5,5	29,3	2016	149,3	72,7	222

Kentte bulunan düzenli depolama sahalarında açığa çıkan metan salımları hesaplanırken, metan geri kazanımı (veriye ulaşılamaması nedeniyle) dikkate alınmamıştır. Sunulan değerler brüt metan salımlarını ifade etmektedir.

3.2. İstanbul’da Kompostlaştırma Kaynaklı Sera Gazı Salımları

İstanbul’da 2001 yılında katı atığa uygulanmaya başlayan kompostlaştırma uygulamasından, depolama kaynaklı metan salımlarına kıyasla çok daha az seviyelerde metan ve nitroz oksit salımları açığa çıkmaktadır. Her yıl kompostlaştırılan atık miktarının farklılık gösteren CH₄ ve N₂O salımlarının 2016 yılında sırasıyla 0,512 GgCH₄/yıl ve 0,031N₂O/yıl seviyesinde olduğu hesaplanmıştır (Tablo 3.7).

Tablo 3.7: 2001 – 2016 yılları arasında İstanbul’da kompostlaştırma yönteminin oluşturduğu CH₄ ve N₂O Salımları (GgCH₄/yıl, GgN₂O/yıl)

Yıl	Metan Salımı	Nitröz oksit Salımı	Yıl	Metan Salımı	Nitröz oksit Salımı
	GgCH ₄ /yıl	GgN ₂ O/yıl		GgCH ₄ /yıl	GgN ₂ O/yıl
2001	0,438	0,026	2009	0,466	0,028
2002	0,663	0,040	2010	0,604	0,036
2003	0,791	0,047	2011	0,591	0,036
2004	0,655	0,039	2012	0,488	0,029
2005	0,560	0,034	2013	0,426	0,026
2006	0,544	0,033	2014	0,487	0,029
2007	0,618	0,037	2015	0,513	0,031
2008	0,543	0,033	2016	0,512	0,031

3.3. İstanbul’da Kentsel Katı Atığın Açıkta Yakılmasından Kaynaklanan CO₂, CH₄ ve N₂O Salımları

3.3.1. İstanbul’da Açıkta Yakılan Kentsel Katı Atık Miktarı

İstanbul’da kentsel katı atığın açıkta yakıldığı varsayıldığı 1990 – 1994 yılları arasında kentin Avrupa yakasında yanan toplam KKA miktarının, bu yakadaki nüfus ve kişi başına düşen KKA oluşumunun Asya yakasındakine göre fazla olmasına bağlı olarak daha çok olduğu görülebilmektedir (Tablo 3.8).

Tablo 3.8: 1990 – 1994 arasında Avrupa ve Asya yakasında açıkta yakılan KKA miktarı (Gg/yıl)

Yıl	P _{Avrupa}	MSW _P kg/kişi/gün	B _{frac}	MSW _B Gg/yıl	Yıl	P _{Asya}	MSW _P kg/kişi/gün	B _{frac}	MSW _B Gg/yıl
1990	4.734.857	1,06	1,89%	34,6	1990	2.460.916	0,96	1,89%	16,3
1991	4.898.385	1,06	1,89%	35,8	1991	2.552.425	0,96	1,89%	17,0
1992	5.067.947	1,06	1,89%	37,2	1992	2.647.583	0,97	1,89%	17,7
1993	5.243.790	1,07	1,89%	38,6	1993	2.746.538	0,97	1,89%	18,4
1994	5.426.174	1,07	1,89%	40,0	1994	2.849.440	0,97	1,89%	19,1

P_{Avrupa}: Avrupa yakası nüfusu, P_{Asya}: Asya yakası nüfusu. MSW_P: Kişi başı KKA oluşumu. B_{frac}: Açıkta yakılan KKA fraksiyonu. MSW_B: Açıkta yakılan KKA miktarı.

3.3.2. İstanbul'da Açıkta Yakılan Kentsel Katı Atığın Kuru Madde İçeriği

1990 – 1994 yılları arasında İstanbul'da oluşan kentsel katı atığın kompozisyonuna bağlı olarak hesaplanan kuru madde, toplam karbon ve fosil karbon içerikleri her bir bileşen için Tablo 3.9'da sunulmuştur.

Tablo 3.9: 1990 – 1994 arasında İstanbul'da açıkta yakılan KKA bileşenleri için hesaplanan kuru madde, toplam karbon içerikleri ve fosil karbon fraksiyonları

KKA Bileşeni (WF _i)	KKA'daki Kuru Madde İçeriği (dm: WF _i •dm _i)	KKA'daki Toplam Karbon İçeriği (CF: WF _i •CF _i)	KKA'daki Fosil Karbon Fraksiyonu (FCF: WF _i •FCF _i)
Kağıt	0,13	0,07	0,001
Tekstil	0,04	0,03	0,01
Gıda	0,18	0,17	-
Plastik	0,04	0,07	0,1
Metal	0,02	NA	NA
Cam	0,04	NA	NA
Diğer, inert	0,17	0,01	0,19

3.3.3. İstanbul'da Kentsel Katı Atığın Açıkta Yakılmasıyla Oluşan CO₂ Salımları

Kentte 1990 senesinde, kentsel katı atığın açıkta yakılması sonucu Avrupa yakasında 6,0 Gg CO₂, Asya yakasında 2,8 Gg CO₂; 1994'te ise Avrupa yakasında 6,9 Gg CO₂, Asya'da 3,3 GgCO₂ salımının gerçekleştiği hesaplanmıştır (Tablo 3.10).

Tablo 3.10: 1990 – 1994 yılları arasında Avrupa ve Asya yakasında KKA'nın açıkta yakılmasından kaynaklanan CO₂ salımları (GgCO₂/yıl)

Avrupa Yakası (GgCO ₂ /yıl)				Asya Yakası (GgCO ₂ /yıl)			
Yıl	Biyojenik	Biyojenik olmayan	Toplam	Yıl	Biyojenik	Biyojenik olmayan	Toplam
1990	0,04	5,95	6,0	1990	0,02	2,81	2,8
1991	0,05	6,17	6,2	1991	0,02	2,92	2,9
1992	0,05	6,40	6,4	1992	0,02	3,04	3,1
1993	0,05	6,64	6,7	1993	0,02	3,16	3,2
1994	0,05	6,89	6,9	1994	0,02	3,29	3,3

3.3.4. İstanbul'da Kentsel Katı Atığın Açıkta Yakılmasıyla Oluşan CH₄ Salımları

İstanbul'da 1990 – 1994 arsında kentsel katı atığın açıkta yakılmasından kaynaklanan metan salımları oldukça düşüktür. Açıkta yakma kaynaklı metan salımlarının Avrupa yakasında 0,2 Gg; Asya yakasında ise 0,1 Gg seviyelerinde seyrettiği belirlenmiştir (Tablo 3.11).

Tablo 3.11: 1990 – 1994 yılları arasında Avrupa ve Asya yakasında KKA'nın açıkta yakılmasından kaynaklanan CH₄ salımları (GgCH₄/yıl)

Avrupa yakası (GgCH ₄ /yıl)				Asya yakası (GgCH ₄ /yıl)			
Yıl	Biyojenik	Biyojenik olmayan	Toplam	Yıl	Biyojenik	Biyojenik olmayan	Toplam
1990	0,13	0,09	0,22	1990	0,06	0,04	0,11
1991	0,14	0,09	0,23	1991	0,07	0,04	0,11
1992	0,14	0,10	0,24	1992	0,07	0,05	0,11
1993	0,15	0,10	0,25	1993	0,07	0,05	0,12
1994	0,15	0,11	0,26	1994	0,07	0,05	0,12

3.3.5. İstanbul'da Kentsel Katı Atığın Açıkta Yakılmasıyla Oluşan N₂O Salımları

1990'da kentin Avrupa kısmında 0,004 Gg, Asya kısmında 0,002 Gg olarak hesaplanan açıkta yakma kaynaklı nitroz oksit salımlarının yakma işleminin uygulandığı 5 yıl boyunca aynı seviyelerde gerçekleştiği görülmektedir (Tablo 3.12).

İstanbul’da açıkta yakma sonucu açığa çıkan nitroz oksit salımlarının da oldukça düşük olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.12: 1990 – 1994 yılları arasında Avrupa ve Asya yakasında KKA’nın açıkta yakılmasından kaynaklanan N₂O Salımları (GgN₂O/yıl)

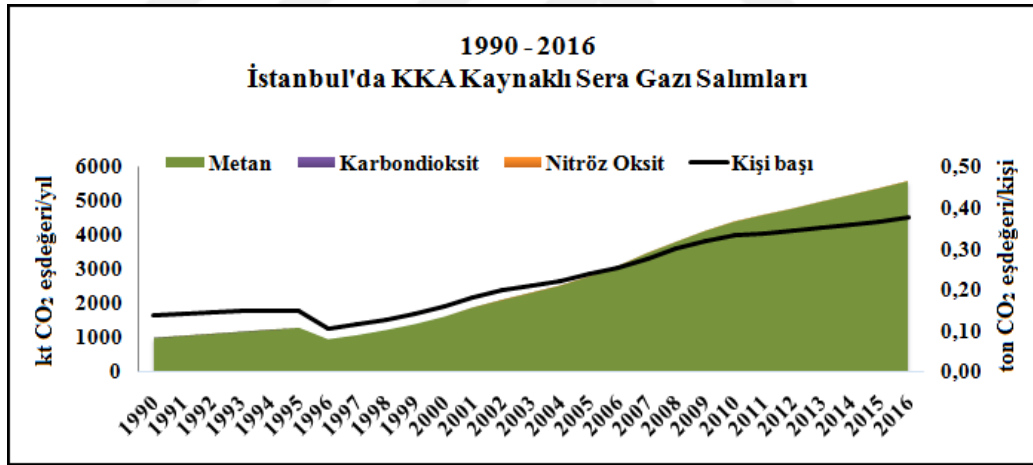
Avrupa yakası (GgN ₂ O/yıl)				Asya yakası (GgN ₂ O/yıl)			
Yıl	Biyojenik	Biyojenik olmayan	Toplam	Yıl	Biyojenik	Biyojenik olmayan	Toplam
1990	0,002	0,002	0,004	1990	0,001	0,001	0,002
1991	0,002	0,002	0,004	1991	0,001	0,001	0,002
1992	0,002	0,002	0,004	1992	0,001	0,001	0,002
1993	0,002	0,002	0,004	1993	0,001	0,001	0,002
1994	0,002	0,002	0,004	1994	0,001	0,001	0,002

SONUÇ

İstanbul'da Kentsel Katı Atık Kaynaklı Sera Gazı Salımları İçin Yapılan Tahminlerin Değerlendirilmesi

IPCC (2006) Ulusal Sera Gazı Envanterleri Kılavuzu kullanılarak 2016 yılında İstanbul'da oluşan kentsel katı atığın çeşitli yöntemlerle uzaklaştırılmasından kaynaklanan toplam sera gazı salımının 5,6 Mt CO₂ eşdeğeri seviyesinde olduğu hesaplanmıştır. Yapılan tahminlerin ulusal envanter verileri ile karşılaştırılabilmesi açısından çalışmanın periyodu 1990 – 2016 olarak belirlenmiştir. 1990 yılında toplam KKA salımının kişi başına düşen miktarı yıllık 0,14 tCO₂ eşdeğeri iken, 2016 yılına gelindiğinde bu değer 0,38 tCO₂ eşdeğeri seviyesine ulaşmıştır (Şekil 4.1).

Şekil 4.1: 1990 – 2016 arasında İstanbul'da KKA kaynaklı oluşan toplam sera gazı salımları

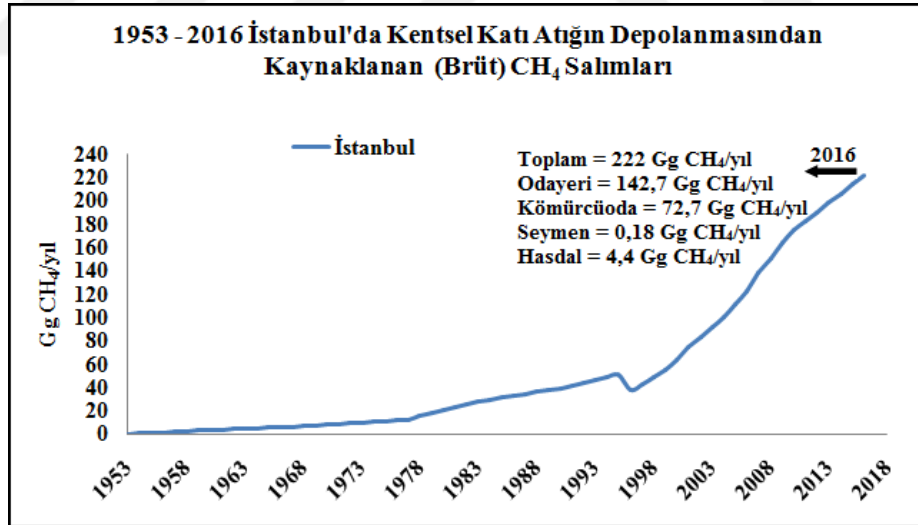


1953 yılı itibariyle kentsel katı atığın kara üzerinde uzaklaştırılmaya başlandığı kentte, tüm süreç boyunca meydana gelen kentsel katı atık kaynaklı salımların tamamına yakın bir kısmını bu atığın depolanmasıyla açığa çıkan metan salımları oluşturmaktadır, 2016 yılında kentsel katı atığın depolanmasından kaynaklanan metan salımlarının 5549,7 ktCO₂e, kompostlaştırma kaynaklı metan ve nitröz oksit salımlarının sırasıyla 12,8 ve 9,2 ktCO₂e seviyesinde olduğu hesaplanmıştır.

1953 – 2016 periyodunda kentte kentsel katı atığın depolanmasıyla meydana gelen metan salımları (Şekil 4.2) incelendiğinde, 1980'lere kadar metan salımlarının özellikle 2000 sonrası değerlerinin çok altında seyrettiği göze çarpmaktadır. Bu dönemde nüfusun ve depolanan KKA miktarlarının 2000 sonrasına göre çok daha az oluşu bu durumu açığa çıkaran etmenlerin başında gelmektedir.

1995 öncesinde oluşan kentsel katı atık ve bu oluşumun ne kadarının depolandığına dair verinin mevcut olmaması bu dönem için yapılan salım tahminlerinin güvenilirliğini azaltmaktadır. Çalışmada 1953 – 1994 yılları arasındaki depolama oranı ulusal envantere dayanarak %70,6 olarak belirlenmiştir. Gerçek değer bu oranın altında veya IPCC (2006) kılavuzunda Güney Avrupa ülkelerine (Türkiye'nin de aralarında bulunduğu) dair varsayılan depolama oranı olarak belirtilmiş %85 değerinin üstünde olması ihtimaller arasındadır.

Şekil 4.2: 1953 – 2016 yılları arasında İstanbul'da kentsel katı atığın depolanmasından kaynaklanan (brüt) CH₄ salımları



Bununla beraber 1995 öncesi kullanılmış atık depolama alanlarının düzensiz ve kategorize edilmemiş sahalar olması bu dönemde daha az metan oluşumunun bir diğer sebebidir. İronik bir şekilde vahşi depolama sahaları çevre ve insan sağlığı için daha tehlikeli, estetik açıdan daha kötü olmakla birlikte metan oluşturma potansiyeli açısından daha zayıf alanlardır. Havasız şartlara sahip düzenli depolama sahaları,

atmosferle temas halindeki düzensiz sahalara göre çok daha fazla metan salımına neden olurlar (IPCC, 2006).

Kentte yer alan Hasdal haricindeki diğer tüm düzensiz sahaların kurak hava şartlarının hâkim olduğu mevkilerde bulunması da, depolanan KKA bileşenleri için atık modelinde daha küçük metan oluşum hızı sabitlerinin kullanılmasına yol açarak bu dönemde oluşan metan salımlarını azaltmıştır.

1970'lerin sonundan itibaren giderek artmaya başlayan depolama kaynaklı metan salımlarının 1990'ların ortasına gelindiğinde bir azalma eğilimi göstermektedir. Bu eğilimin 1995 ve 1996 yıllarında depolanan KKA miktarındaki azalmaya bağlı olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte 1996 yılına gelindiğinde Hasdal haricindeki tüm vahşi sahaların kapatılıp, bu alanlarda oluşan salımların sıfırlandığı kabulü de 1996 yılındaki azalışın sebeplerinden biridir. 1990'ların sonundan 2016 yılına kadar depolama kaynaklı metan salımlarında depolanan KKA miktarındaki artış, depolama sahalarının tamamen havasız koşullara sahip düzenli alanlar olması, sahaların bulundukları mevkilerde nemli hava şartlarının hâkim olması ve depolanan atığın organik içeriğinin yükselmesi durumlarından kaynaklanan daha sert bir artışın yaşandığı anlaşılmaktadır.

Depolama kaynaklı metan salımları hesaplanırken, İstanbul'da yer alan Odayeri, Kömürcüoda ve Hasdal geri kazanım tesislerinde geri kazanılan metan miktarı bilgisi kentin KKA yönetiminden sorumlu kurum (İSTAÇ) ve İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nden alınamaması sebebiyle, verilen değerler net değil brüt salımları ifade etmektedir. Kılavuzda (2006) kapatılan ve ıslah edilen depolama sahalarında oluşan metan salımlarındaki değişimi yansıtacak bir faktör veya parametre bulunmaması nedeniyle, 1977 – 1996 yılları arasında kentsel katı atı atığın depolandığı vahşi bir depolama sahası olan Hasdal sahasında oluşan metan salımlarının rehabilitasyon sonrasında atık modelinde hesaplanan seviyelerde seyrettiği kabul edilmiştir.

İstanbul İçin Yürütülen Kka Kaynaklı Sera Gazı Salım Tahminlerinin Ulusal Envanter Sonuçlarıyla Karşılaştırılması

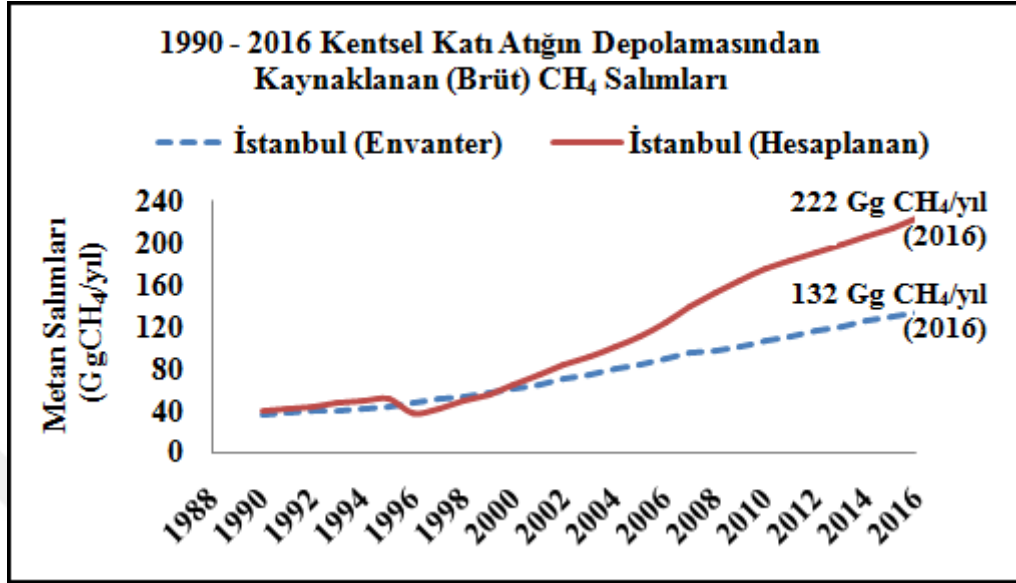
1990 – 2016 Ulusal Sera Gazı Envanteri Raporu'na (TÜİK, 2018) göre 2016 yılında Türkiye'de kentsel katı atığın depolanması 17656 ktCO₂eşdeğeri (brüt) metan salımı, kentsel katı atığın kompostlaştırılması 9 ktCO₂eşdeğeri metan ve 6,6 ktCO₂eşdeğeri nitroz oksit salımı, KKA'nın açıkta yakılması 1,1 kt karbondioksit, 1,7 ktCO₂eşdeğeri metan ve 0,3 ktCO₂eşdeğeri nitroz oksit salımı meydana getirmiştir. Ulusal envantere Türkiye'de 2016 yılında kişi başına düşen toplam (brüt) KKA salımı 0,22 tCO₂ eşdeğeri seviyesinde tahmin edilirken, aynı değer İstanbul için 0,38 tCO₂ eşdeğeri olarak belirlenmiştir. 1990 – 2016 yılları arasında kentsel katı atık kaynaklı ulusal salım sonuçlarından İstanbul nüfusu ülke nüfusuna oranlanarak ulusal envantere İstanbul'da KKA kaynaklı oluştuğunu öngördüğü sera gazı salım değerlerine ulaşılmış ve bu değerler çalışmanın çıktılarıyla karşılaştırılmıştır.

Ulusal Envanterde ve Bu Çalışmada Hesaplanan Kentsel Katı Atığın Depolanmasından Kaynaklanan Metan Salımlarının Karşılaştırılması

2016 yılı nüfus verilerine göre ülke nüfusunun yaklaşık %19'una ev sahipliği yapan İstanbul'da depolama kaynaklı meydana gelen (brüt) metan salımlarının ulusal envantere göre (TÜİK, 2018) 132 GgCH₄/yıl seviyesinde hesaplandığı anlaşılmaktadır; bu çalışmada ise bu değer 222 GgCH₄/yıl olarak tahmin edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında İstanbul'da kentsel katı atığın depolanmasından kaynaklı metan salımlarına dair yapılan tahminler ile ulusal envanter sonuçları (kent/ülke nüfus oranı baz alınarak) karşılaştırıldığında, çalışma sonuçlarının 1990 – 2000 periyodu haricindeki her yıl için daha yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 4.3).

Şekil 4.3: 1990 – 2016 KKA’nın depolanmasından kaynaklanan CH₄ salımları



Şekil 4.3'te görülen grafik oluşturulurken, ulusal envanterde endüstriyel atığın depolanmasıyla ilgili sunulan veriler IPCC Atık Modeli'nde çalıştırılmış, elde edilen değerler envanterde toplam katı atığın depolanması için tahmin edilen değerlerden çıkartılarak elde edilen KKA'nın depolanmasından kaynaklanan metan salımları kullanılmıştır.

Daha önce de açıklandığı üzere İstanbul'da 1990'ların ikinci yarısında görülen metan salımlarındaki azalışın sebebinin o yıllarda depolanan KKA miktarındaki azalma olduğu düşünülmektedir. Bununla birlikte 1995 yılında kentte vahşi depolamanın terk edilip düzenli depolama uygulamasına geçilmesinin bu duruma yol açan faktörlerden biri olması da muhtemeldir. Çünkü depolama kaynaklı metan salımlarını hesaplamak için kullanılan IPCC Atık Modeli'nde depolama sahalarında atığın depolandığı tarihten 6 ay sonra metan salımlarının meydana geleceği kabul edilmiştir. Bu kabul ile atığın depolanmaya başladığı yılda metan salımını 0 olarak hesaplanmaktadır.

Sunulan bu çalışma ile 2000 sonrası İstanbul için hesaplanan (brüt) metan salımları sera gazları ulusal envanter raporu sonuçlarından uzaklaşarak artmaya başlamıştır. Bu durumun nedenlerinden en önemlisi depolama kaynaklı metan salımları tahmininde kullanılan metan oluşum hızı sabiti (*k*) değerinin bu çalışmada

nemli hava koşulları, sera gazları ulusal envanterinde ise tüm ülke için kurak hava koşulları dikkate alınarak seçilmesidir.

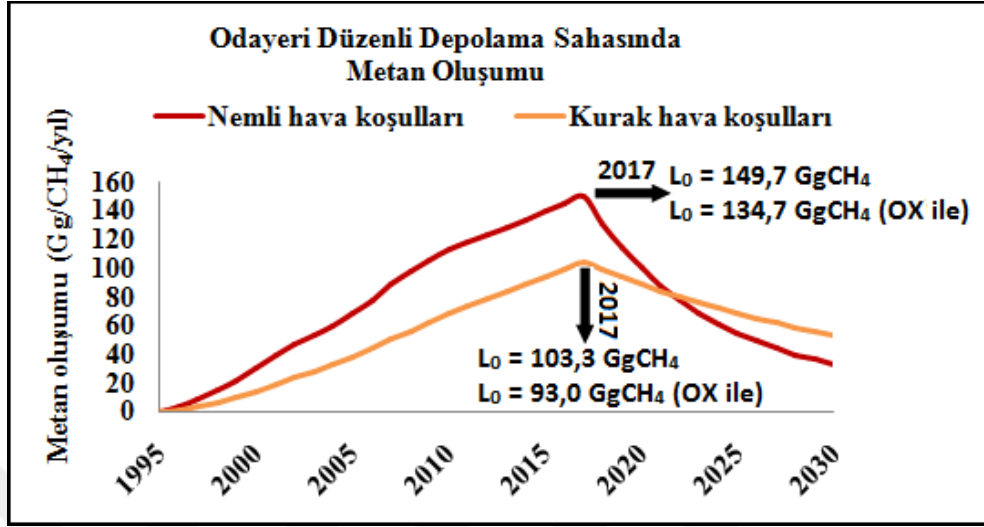
Ulusal envanterde 2016 yılında ülkede 134 adet olduğu belirtilen düzenli katı atık depolama sahası ve diğer vahşi sahaların tümünde ve geçmiş yıllarda kullanılan alanlarda kurak hava koşullarının yaşandığını söylemek bilimsel olarak imkânsızdır. Sonuçlar arasındaki farkı oluşturan bir diğer neden İstanbul'da 1995 sonrası kentsel katı atığın tamamına yakını düzenli olarak depolanmaya başlamışken, Türkiye'de vahşi depolama uygulamasının hala devam etmesidir.

Yine ulusal envanterde 1990 – 2016 dönemi için verilen kişi başı KKA oluşum değerlerinden (Tablo 1.5) özellikle 1950 – 1990 periyodu için tahmin edilen değer (1,09 kg/kişi/gün) ülke ortalaması için oldukça yüksek olduğu görülmektedir. 1950 – 2016 boyunca ülkenin çoğu şehrinde gerçek KKA oluşumunun bu değerlerin altında seyretmesi muhtemel bir durumdur.

Bununla birlikte Türkiye'de depolanan kentsel katı atık kompozisyonu (Şekil 1.9) ile İstanbul'da depolanan KKA kompozisyonunun (Şekil 2.3) 1950 – 2016 periyodu boyunca farklılık gösterdiği görülmektedir. Bu çalışmada İstanbul'un kentsel katı atık içeriğini yansıtacak 10 karakterizasyon çalışması kullanılırken, ulusal envanterde bu değer 3 ile sınırlıdır. Ulusal olarak kentsel katı atık içeriğinde kısa vadeli değişimlerin görülmemesi mümkündür fakat konumsal olarak KKA kompozisyonunun farklılaşması zorunludur.

Odayeri düzenli depolama sahasında Kentsel katı atığın depolanmaya başladığı yıldan 2016 yılına kadar sahadaki metan oluşumu (Şekil 4.4) FOD yöntemini temel alan IPCC Atık Modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Model başlangıç yılı 1995, depolama faaliyeti için bitiş yılının 2016 olduğu kabul edilerek çalıştırıldığında sahada 1995 yılında metan oluşumun gerçekleşmediği, 2017 yılında ise maksimum seviyeye ulaştığı ve (modelde son girdi yılı olarak bulunan) 2030'a kadar kademeli olarak azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.4: Odayeri düzenli depolama sahasında metan oluşumu



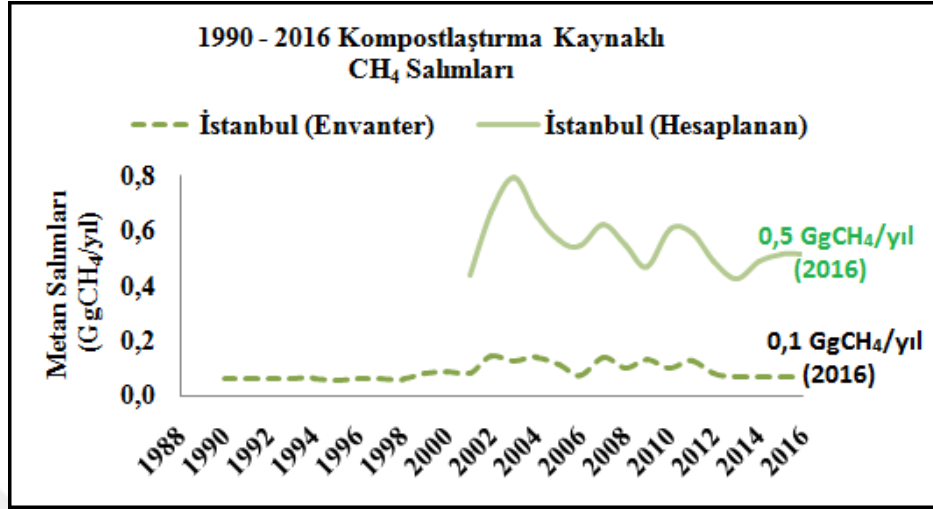
Modelin en önemli parametrelerinden iklim koşullarına göre değişen k değerinin metan oluşumu üzerindeki etkisini ortaya koymak için Odayeri sahasında depolama kaynaklı metan oluşumu tahminleri nemli ve kurak koşullar için ayrı olarak yapılmıştır. 2017 yılında sahanın nemli şartlara sahip olması durumunda kurak şartlardakinden yaklaşık 50 Gg daha fazla (brüt) metan salımının meydana geldiği görülmüştür.

2015 yılı için hazırlanan İstanbul Sera Gazı Envanteri'nde Topluluk Ölçekli Sera Gazı Salım Envanterleri Küresel Protokolü'nde sunulan metodoloji kullanıldığı ve daha önce de belirtildiği üzere bu metodolojinin (Metan Taahhüt Yöntemi) FOD yöntemine göre bazı farklılıklar göstermesi nedeniyle 2015 yılı için bu çalışmada ve kent envanterinde elde edilen sonuçların karşılaştırılmasının sağlıklı olmayacağı düşünülmektedir.

Ulusal Envanterde ve Bu Çalışmada Hesaplanan Kompostlaştırma Kaynaklı Metan ve Nitröz oksit Salımlarının Karşılaştırılması

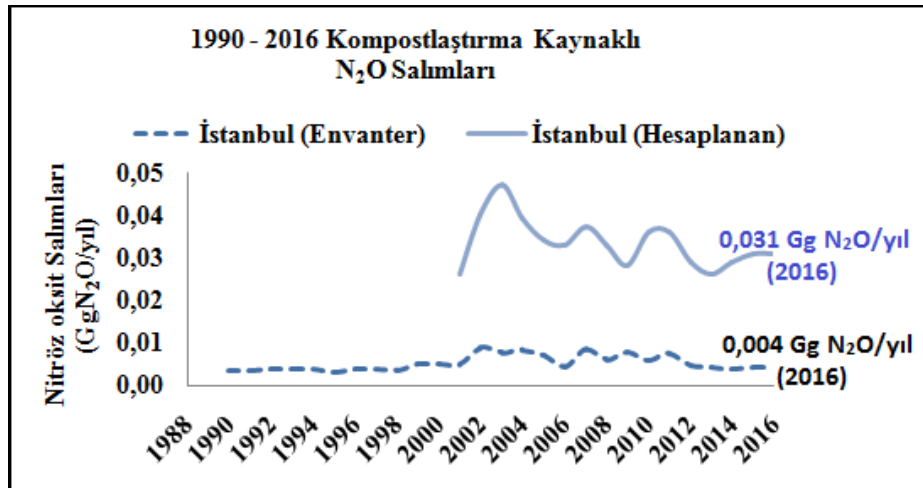
Kompostlaştırma kaynaklı sera gazı salım tahminleri karşılaştırıldığında (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6) İstanbul'da bu uygulamanın faaliyete geçirilmesinden 2016 yılına kadar kompostlaştırma kaynaklı salımların envanter sonuçlarından daha fazla tahmin edildiği görülmektedir.

Şekil 4.5: 1990 – 2016 kompostlaştırma kaynaklı CH₄ salımları



Bu çalışmada ve ulusal envanterde kompostlaştırma kaynaklı metan ve nitröz oksit salımları belirlenirken aynı emisyon faktörleri kullanılmıştır. Salım tahminleri arasındaki bu fark, kompostlaştırılan atık miktarlarının bu çalışma ve ulusal envanterde farklı olmasından kaynaklanmaktadır. İSTAÇ'tan elde edilen veriler (Tablo 2.9) incelendiğinde İstanbul'da kompostlaştırma işlemine giren KKA miktarının ülke toplamından daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil 4.6: 1990 – 2016 kompostlaştırma kaynaklı N₂O salımları

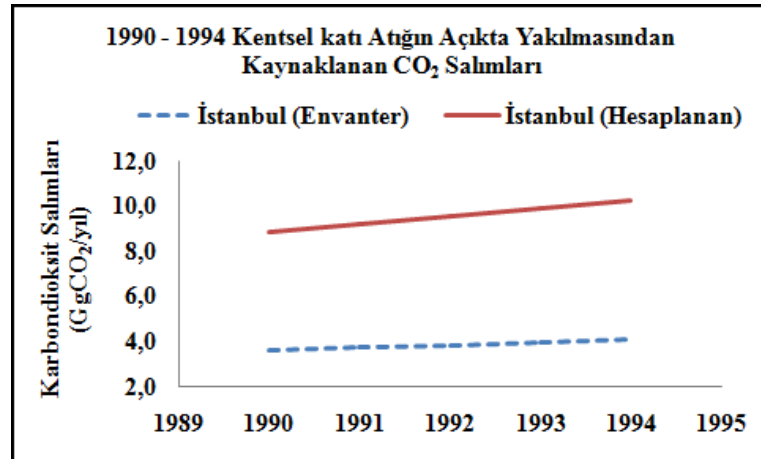


Ulusal Envanterde ve Bu Çalışmada Hesaplanan Kentsel Katı Atığın Açıkta Yakılmasından Kaynaklanan Karbondioksit, Metan ve Nitröz oksit Salımlarının Karşılaştırılması

İstanbul'da kentsel katı atığın açıkta yakılarak uzaklaştırılmasına yönelik bulunan bilgiler tüm faaliyetlere dair elde edilenlerin arasında en zayıfını oluşturmaktadır. 1990 – 1994 arasında İstanbul'da kentsel katı atığın ne kadarının açıkta yakıldığına yönelik bir veri bulunamaması nedeniyle ulusal envanterde bu dönem için verilen açıkta yakma oranı kullanılmıştır.

1990 – 1994 yılları arasında Türkiye'deki kişi başı KKA oluşumunun İstanbuldakiyle aynı seviyede ve açıkta yakma oranının aynı olmasına rağmen, İstanbul geneli için hesaplanan açıkta yakma kaynaklı karbondioksit salımlarının (Şekil 4.7), ülke ortalamasının üstünde seyretmesinin sebebi Türkiye ve İstanbul'daki KKA kompozisyonlarının farklı oluşudur. Bu dönemde Türkiye'de atığın plastik (yandığında önemli bir CO₂ kaynağı) içeriği %3 seviyesindeyken, İstanbul'da bu içeriğin %9,5 olduğu varsayılmaktadır.

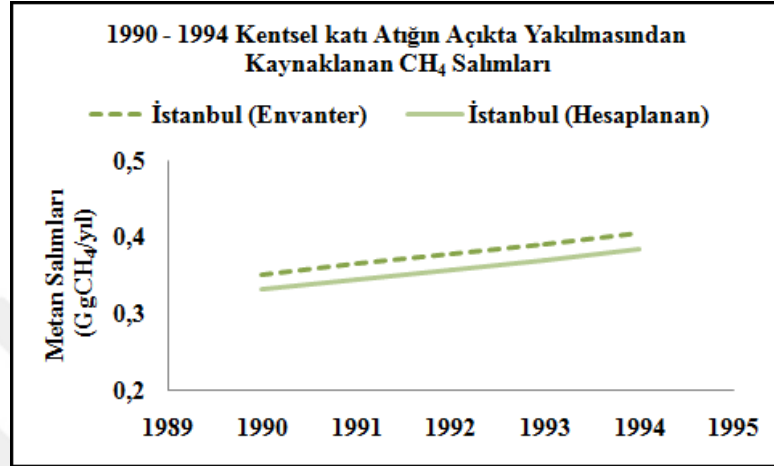
Şekil 4.7: 1990 – 1994 KKA'nın açıkta yakılması kaynaklı CO₂ salımları



Açıkta yakma kaynaklı metan salımları (Şekil 4.8) karşılaştırıldığında ise (şekil 4.8), ulusal envanter ve bu çalışmanın değerlerinin ondalık derecelerde fark ettiği görülmektedir. Çünkü açıkta yakma kaynaklı metan salımlarının tahmininde,

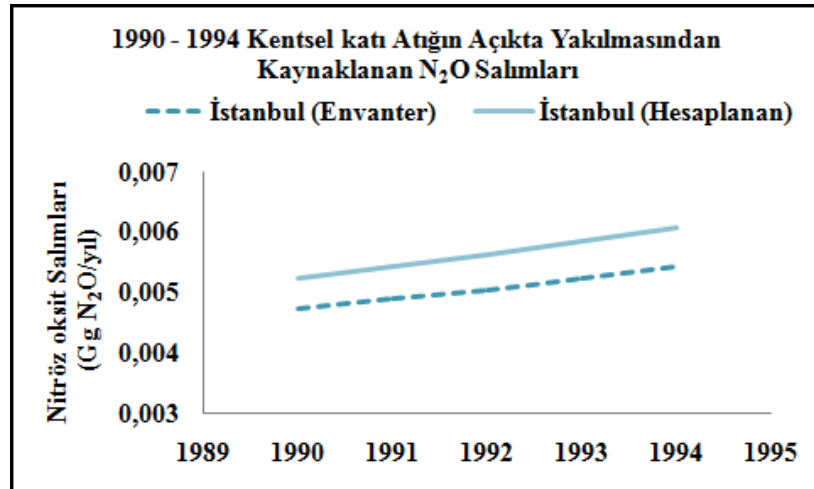
yakılan atık kompozisyonu karbondioksit salımlarının hesaplanmasında olduğu gibi önem arz etmemektedir.

Şekil 4.8: 1990 – 1994 KKA’nın açıkta yakılması kaynaklı CH_4 salımları



Açıkta yakma kaynaklı nitroz oksit salımlarının, metan salımlarının aksine, bu kez İstanbul için yürütülen tahminlerde Türkiye’nin çıktılarına göre fazla bulunması yine KKA kompozisyonlarının farkından kaynaklanmaktadır (Şekil 4.9). Açıkta yakma kaynaklı nitroz oksit salımları belirlenirken, atık bileşenlerinin kuru bazda dikkate alındığı için, kuru madde içeriği yüksek bileşenin atık içindeki oranı oluşan salım miktarını değiştirmektedir.

Şekil 4.9: KKA’nın açıkta yakılması kaynaklı N_2O salımları



Öneriler

İstanbul’da kentsel katı atık kaynaklı sera gazı salımlarının tahminine yönelik yürütülen bu çalışmada elde edilen bulgular, 1990 – 2016 Ulusal Envanter Raporu’nda belirlenen sonuçlarla karşılaştırılmış ve arada önemli farklar olduğu, sera gazları ulusal envanter raporunda daha düşük değerlerin verildiği sonucuna ulaşılmıştır. Yerel ölçekte yapılan hesaplamalarla ülke ölçeğinde yapılan hesaplamaların arasındaki farkların giderilmesi için çeşitli öneriler aşağıda verilmiştir.

İnsan kaynaklı iklim değişikliğinin günümüzdeki baskın nedeni olan sera gazı salımlarındaki artışın durdurulabilmesi için çeşitli kaynakların ve faaliyetlerin meydana getirdiği salımların gerçeğe yakın doğrulukta belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için ülke ölçeğinde hazırlanan sera gazı envanterlerinin, ortak metodoloji kullanılarak yerel düzeyler için hazırlanmalıdır. Kentsel katı atık gibi tüm bileşenleri (oluşum, içerik, yönetim) zamansal, mekânsal, kültürel ve insani olgulara bağlı olarak sürekli değişen bir kaynaktan salınan sera gazlarının tümünden gelen değil, tüme varan bir yaklaşımla belirlenmesi bu salımların azaltılmasına yönelik daha doğru bir yolun izlenmesini sağlayacaktır.

IPCC Ulusal Sera Gazı Envanterleri (2006) Kılavuzu’nun KKA kaynaklı sera gazı salımlarının belirlenmesi için sunduğu metodoloji kentsel katı atık oluşumu, içeriği, yönetimine dair verilerle ile emisyon faktörleri ve parametrelerin kullanımını gerektirmektedir. Bu girdilerden herhangi biri için ülkeye özgü veri bulunmaması halinde, kılavuzda (2006) sunulan varsayılan (default) değerler kullanılmaktadır. Ülkeye özgü yöntemlerin veya ülkeye özgü anahtar parametrelerin ve yüksek kalitede faaliyet verisinin IPCC yöntemleriyle birlikte kullanımını öngören bir tahmin anlayışının (Tier 3) izlenmesi salımların daha doğru ve güvenilir şekilde belirlenmesini sağlayacaktır. Bunun için hesaplamalarda kullanılan emisyon faktörleri ve parametrelerin ülke çapında yürütülecek (yerinde ölçüm teknolojilerinin kullanıldığı) saha ve laboratuvar çalışmaları aracılığıyla ortaya konması gerekmektedir.

Ülkeye özgü seçilen emisyon faktörleri ve parametrelerin aynı zamanda yerele özgü durumları da kapsamı gerekmektedir. Bu faktörlerden birinin farklı bir değer olarak dikkate alınması (bu çalışma ve ulusal envanterde farklı k değerlerinin seçilmesi gibi) salım tahminlerini önemli ölçüde değiştirebilmektedir. Bahsedilen çalışmaların yerel düzeyde yapılması salımların tahmini için kullanılmakta olan yöntem ve faktörlerin, gerçeğe daha yakın çıktılar oluşturacak biçimde güncellenmesine yardımcı olacak, varsayılan faktör ve parametreler yerine ülke/kente özgü belirlenen değerlerin dikkate alınması salım tahminlerinde ortaya çıkan belirsizlikleri azaltacaktır.

KKA kaynağı üzerinden ulusal düzeyde yürütülen envanter çalışması kişi başına katı atık miktarı ve bileşiminin tüm ülke için aynı alınmasından dolayı çok sağlıklı değildir. Bunun yerine hesaplamalar kent ölçeğinde yapılmalı ve kente özgü olarak belirlenen parametreler kullanılmalıdır.

Ulusal olarak hazırlanan bir sera gazı envanterinde kişi başı KKA oluşumunu, o ülkede yaşayanların atık oluşturma seviyesini yansıtan ortalama bir değer olarak alınmaktadır. Bu ortalama değer in ülke sınırları içinde yaşayan herkesin oluşturduğu atık miktarını yansıtmaması oldukça zordur. Sera gazı envanterinin kent ölçeğinde hazırlanması halinde kişi başı KKA oluşumu şehirler özelinde belirlenebilecektir. İkinci olarak oluşan bu atığın içeriğinin büyük bir coğrafya için ortalama bir set olarak sunulması yerine, şehirlerde düzenli periyotlarla yürütülecek karakterizasyon çalışmalarının kullanımı atık oluşumunu daha gerçekçi olarak yansıtabilecektir.

Kentsel katı atığın yönetimi (atık toplama, uzaklaştırma faaliyetleri vs.) de ülkeler arasında olduğu gibi şehirlerarasında da farklılık gösterebilmektedir. Örneğin Türkiye envanterinde KKA'nın ulusal yönetimine dair verilen bilgiler İstanbul'daki durumu yansıtmamaktadır. Bu nedenle KKA yönetimi verilerinin bu yönetimden sorumlu yerel yönetimler tarafından kayıt altına alınıp, oluşturulacak yerel envanterde kullanımı daha doğru sonuçları beraberinde getirecektir.

Kentsel katı atık kaynağına dair tüm verilerin (oluşum, içerik, yönetim, salım) doğruluğu ölçülebilir ve kabul edilebilir seviyede mevcut olması ve bunların

kamuyla şeffaf ve güvenilir bir biçimde paylaşılması şarttır. Kurumların bilgi paylaşımından çeşitli mazeretler öne sürerek kaçınması bilimsel çalışmalar için büyük bir engel teşkil etmektedir.

Belirtilen bu yaklaşımların izlenmesi halinde hazırlanan envanterler daha kaliteli olabilecek ve insan kaynaklı iklim değişikliğiyle mücadeleye yönelik etkili politikaların üretilmesi sağlanacaktır.



KAYNAKÇA

- ARIKAN, O., TORÖZ, İ.: 1999 "Investigation on solid waste recycling in Istanbul". **City Administration Human and Environment Problems 99 Symposium**, 263–272. Istanbul, Turkey.
- ARNOLD, M.: 2005 Espoo: VTT Processes: Unpublished material from measurements from biowaste composts. (Personal communication).
- ASLAN, Z., GİDEN, F., KOYUNCU, H., KALAFAT, A.: 2016 "İstanbul'un Asya ve Avrupa Bölgeleri'nde hava sıcaklığı ve yağış miktarı değişimleri". **Doğal Afetler ve Çevre Dergisi 2(1):11-29**. DOI: 10.21324/dacd.75393
- ASSAAD, R.: 1996 "Formalizing the informal? The transformation of Cairo's refuse collection system". **Journal of Planning Education and Research 16(2):115–26**.
- BAŞTÜRK, A.: 1987 "Türkiye'nin katı atık özellikleri ve bertarafı için uygun teknolojiler". **Türk – Alman Çevre Teknolojisi Semineri**, 16 – 18 Eylül 1987, İstanbul, Türkiye.
- BECK-FRIIS, B.G.: 2001 **Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane during composting of organic household waste**. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences. 331 s. (Doktora Tezi).
- BEIGL, P., LEBERSORGER, S., SALHOFER, S.: 2008 "Modelling municipal solid waste generation: A review". **Waste Management 31:1907-1915**.
- BERKUN, M., ARAS, E., NEMLİOĞLU, S.: 2005 "Disposal of solid waste in Istanbul and along the Black Sea coast of Turkey". **Waste Management 25:847-855**.
- BLANCO G., GERLAGH, R., SUH, S., BARRETT, J., DE CONINCK, H. C., DIAZ MOREJON, C. F., MATHUR, R., NAKICENOVIC, N., OFOSU AHENKORA, A., PAN, J., PATHAK, H., RICE, J., RICHEL, R., SMITH, S. J., STERN, D. I., TOTH, F. L., ZHOU, P.: 2014 "Drivers, trends and mitigation". **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- BOGNER, J., ABDELRAFIE AHMED, M., DIAZ, C., FAAL, A., GAO, Q., HASHIMOTO, S., MARECKOVA, K., "Waste Management". **Climate Change 2007: Mitigation**. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United

- PIPATTI, R., ZHANG, T.: 2007 Kingdom and New York, NY, USA.
- BURNLEY, S.J.: 2007 “A review of municipal solid waste composition in the United Kingdom”. **Waste Management 27:1274-1285.**
- CHETTIPARAMB, A.: 2012 “Municipal solid waste”. Jorgensen, S.E. (ed.) **Encyclopedia of environmental management**. CRC Press, s. 2415-2422. ISBN 9781439829271
- CH2M Hill-Antel.: 1993 Feasibility Study on Solid Waste Management in the Metropolitan Istanbul Municipality. Final Report.
- CURI, K.: 1987 “Katı atıkların kullanımı ve geri kazanma teknolojisinin Türkiye’deki şimdiki ve gelecekteki durumu”. **Türk – Alman Çevre Teknolojisi Semineri**, 16 – 18 Eylül 1987, İstanbul, Türkiye.
- C40: 2015 **City Climate Hazard Taxonomy.**
- C40: 2015 “Why Cities?”. **C40 Fact Sheet**. Londra.
- C40: 2018 (Çevrimiçi) <https://staging.c40.org/programmes/the-global-protocol-for-community-scale-greenhouse-gas-emission-inventories-gpc>, 13 Nisan 2018
- ÇŞB, 2013 **İstanbul İli 2012 Yılı Çevre Durum Raporu**. İstanbul, 2013.
- ÇŞB, 2017 **İstanbul İli 2016 Yılı Çevre Durum Raporu**. İstanbul, 2017.
- DEN BOER, E., JEDRCZAK, A., KOWALSKI, Z., KULCZYCKA, J., SZPADT, R.: 2010 “A review of municipal solid waste composition and quantities in Poland”. **Waste Management 30:369-377.**
- DESROCHERS, P.: 2002 “Industrial ecology and the rediscovery of inter-firm recycling linkages: historical evidence and policy implications”. **Industrial Corporate Change 11(5):1031–57.**
- DETZEL, A., VOGT, R., FEHRENBACH, H., KNAPPE, F., GROMKE, U.: 2003 Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Emissionsermittlung und internationale Richtlinien: Teilbericht Abfall/Abwasser. IFEU Institut - Öko-Institut e.V. 77 s.
- DİE.: 1995 **Environmental Statistics**, DIE Press, Ankara, Turkey.
- ENVIRONMENT CANADA: 2003 **Canada’s Greenhouse Gas Inventory 1990-2001**. 8. Waste. Greenhouse Gas Division August 2003. The Green

line Environment Canada's Worldwide Web Site.

- FISCHEDECK, M., ROY, J., ABDEL-AZİZ, A., ACQUAYE, A., ALLWOOD, J. M., CERON, J.-P., GENG, Y., KHESHGI, H., LANZA, A., PERCZYK, D., PRICE, L., SANTALLA, E., SHEINBAUM, C., TANAKA, K.: 2014 "Industry". **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- GLOBAL CITY INDICATORS FACILITY: 2013 "Data, boundaries, competitiveness: the toronto urban region in global context".
- GOOGLE EARTH: 2018 (Çevrimiçi) <https://earth.google.com/web/@41.0053215,29.01217945,2.68977964a,140346.61603058d,35y,0h,0t,0r>, 18 Nisan 2018
- HAUSFATHER, Z.: 2017 "Analysis: global CO2 emissions set to rise 2% in 2017 after Three-Year 'Plateau'." **CarbonBrief**, November 13. <https://www.carbonbrief.org/analysis-global-co2-emissions-set-to-rise-2-percent-in-2017-following-three-year-plateau>.
- HELLEBRAND, H.J.: 1998 "Emissions of nitrous oxide and other trace gases during composting of grass and green waste", **Journal of Agricultural Engineering Research** 69:365-375.
- HGK: 2014 1:1.000.000 Ölçekli Türkiye Mülki İdare Bölümleri Haritası.
- HOORNWEG, D. A., BHADA-TATA, P.: 2012 "What a waste: a global review of solid waste management". **Urban development series knowledge papers**; no. 15. Washington, DC : World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/302341468126264791/What-a-waste-a-global-review-of-solid-waste-management>
- İBB: 2013 **2010 GHG Inventory of Istanbul Metropolitan Area**. April 2013.
- İBB: 2016 1995 öncesi İstanbul'da KKA yönetimi üzerine bilgiler. Kişisel görüşme.
- İBB: 2017 İstanbul'da depo gazından üretilen enerji miktarı. İBB Atık Yönetimi Müdürlüğü. Kişisel görüşme.
- İBB: 2018 **İstanbul iklim Değişikliği Eylem Planı Sera Gazı Envanteri 2015**.

- IPCC: 2006 **2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan.
- IPCC: 2007 **Climate Change 2007 - The Physical Science Basis** Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC (ISBN 978 0521 88009-1 Hardback; 978 0521 70596-7 Paperback)
- IPCC: 2014 **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 s.
- İSTAÇ: 2016 İstanbul’da 2005, 2006, 2007, 2009, 2010 yıllarına ait KKA karakterizasyonları. Kişisel görüşme.
- İSTAÇ: 2017 İstanbul’da 1995-2016 arasında düzenli depolanan; 2001-2016 arasında kompostlaştırılan yıllık KKA miktarı ve mevcut KKA yönetimi. Kişisel görüşme.
- JRC / PBL.: 2013 Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), Release Version 4.2 FT2010. European Commission, Joint Research Centre (JRC) / PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. <http://edgar.jrc.ec.europa.eu>.
- KANAT, G.: 2010 “Municipal solid-waste management in Istanbul”. **Waste Management 30:1737-1745**.
- KARAK, T., BHAGAT, R. M., BHATTACHARYYA, P.: 2012 “Municipal solid waste generation, composition, and management: the world scenario”. Critical Reviews in **Environmental Science and Technology**, 42:1509-1630.
- KAZA, S., YAO, L. C., BHADA-TATA, P., VAN WOERDEN, F.: 2018 **What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. Urban Development;. Washington, DC: World Bank. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317> License: CC BY 3.0 IGO.
- KIRSCHKE, S., BOUSQUET, P., CIAIS, P., SAUNOIS, M., CANADELL, J.G., DLUGOKENCKY, E.J., BERGAMASCHI, P., BERGMANN, D., BLAKE, D.R., BRUHWILER, L., CAMERON-SMITH, P.,

CASTALDI, S., &
CHEVALLIER, F., FENG,
L., FRASER, A.,
HEIMANN, M., HODSON,
E., HOUWELING, S.,
JOSSE, B., ZENG, G.: 2013

KUMAR, S.: 2016

Municipal Solid Waste Management in Developing Countries. Boca Raton: CRC Press. 1. ed. 200 s.

MCDONOUGH, W.: 2002

Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things. New York: North Point.

MCDUGALL, F., WHITE,
P., FRANKE, M., HINDLE,
P.: 2001

Integrated Solid Waste Management: A Life Cycle Inventory. Oxford, UK/Malden, MA: Blackwell Sci. 2. ed.

MESSINEO, A., PANNO,
D.: 2008

“Municipal waste management in Sicily: Practices and challenges”. **Waste Management 28:1201-1208.**

MGM: 2018

(çevrimiçi) <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=ISTANBUL>, 19 Nisan 2018

MGM: 2018

(Çevrimiçi) <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=ISTANBUL>, 19 Nisan 2018

OECD: 2018

(Çevrimiçi) <https://data.oecd.org/waste/municipal-waste.htm>, 9 Aralık 2018.

OLIVIER, J.G.J., SCHURE,
K.M., PETERS, J.A.H.W.:
2017

“Trends in global CO₂ and total greenhouse gas emissions: 2017 report”. 69 s.

PELT, R., BASS, R.L.,
HEATON, R. E., WHITE,
CH., BLACKARD, A.,
BURKLIN, C. AND
REISDORPH, A.: 1998

User’s Manual Landfill Gas Emissions Model Version 2.0. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C. February 1998, 94 s.

PETERSEN, S.O., LIND,
A.M., SOMMER, S.G.: 1998

“Nitrogen and organic matter losses during storage of cattle and pig manure”. **Journal of Agricultural Science 130:69-79.**

RATHJE, W.L.: 1992

Rubbish!: The Archaeology of Garbage. New York: HarperCollins.

SAUNOIS, M.,
BOUSQUET, P.,
POULTER, B., PEREGON,
A., CIAIS, P., CANADELL,
J. G., DLUGOKENCKY, E.

“The global methane budget 2000–2012”. **Earth System Science Data 8:697-751**, <https://doi.org/10.5194/essd-8-697-2016>.

J., ETIOPE, G.,
BASTVIKEN, D.,
HOUWELING, S.,
JANSSENS-MAENHOUT,
G., TUBIELLO, F. N.,
CASTALDI, S., JACKSON,
R. B., ALEXE, M., ARORA,
V. K., BEERLING, D. J.,
BERGAMASCHI, P.,
BLAKE, D. R.,
BRAILSFORD, G.,
BROVKIN, V.,
BRUHWILER, L.,
CREVOISIER, C., CRILL,
P., COVEY, K., CURRY,
C., FRANKENBERG, C.,
GEDNEY, N., HÖGLUND-
ISAKSSON, L.,
ISHIZAWA, M., ITO, A.,
JOOS, F., KIM, H.-S.,
KLEINEN, T., KRUMMEL,
P., LAMARQUE, J.-F.,
LANGENFELDS, R.,
LOCATELLI, R.,
MACHIDA, T.,
MAKSYUTOV, S.,
MCDONALD, K. C.,
MARSHALL, J., MELTON,
J. R., MORINO, I., NAIK,
V., O'DOHERTY, S.,
PARMENTIER, F.-J. W.,
PATRA, P. K., PENG, C.,
PENG, S., PETERS, G. P.,
PISON, I., PRIGENT, C.,
PRINN, R., RAMONET, M.,
RILEY, W. J., SAITO, M.,
SANTINI, M.,
SCHROEDER, R.,
SIMPSON, I. J., SPAHNI,
R., STEELE, P.,
TAKIZAWA, A.,
THORNTON, B. F., TIAN,
H., TOHJIMA, Y., VIOVY,
N., VOULGARAKIS, A.,
VAN WEELE, M., VAN
DER WERF, G. R., WEISS,
R., WIEDINMYER, C.,
WILTON, D. J.,
WILTSHIRE, A.,
WORTHY, D., WUNCH,
D., XU, X., YOSHIDA, Y.,

- ZHANG, B., ZHANG, Z.,
ZHU, Q.: 2016
- SERENGİL, Y.: 2002 **Belgrad Ormanında Yağışların, Akarsuların Kalite Parametreleri Üzerindeki Etkileri.** Doktora tezi. İstanbul: İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- TCHOBANOGLOUS, G.,
KREITH, F.: 2002 **Handbook of Solid Waste Management.** New York: McGraw-Hill. 2. ed.
- THEMELIS N. J., ULLOA,
P. A.: 2007 “Methane generation in landfills”. **Renewable Energy** **32:1243-1257.** doi: 10.1016 / j.renene.2006.04.020, ISSN: 0960-1481.
- TUROĞLU, H.: 2014 “Detection of changes on temperature and precipitation features in Istanbul (Turkey)”. **Atmospheric and Climate Sciences** **4:549-562.** doi: 10.4236/acs.2014.44050.
- TÜİK: 1991 **Çevre İstatistikleri: Belediye Atık istatistikleri 1991,** No. 1704, Ankara, Türkiye.
- TÜİK: 2018 **Turkish Greenhouse Gas Inventory 1990 – 2016.**
- TÜİK: Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi, (Çevrimiçi)
http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1059
- TÜİK: 1950, 1955, 1960, 1965, 1970, 1975, 1980, 1985, 1990, 1997, 2000 İstanbul Genel Nüfus Sayımları, (Çevrimiçi)
<https://kutuphane.tuik.gov.tr/yordambt/yordam.php>
- UN: 1992 **United Nations Framework Convention On Climate Change.** FCCC/INFORMAL/84 GE.05-62220 (E) 200705.
- UN: 2015 **Paris Agreement,** (Çevrimiçi)
https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf.
- UN HABITAT: 2010 **Solid Waste Management in the World’s Cities.** London: UN Hum. Settl. Programme.
- UN HABITAT: 2011 **Global Report On Human Settlements 2011: Cities and Climate Change.**
- UN HABITAT: 2016 **World Cities Report 2016: Urbanization and Development - Emerging Futures,** United Nations, New York, <http://dx.doi.org/10.18356/d201a997-en>.
- UNEP.: 2012 **The Emissions Gap Report 2012.** United Nations Environment Programme (UNEP), Nairobi.

- UNFCCC: 2018 (Çevrimiçi) <https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/reporting-and-review-under-the-convention/greenhouse-gas-inventories-annex-i-parties/national-inventory-submissions-2018>, 15 Nisan 2018
- URL 1 (Çevrimiçi) <http://iklim.cob.gov.tr/iklim/AnaSayfa/BMIDCS.aspx?sflang=tr>, 12 Nisan 2018
- URL 2 (Çevrimiçi) <https://istanbulharitasi360.com/carte/image/tr/istanbul-ilce-haritasi.jpg>, 18 Nisan 2018
- URL 3 (Çevrimiçi) <http://www.mfa.gov.tr/paris-anlasmasi.tr.mfa>, 18 Eylül 2018
- URL 4 (Çevrimiçi) <https://www.iklim.istanul/iklim/>, 18 Nisan 2018
- USEPA: 2012 **Global Anthropogenic Non-CO₂ Greenhouse Gas Emissions: 1990-2030**. Washington, DC 20460.
- VERGARA, S. E., TCHOBANOGLOUS, G.: 2012 “Municipal solid waste and the environment: A global perspective”. **The Annual Review of Environment and Resources**, 2012 (37):277-309. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-050511-122532>
- VESTERINEN, R.: 1996 “Impact of waste management alternatives on greenhouse gas emissions: Greenhouse gas emissions from composting”. **Jyväskylä: VTT Energy**. Research report ENE38/T0018/96. (In Finnish). 30 s.
- WILLIAMS, P. T.: 2005 **Waste Treatment and Disposal**. West Sussex, UK:Wiley. 380 s.
- WORLD BANK. 2018 “The CURB Tool: Climate Action for Urban Sustainability.” World Bank, Washington, DC. www.worldbank.org/curb.
- WRI, C40, ICLEI: 2014 **Global Protocol for Community-Scale Greenhouse Gas Emission Inventories: An Accounting and Reporting Standard for Cities**.
- YILDIZ, S., YAMAN, C., DEMİR, G., OZCAN, H. K., COBAN, A., OKTEN, H. E., SEZER, K., GOREN, S.: 2013 “Characterization of municipal solid waste in Istanbul, Turkey”. **Environmental Progress & Sustainable Energy** 32:734-739. doi:10.1002/ep.11640
- ZHANG, D.Q., KEAT, T.S., GERSBERG, R.M.: 2010 “A comparison of municipal solid waste management in Berlin and Singapore”. **Waste Management** 30:921-933.