

TÜRKİYE VE İSTANBUL'DA KENTSEL KATI ATIK KAYNAKLI SERA GAZI SALIMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Ece TURHAN^{1(*)}, Doğanay TOLUNAY²

¹ İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İklim Değişikliği Yüksek Lisans Programı, Beyazıt/İstanbul

² İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Toprak İlmî ve Ekoloji Anabilim Dalı, Bahçeköy/İstanbul

ÖZET

Kentsel katı atıklar, fosil yakıt kullanımı ya da arazi kullanımı, arazi kullanım değişiklikleri ve ormancılık (LULUCF) kadar olmasa da önemli sera gazı kaynaklarıdır. Kentsel katı atıklar atıksulardan kaynaklanan salımlarla birlikte küresel sera gazı salımlarına % 3 kadar katkı yapmaktadır. Atık sektöründen kaynaklanan sera gazlarının önemli bir kısmını küresel ısınma potansiyeli karbondioksitin katkısından 25 kat fazla olan metan oluşturmaktadır. Bu metan salımının büyük çoğunluğu da kentsel katı atık yönetiminden kaynaklanmaktadır. Ülkemizde ve dünyada nüfusun hızla arttığı ve bu nüfusun çoğunluğunun büyük kentlerde yaşadığı dikkate alındığında kentsel katı atık kaynaklı salımların yakın gelecekte daha da artabileceği ortadadır.

Ülkemizin Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Sekretaryası'na 2017 yılında verdiği Sera Gazları Ulusal Envanter Raporu'nda atık sektöründen (atıksu hariç) kaynaklanan brüt sera gazı salımları 2015 yılı için 17,2 milyon ton CO₂ eşdeğeri olarak belirtilmiştir. Tüm atık sektörü için verilen net değer toplam sera gazı salımlarımızın % 3,6'sını oluşturmaktadır. Sera Gazları Ulusal Envanter Raporu'nda atıklardan kaynaklanan salımlar IPCC (2006) kılavuzunda açıklanan yöntemler ve yine kılavuzda verilen emisyon faktörleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu envanterde katı atık kaynaklı emisyon hesaplamaları kişi başı günlük katı atık miktarından hareketle yapılmıştır. Buna göre İstanbul'da katı atıklardan (endüstriyel katı atık dahil) kaynaklanan sera gazı salımları 3,2 milyon ton CO₂ eşdeğerine denk gelmektedir. Ancak ülkemizde kentsel katı atıklarla ilgili veri kalitesinin oldukça zayıf ve hesaplamalardaki belirsizliklerin son derece fazla olduğunu söylemek mümkündür. Sunulan bu çalışma ile İstanbul'da kentsel katı atıklardan kaynaklanan salımlar yine IPCC (2006) kılavuzunda verilen yöntemler ve İstanbul özelinde temin edilen verilerle hesaplanmıştır. Fakat katı atıklarla ilgili tutulan kayıtların yeterince sağlıklı olmadığı, verilere ulaşmanın neredeyse imkânsız olduğu ortaya çıkmıştır. Veri elde etmekte yaşanan güçlüklerle rağmen, İstanbul için kentsel katı atıklardan kaynaklanan sera gazı salımlarının Ulusal Sera Gazı Envanter Raporu'nda verilen değerlerden daha yüksek olduğu (4,9 milyon ton CO₂ eşdeğ.) belirlenmiştir. Bu bulgular ışığında kentsel katı atık kaynaklı emisyonların yerel ölçekte hesaplanması, katı atık yönetimi ile ilgili verilerin düzenli olarak tutulması ve kamuoyuyla paylaşılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Kentsel Katı Atık, Sera Gazları, Metan, Küresel Isınma, İstanbul

(*) turhanec@gmail.com

ABSTRACT

Municipal solid waste (MSW) is an important greenhouse gases source even if not as much as fossil fuel use or land use and land use changes and forestry (LULUCF). Municipal solid waste contributes up to 3 % to global greenhouse gas emissions, along with emissions from wastewater. A significant proportion of the greenhouse gases from the waste sector is methane which has 25 times higher global warming potential than carbon dioxide does. The vast majority of this methane emission originates from MSW management practises. When it is considered that the population in both our country and world spikes up and this population lives in big cities, emissions from MSW are likely to increase further in the near future.

In Turkey's Greenhouse Gases National Inventory Report submitted to United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) Secretariat in 2017, gross greenhouse gases emissions from waste sector (excluding wastewater) are stated as 17,2 million tonnes CO₂ equivalent for the year of 2015. The net emission value for whole waste sector is 3,6 % of our total greenhouse gases emissions. Greenhouse gases emissions from waste specified in Greenhouse Gases National Inventory Report are determined by using of methods and emission factors given in IPCC (2006) guidelines. In this inventory, emissions from solid waste are calculated with reference to daily MSW generation rate per capita. Accordingly, greenhouse gases emissions from solid waste (including industrial solid waste) in Istanbul are equal to 3,2 million tonnes CO₂ equivalent. However, it is possible to say that data quality related with MSW in our country is quite weak and there are too much uncertainties in calculations. Emissions from MSW in Istanbul are determined through the methods given in IPCC (2006) guidelines and data obtained specific to the city of Istanbul with this study presented, but it emerges that the records kept on solid wastes are not reliable enough, access to data is almost impossible. Despite the difficulties in obtaining data, it is defined that greenhouse gases emissions from MSW in Istanbul (4,9 Mt CO₂ eq.) are higher than the values in Greenhouse Gases National Inventory Report. These findings led to the conclusion that emissions from municipal solid waste should be determined at local scale, solid waste management data should be kept regularly and shared with the public.

KEYWORDS

Municipal Solid Waste, Greenhouse Gases, Methane, Global Warming, Istanbul

1. GİRİŞ

Tanımlaması ülkeden ülkeye farklılık gösteren, genellikle belediyeler veya diğer yerel otoriteler tarafından toplanan atık olarak ifade edilen kentsel katı atık (KKA), evsel; park/bahçe, ticari/kurumsal atıklardan oluşmaktadır (IPCC, 2006). Kentsel katı atık yönetimi ve atıksu mevcut küresel insan kaynaklı sera gazı salımlarına yaklaşık % 3 seviyesinde katkı yapmakta ve bu değer azaltılmaması halinde, 2020 yılına kadar iki, 2050'ye kadar ise dört katına çıkabileceği tahmin edilmektedir (UN HABITAT, 2009).

IPCC (2006) kılavuzunda belirtildiği üzere, KKA'dan kaynaklanan sera gazlarının büyük bir kısmını organik maddenin oksijensiz ortamda ayrışmasından oluşan CH₄ oluşturmaktadır. CH₄'e

ek olarak, katı atık uzaklaştırma sahaları ayrıca biyogenik karbondioksit (CO₂), metan harici uçucu organik bileşikler (NMVOCs) ve daha az miktarlarda diazot monoksit (N₂O), azot oksitler (NO_x), karbon monoksit (CO) emisyonları oluşabilmektedir. Atık sektöründen kaynaklanan sera gazı salımlarının hesaplanmasında genellikle IPCC (2006) kılavuzu kullanılmaktadır. Bu kılavuz katı atığın depolanması sonucu açığa çıkan depo gazının (LFG) içerdiği CH₄, katı atığa uygulanan biyolojik işlemlerden (kompostlaştırma, anaerobik çürütme) kaynaklanan CH₄, N₂O; katı atığın çöplüklerde açıkta yakılması veya tesislerde tam yakılmasından kaynaklanan CO₂, CH₄ ve N₂O salımlarının tahmin edilmesine yönelik metodolojiyi içermektedir. NMVOCs, NO_x ve CO salımlarının hesaplanması içinse Birleşmiş Milletler Avrupa Ekonomik Komisyonu (UNECE) Uzun Menzilli Sınır Ötesi Hava kirliliği Sözleşmesi (CLRTAP) gibi diğer sözleşmeler kapsamında hazırlanmış kılavuzlarda bulunmaktadır. Katı atık uzaklaştırma sahalarında açığa çıkan NO₂ salımları önemli olmadığı için bunlara ait metodoloji bulunmamaktadır. Organik maddenin ayrışması sırasında oluşan CO₂ salımları ise Tarım, Ormancılık ve Diğer Arazi Kullanımları (AFOLU) sektörü kapsamında hesaplandığı için atık sektörü için yeniden hesaplanmamaktadır.

KKA'dan oluşan CO₂, CH₄, N₂O gibi sera gazı salımlarının Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) altında imzası bulunan ülkeler tarafından ulusal düzeyde yıllık olarak belirlenip, BMİÇDS Sekretaryası'na beyan edilmesi zorunludur. Ülkemiz tarafından da hazırlanan sera gazları ulusal envanter raporunda 2015 yılı için atık sektöründen 16,9 milyon ton CO₂ eşdeğeri net sera gazı salımı olduğu hesaplanmış olup, bunun 12,5 milyon tonunun katı atıklardan kaynaklandığı ifade edilmektedir (NIR Turkey, 2017). Atık sektöründen kaynaklanan sera gazı salımları toplam sera gazı salımlarımızın % 3,6'sına, (daha az etkiye sahip endüstriyel katı atık ile birlikte) KKA'dan kaynaklanan sera gazları ise % 2,7'sine karşılık gelmektedir. Ancak IPCC (2006) kılavuzunda verilen yöntemlerle ülkemiz geneli için yapılan hesaplamalarda kentsel katı atıklarla ilgili veri kalitesinin oldukça zayıf ve hesaplamalardaki belirsizliklerin son derece fazla olduğunu söylemek mümkündür. Bu nedenle sunulan bu çalışma ile İstanbul ili için yine IPCC (2006) kılavuzunda verilen yöntemler kullanılarak KKA'dan kaynaklanan sera gazı salımlarının yeniden hesaplanması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOT

IPCC (2006) Kılavuzuna göre KKA'dan kaynaklanan sera gazı salımlarının hesaplanabilmesi için yıllık atık miktarı, oluşan atıkların karakteri ve atık yönetimi ile ilgili verilerin toplanması gerekmektedir. Aşağıda bu verilerin toplanma yöntemi açıklanmıştır.

2.1. İstanbul'da oluşan kentsel katı atık miktarının tahmini

KKA'ın yıllık oluşum miktarı genellikle kişi başına düşen katı atık miktarı ile nüfusun çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. Bunun için öncelikle İstanbul'un nüfusu belirlenmiştir (Tablo 1). Gerek vahşi gerekse düzenli depo alanlarındaki atıklardan oluşan sera gazı salımları, oluşum süreçleri nedeniyle, uzun yıllar devam edebilmektedir. Bunun için İstanbul'un sera gazı salımları 1990-2016 yılları için tahmin edilse de önceden depolanan atıklardan kaynaklanan sera gazlarının hesaplanması için İstanbul'da oluşan atık miktarı 1953 yılından itibaren hesaplanmıştır. Nüfus verileri TÜİK Genel Nüfus Sayım Sonuçları ve Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi'nden (ADNKS) alınmıştır. Nüfus sayımı bulunmayan yılların nüfusları sayım yapılmış yıllar arasındaki ortalama nüfus artış hızlarından hareketle belirlenmiştir.

Tablo 1. 1950-2016 yılları arasında İstanbul'un Nüfusu¹

Yıl	Avrupa	Anadolu	Toplam	Yıl	Avrupa	Anadolu	Toplam
1950*	872.598	237.827	1.110.425	2000*	6.518.082	3.500.653	10.018.735
1955*	1.182.256	324.895	1.507.151	2001	6.730.315	3.618.867	10.349.182
1960*	1.441.054	407.937	1.848.991	2002	6.949.458	3.741.074	10.690.532
1965*	1.756.374	500.359	2.256.733	2003	7.175.737	3.867.407	11.043.144
1970*	2.281.249	695.094	2.976.343	2004	7.409.384	3.998.007	11.407.390
1975*	2.820.388	1.029.164	3.849.552	2005	7.650.638	4.133.016	11.783.654
1980*	3.264.393	1.401.710	4.666.103	2006	7.899.748	4.272.585	12.172.333
1985*	3.942.005	1.810.752	5.752.757	2007**	8.156.969	4.416.867	12.573.836
1990*	4.734.857	2.460.916	7.195.773	2008**	8.232.849	4.464.315	12.697.164
1991	4.898.385	2.552.425	7.450.810	2009**	8.360.446	4.554.712	12.915.158
1992	5.067.947	2.647.583	7.715.530	2010**	8.571.374	4.684.311	13.255.685
1993	5.243.790	2.746.538	7.990.327	2011**	8.802.498	4.821.742	13.624.240
1994	5.426.174	2.849.440	8.275.614	2012**	8.963.431	4.891.309	13.854.740
1995	5.615.370	2.956.450	8.571.820	2013**	9.162.919	4.997.548	14.160.467
1996	5.811.663	3.067.732	8.879.395	2014**	9.301.455	5.075.563	14.377.018
1997*	6.015.351	3.183.458	9.198.809	2015**	9.474.894	5.182.540	14.657.434
1998	6.177.250	3.281.791	9.459.041	2016**	9.575.748	5.228.368	14.804.116
1999	6.344.737	3.387.202	9.731.939				

* TÜİK Genel Nüfus Sayımı Sonuçları; ** TÜİK ADNKS Verileri; ¹ 1995 senesine kadar idari bölünüşte İstanbul'un bir ilçesi olarak yer alan Yalova bu çalışmanın dışında bırakılmıştır.

İstanbul'da kişi başına oluşan atık miktarı ile ilgili olarak 1997-2016 yılları arası için İSTAÇ'tan elde edilen değerler, daha önceki yıllardaki kişi başı atık miktarı ile ilgili olarak çeşitli kaynaklarda belirtilen değerler kullanılmıştır. 1994 yılı öncesi için OECD (2017) tarafından verilen değerler temel alınmıştır. 1995 yılı içinse DİE (1995) tarafından verilen değer kullanılmıştır (Tablo 2). Ancak İstanbul'un Avrupa ve Anadolu yakalarında köy/kentte yaşayan nüfus dağılımının, sosyo-ekonomik şartların farklı olması gibi kentsel katı atık oluşumunu etkileyen faktörlerdeki değişimler nedeniyle Avrupa yakasında atık oluşum miktarlarının Anadolu yakasına göre 1,2 oranında yüksek olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca hesaplamalarda başka kabuller de yapılmıştır. Örneğin İstanbul'da 1953 senesine kadar denize dökülen ve bu tarihten sonra şehrin belirli alanlarında düzensiz olarak depolanmaya başlanan (İBB Atık Yönetimi Müdürlüğü, 2017) kentsel katı atığın 1994 öncesinde ne kadarının bu biçimde uzaklaştırıldığına yönelik resmi bir veri bulunmamaktadır. Bu nedenle 1953-1994 yılları arasında şehir genelinde oluşan kentsel katı atığın depolama sahalarına gönderilme oranı IPCC (2006) kılavuzunda Güney Avrupa ülkeleri için öngörülen %85 olarak kabul edilmiştir. 1995-2000 yılları arasında oluşan kentsel katı atığın tamamının, 2001-2016 arasında ise % 97-99'unun düzenli depolama sahalarında uzaklaştırıldığı İSTAÇ tarafından açıklanmaktadır (İSTAÇ, 2016). 1953-1994 döneminde kentsel katı atığın uzaklaştırılması için kullanılan alanlar vahşi (düzensiz) sahalarlardır. KKA 1995 yılından sonra şehrin iki yakasında açılan katı atık düzenli depolama sahalarında (Odayeri (Avrupa), Kömürcüoda (Anadolu), Seymen (Avrupa-2015)) depolanmaya başlamıştır.

Tablo 2. 1975-2016 yılları arasında İstanbul'da günlük oluşan kişi başı KKA miktarı (kg kişi⁻¹ gün⁻¹)

Yıl	Avrupa	Anadolu	İstanbul	Yıl	Avrupa	Anadolu	İstanbul
1975	0,72	0,60	0,68*	2004	1,05	0,90	1,00***
1980	0,78	0,65	0,74*	2005	1,13	0,97	1,07***
1985	1,03	0,86	0,98*	2006	1,20	1,04	1,15***
1989	1,04	0,87	0,99*	2007	1,07	1,02	1,05***
1995	0,58	0,45	0,53**	2008	1,11	1,07	1,10***
1996	0,62	0,56	0,60	2009	1,09	1,07	1,08***
1997	0,69	0,67	0,69***	2010	1,10	1,06	1,08***
1998	0,79	0,74	0,77***	2011	1,09	1,04	1,07***
1999	0,96	0,78	0,90***	2012	1,14	1,06	1,11***
2000	0,96	0,81	0,91***	2013	1,13	1,04	1,10***
2001	0,90	0,77	0,85***	2014	1,17	1,04	1,13***
2002	0,90	0,76	0,85***	2015	1,19	1,09	1,15***
2003	0,94	0,78	0,88***	2016	1,21	1,13	1,18***

*OECD (2017); ** DİE (1995)'e atfen Berkun vd., (2005); ***İSTAÇ (2017)

2.2. İstanbul'da KKA karakterizasyonu

Kentsel katı atık bileşimi zamanla değişebilmekte olup, bu değişim kentsel katı atıktan kaynaklanan sera gazı salımlarını da etkilemektedir. Bu nedenle ulaşılabilen çeşitli kaynaklardan dönemsel olarak KKA karakterizasyonları tahmin edilmiştir (Tablo 3).

Tablo 3. İstanbul'da 1953-2016 yılları arasında KKA Karakterizasyonu (%)

Bileşen Dönem	Karakterizasyon Yılı	Kağıt/Karton	Tekstil	Yiyecek	Çocuk Bezi	Plastik	Metal	Cam	Diğer
1953-1980	1978 ¹	12	3	46,5	-	3,5	1,5	3	30,5
1981-1984	1984 ²	10,73	3,21	51,81	-	4,83	4,82	1,36	23,24
1985-1989	1985 ³	11,72	4,87	43,25	-	7,13	4,34	1,71	26,98
1990-1994	1993 ⁴	14,5	5,6	45	-	9,5	2,2	3,8	19,4
1995-1999	1999 ⁵	8,4	2,9	48	3,2	11	2,3	4,6	19,5
2000-2005	2005 ⁶	13,3	5,3	50,2	3,9	3,4	1,6	5,8	16,5
2006	2006 ⁷	12,1	1,9	56,3	4,2	2,6	1,5	5,9	15,5
2007	2007 ⁸	12,4	4,1	59,8	4,5	2,6	0,7	4	11,9
2009	2009 ⁹	15,6	3,4	54,1	5,5	2,6	1,1	3	14,7
2010-2016	2010 ¹⁰	11,1	5,7	51,7	5	2,3	1,1	3,7	19,4

¹ Baştürk (1987); ² Curi (1987); ³ Curi (1987); ⁴ CH2M Hill (1993)'e atfen Kanat (2010);

⁵ Arıkan ve Toröz (1999)'a atfen Berkun, vd. (2005); ^{6,7,8,9,10} İSTAÇ (2016)

2.3. Katı atıkların atık uzaklaştırma alanlarında depolanmasından kaynaklanan CH₄ salımlarının belirlenmesi

İstanbul'da oluşan kentsel katı atığın depolama alanlarında uzaklaştırılmasından kaynaklanan CH₄ salımları IPCC tarafından sunulan, Birinci Dereceden Bozunma (FOD) yöntemini esas alan

FOD Spreadsheet Modeli (Microsoft Excel'de çalıştırılan) kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar İstanbul'a ait mevcut veriler ve IPCC tarafından önerilen faktör ve parametreler ile (Düzyey 2) gerçekleştirilmiştir. FOD Spreadsheet Modeli ile katı atık depolama alanlarında KKA'nın depolanması sonucu açığa çıkan CH₄ salımlarının belirlenmesinde kullanılan denklem aşağıda verilmiştir (IPCC, 2006).

$$\text{CH}_4 \text{ Emisyonları} = (MSW_T \cdot MSW_F \cdot MCF \cdot DOC \cdot DOC_F \cdot F \cdot 16/12 - R) - (1 - OX) \quad (1)$$

Burada:

CH₄ Emisyonları = Depolama alanlarında açığa çıkan CH₄ salımları, Gg yıl⁻¹

MSW_T = Toplam oluşan KKA miktarı, Gg yıl⁻¹

MSW_F = Depolanan KKA fraksiyonu

MCF = Metan düzeltme faktörü

DOC = Parçalanabilir organik karbon

DOC_F = DOC'nin ayrıştırılan kısmı

F = Oluşan gazdaki metan fraksiyonu

R = Geri kazanılan metan miktarı

OX = Oksidasyon faktörü (fraksiyon)

İstanbul'da oluşan kentsel katı atığın düzenli veya vahşi alanlarda depolanması yoluyla uzaklaştırılmasından kaynaklanan CH₄ salımlarının hesaplanmasında IPCC (2006) kılavuzunun Atık Sektörü cildinde verilen emisyon faktörleri ve çeşitli parametreler kullanılmıştır (Tablo 4).

2.4. Katı atığa uygulanan biyolojik işlemden kaynaklanan CH₄ ve N₂O salımlarının hesaplanması

İstanbul'da 2001 yılından itibaren organik madde içeriği yüksek olan hal ve Pazar atıkları ve bazı ilçelerden toplanan kentsel katı atığın bir kısmından kompost elde edilmeye başlanmıştır (Tablo 5). Şehirde kentsel katı atıklardan biyogaz üretimi sağlayan anaerobik çürütme tesisi bulunmamaktadır. İstanbul'da kompostlaştırma uygulamasından kaynaklanan CH₄ ve N₂O emisyonları IPCC kılavuzunda verilen 2 ve 3 no.lu denklemler aracılığıyla belirlenmiştir.

$$\text{CH}_4 \text{ Emisyonları} = \sum_i (M_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-3} - R \quad (2)$$

Burada:

CH₄ Emisyonları = Envanter yılında oluşan toplam CH₄ emisyonları, Gg

M_i = Kompostlaştırma yoluyla işlenen organik atık kütlesi, Gg

EF = Emisyon faktörü, g CH₄ kg⁻¹ işlenen atık

i = Kompostlaştırma ya da anaerobik arıtma

R = Envanter yılında geri kazanılan toplam CH₄ miktarı, Gg

Tablo 4. Katı atık uzaklaştırma alanlarından kaynaklanan CH₄ salımlarının hesaplanmasında kullanılan emisyon faktörleri ve parametreler (IPCC, 2006)

DOC (parçalanabilir organik karbon)						
(Ağırlık fraksiyonu, ıslak bazda)	Aralık			Önerilen	Seçilen	
Yiyecek	0,08 - 0,20			0,15	0,15	
Bahçe	0,18 - 0,22			0,2	0,2	
Kağıt	0,36 - 0,45			0,4	0,4	
Odun ve saman	0,39 - 0,46			0,43	0,43	
Tekstil	0,20 - 0,40			0,24	0,24	
Kullan-at bezler (ö. Çocuk bezi)	0,18 - 0,32			0,24	0,24	
DOCf (DOC'nin Ayrıştırılan kısmı)				0,5	0,5	
Metan oluşum hızı sabiti (k (yıl ⁻¹))	Yağışlı hava şartları (MAT ≤ 20°C), (MAP/PET > 1)			Kurak hava şartları MAT ≤ 20°C, MAP/PET < 1)		
	Aralık	Öneri,	Seçilen	Aralık	Öneri,	Seçilen
	Yiyecek	0,1-0,2	0,185	0,185	0,05-0,08	0,06
Bahçe	0,06-0,1	0,1	0,1	0,04-0,06	0,05	0,05
Kağıt	0,05-0,07	0,06	0,06	0,03-0,05	0,04	0,04
Odun ve saman	0,02-0,04	0,03	0,03	0,01-0,03	0,02	0,02
Tekstil	0,05-0,07	0,06	0,06	0,03-0,05	0,04	0,04
Kullan-at bezler (ör. Çocuk bezi)	0,06-0,1	0,1	0,1	0,04-0,06	0,05	0,05
Gecikme süresi (ay)				6	6	
Oluşan gazdaki metan fraksiyonu (F)				0,5	0,5	
Dönüşüm faktörü C'den CH ₄ 'e				1,33	1,33	
Oksidasyon faktörü (OX)	Vahşi depolama sahası			Düzenli depolama sahası		
	0			0,1		
Metan düzeltme faktörü (MCF)	Düzensiz sığ	Düzensiz derin	Düzenli	Düzenli semi-aerobik		Kategorize edilmemiş
	0,4	0,8	1	0,5		0,6

Tablo 5. İstanbul'da kompostlaştırılan katı atık hakkında veriler (İSTAÇ, 2017)

Yıl	Tesise giren (Gg)	Geri Kazanılan (cam, plastik vs.) (Gg)	İşlenen (Gg)	Üretilen Kompost (Gg)
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

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

Burada:

N_2O Emisyonları = Envanter yılında oluşan toplam N_2O emisyonları, Gg
 M_i = Kompostlaştırma yoluyla işlenen organik atık kütlesi, Gg
 EF = Emisyon faktörü, g N_2O kg^{-1} işlenen atık
 i = Kompostlaştırma ya da anaerobik arıtma

İstanbul'da katı atığın kompostlaştırılmasından kaynaklanan CH_4 ve N_2O salımları belirlenirken IPCC (2006) kılavuzunda Düzey 1 kapsamında önerilen emisyon faktörleri kullanılmıştır. Bu değerler sırasıyla 4 g CH_4 kg^{-1} işlenen atık ve 0,24 g N_2O kg^{-1} işlenen atık olarak verilmiştir.

2.5. Kentsel katı atığın açıkta yakılması

TÜİK tarafından 1991 yılı için yayınlanan Çevre İstatistikleri Belediye Atık istatistikleri raporundan İstanbul'da toplanan kentsel katı atığın yaklaşık % 0,1'nin çöplüklerde açıkta yakıldığı bilgisi elde edilmiştir. 1995 yılında düzenli depolama uygulamasına geçildikten sonra atıkların açıkta yakılması uygulaması terk edilmiştir. Kentsel katı atığın karada uzaklaştırılmaya başlandığı sene olan 1953'ten 1994 yılına kadar Kentsel katı atığın % 0,1'inin çöplüklerde açıkta yakıldığı kabul edilmiş ve açıkta yakma kaynaklı CO_2 , CH_4 ve N_2O salımları hesaplanmıştır.

Kentsel katı atığın açıkta yakılmasından kaynaklanan CO_2 salımları 4 numaralı denklem ile tahmin edilmiştir.

$$CO_2 \text{ Emisyonları} = MSW \cdot \sum_j (WF_j \cdot dm_j \cdot CF_j \cdot FCF_j \cdot OF_j) \cdot 44/12 \quad (4)$$

Burada:

CO_2 Emisyonları = Envanter yılındaki CO_2 salımları, Gg yıl⁻¹
 MSW = Islak ağırlık olarak yakılan toplam kentsel katı atık miktarı, Gg yıl⁻¹
 WF_j = Islak atıktaki j bileşenin atıktaki fraksiyonu
 dm_j = Yakılan KKA'daki j bileşenin kuru madde içeriği
 CF_j = Kuru maddeki karbon fraksiyonu
 FCF_j = j bileşenindeki toplam karbonun fosil karbon fraksiyonu
 OF_j = Oksidasyon faktörü
 $44/12$ = C'den CO_2 'ye dönüştürme faktörü
 j = Yakılan KKA bileşeni
 $\sum_j WF_j = 1$

4 no.lu denklemde yer alan dm_j , CF_j ve FCF_j sırasıyla IPCC kılavuzunun 5. cilt 5. bölümünde verilen 5.8, 5.9 ve 5.10 no.lu denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. 1953-1994 yılları arasında açıkta yakılan kentsel katı atık kompozisyonu olarak Tablo 2'de verilen kentsel katı atık karakterizasyonu kullanılmıştır. Oksidasyon faktörü ise IPCC tarafından önerilen %58 olarak kabul edilmiştir. Kentsel katı atığın bileşenlerine göre kökeni, ıslak atıktaki kuru madde içeriği (%), kuru ağırlıktaki toplam karbon içeriği (%), toplam karbondaki fosil karbon içeriği (%) Tablo 6'da verilmiştir (IPCC, 2006).

Tablo 6. KKA bileşenlerine göre köken, ıslak atıktaki kuru madde içeriği (%), kuru ağırlıktaki toplam karbon içeriği (%), toplam karbondaki fosil karbon içeriği (%) (IPCC, 2006)

KKA Bileşeni	Köken	Islak Atıktaki Kuru Madde İçeriği (%)	Kuru ağırlıktaki Toplam Karbon İçeriği (%)	Toplam karbondaki fosil karbon içeriği (%)
Kağıt/Karton	Biyojenik	90	46	1
Tekstil	Biyojenik olmayan	80	50	20
Yiyecek	Biyojenik	40	38	-
Park, Bahçe	Biyojenik olmayan	40	49	0
Çocuk Bezi	Biyojenik olmayan	40	70	10
Plastik	Biyojenik olmayan	40	75	100
Metal	Biyojenik olmayan	100	NA	NA
Cam	Biyojenik olmayan	100	NA	NA
Diğer, İnert	Biyojenik olmayan	90	3	100

Kentsel katı atığın açıkta yakılmasından kaynaklanan CH₄ emisyonu tahmininde aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$CH_4 \text{ Emisyonları} = \sum_i (IW_i \cdot EF_i) \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

Burada:

CH₄ Emisyonları = Envanter yılındaki CH₄ Salımları, Gg yıl⁻¹

IW_i = Yakılan katı atık türü

EF_i = Toplam CH₄ emisyon faktörü, kg CH₄ Gg atık⁻¹

10⁻⁶ = kilogramdan gigagrama çevirme faktörü

i = atık türü

Kentsel katı atığın açıkta yakılmasından kaynaklanan N₂O emisyonu tahmini ise 6 numaralı denklem ile gerçekleştirilmiştir.

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

Burada:

N₂O Emisyonları = Envanter yılındaki N₂O salımları, Gg yıl⁻¹

IW_i = Yakılan katı atık türü

EF_i = N₂O emisyon faktörü, kg N₂O Gg atık⁻¹

10⁻⁶ = kilogramdan gigagrama çevirme faktörü

i = atık türü

5 ve 6 no.lu denklemlerinde yer alan CH₄ ve N₂O emisyon faktörleri (EF_i) yerine sırasıyla IPCC kılavuzunda önerilen 6500 g CH₄ t⁻¹ (ıslak) KKA ve 150 g N₂O t⁻¹ (kuru) KKA değerleri kullanılmıştır.

3. SONUÇLAR

İstanbul'da KKA'nın uzaklaştırılmasından açığa çıkan metan salımı 1990 yılında 40,9 Gg yıl⁻¹ (1,02 Mt CO₂ eşdeğeri) iken 2016 yılında 201,5 Gg yıl⁻¹'e (5,04 Mt CO₂ eşdeğeri) yükselmiştir (Tablo 7). N₂O ve CO₂ salımları ise oldukça düşüktür (Tablo 8 ve 9). Ulusal Sera Gazları Envanter Raporu'nda 2015 yılı için ülke genelinde KKA'dan 17,2 Mt CO₂ eşdeğeri sera gazı salımı olduğu hesaplanmıştır (NIR Turkey, 2017). Bu envanterde hesaplamalar ülke nüfusundan hareketle gerçekleştirildiği için İstanbul'un nüfusundan hareketle İstanbul için KKA kaynaklı salımların tahmin edilmesi mümkündür. Buna göre 2015 yılında İstanbul'da 3,2 Mt CO₂ eşdeğeri KKA kaynaklı salım gerçekleştiği söylenebilir. Ancak çalışmamızda İstanbul özelindeki verilerle gerçekleştirilen 2015 yılı hesaplamalarında toplamda 4,9 Mt CO₂ eşdeğeri KKA kaynaklı salım olduğu tahmin edilmiştir. Bu tahmine göre İstanbul'da yıllık kişi başı 0,33 ton CO₂ eşdeğeri sera gazı salımının KKA kaynaklı olduğu anlaşılmaktadır. Bu değerler depolama ve kompostlaştırma kaynaklı CH₄ ve kompostlaştırma kaynaklı N₂O salımı değerleridir. Ancak katı atık uzaklaştırma sahalarından salınan net metan emisyonuna ulaşmak için oluşan CH₄ miktarından geri kazanılan (ve/veya tutuşturulan) miktarın çıkarılması gerekmektedir. İstanbul'da 1995 yılında kapatılan Hasdal vahşi depolama sahası sonrasında rehabilite edilip, 2002 yılında alanda depolanmış KKA kaynaklı depo gazından enerji üretimine başlanmıştır. 2008 ve 2009 senelerinde aynı uygulama sırasıyla Odayeri ve Kömürcüoda düzenli depolama sahalarında faaliyete geçmiştir (İSTAÇ, 2016). İBB ve İSTAÇ'tan geri kazanılan metan miktarları öğrenilemediği için bu çalışmada sadece oluşan (ve düzenli alanlarda oksitlenen) metan miktarları yer almaktadır.

Tablo 7'de sunulan sonuçlardan da anlaşılacağı üzere İstanbul'da KKA kaynaklı metan oluşumunun en büyük kaynağı olan uzaklaştırma yöntemi depolamadır. Vahşi depolama alanlarında, atmosfere açık olmaları nedeniyle, metan oluşumu düzenli alanlara göre daha az olmaktadır. İklim üzerindeki etkisi daha az olmasına karşın bu alanlarda kaymalar, aşırı metan birikimine bağlı patlamalar, yangınlar, kötü koku oluşumu vb. problemler sıklıkla yaşanmaktadır. İstanbul'da yer alan çöplüklerde de düzenli depolama faaliyetine geçilmeden önce patlama, kayma ve yangın benzeri birçok kaza meydana gelmiştir. Bu kazalar sonucu açığa çıkan metan ve diğer sera gazları salımlarında değişiklikler görülebilmektedir. Bu değişiklikler bu çalışmanın dışında bırakılmış ve vahşi çöplüklerin 1996 yılında ıslah edildiği varsayımıyla hareket edilmiştir. 1990'lı yıllar ve öncesine ait veri kalitesinin oldukça zayıf olmasına bağlı olarak, bu dönemin sonuçlarındaki belirsizliklerin fazlalığını vurgulamak gereklidir.

2016 yılında nüfusun ikiye katladığı görülen İstanbul'da KKA'ya bağlı CH₄ salımları 4,9 kat artırmıştır. Nüfus artışı, kişi başı oluşan KKA miktarındaki artış, KKA kompozisyonundaki değişimler, bu atıkların düzenli alanlarda depolanması bu artışın başlıca nedenleri olarak sıralanabilir. Metan salımı sonuçlarının Türkiye ortalamasının da oldukça üzerinde olduğu görülmektedir (Tablo 7).

KKA'dan kompostlaştırma ve açıkta yakma işlemleri ile N₂O salımı da gerçekleşmektedir. 1994 yılından sonra İstanbul'da KKA'nın açıkta yakılmasına son verilmiştir. Kompostlaştırma işlemleri ise 2001 yılından sonra başlamıştır. İstanbul için hesaplanan 2015 yılı değerine bakıldığında, bu miktarın da Türkiye envanter değerinin üzerinde olduğu görülmektedir (Tablo 8).

Tablo 7. 1990-2016 yılları arasında İstanbul'da KKA uzaklaştırma metodlarından kaynaklanan CH₄ salımları

Yıl	Depolama (Gg yıl ⁻¹)	Kompostlaştırma (Gg yıl ⁻¹)	Açıkta yakma (Gg yıl ⁻¹)		Toplam (Gg yıl ⁻¹)		
			Biyojenik	Biyojenik olmayan	İstanbul (Bu çalışma)	İstanbul (NIR,2017'den hesaplanan)	NIR (2017)'e göre Türkiye
1990	40,9	-	0,010	0,006	40,9	33,0	272,3
1991	43,9	-	0,010	0,006	43,9	34,5	279,3
1992	46,9	-	0,011	0,006	46,9	36,0	286,3
1993	49,9	-	0,011	0,006	49,9	37,7	294,2
1994	52,8	-	0,012	0,007	52,8	39,4	301,8
1995	55,8	-	-	-	55,8	41,1	309,1
1996	41,9	-	-	-	41,9	43,6	321,8
1997	45,3	-	-	-	45,3	46,7	338,2
1998	50,0	-	-	-	50,0	49,3	354,4
1999	55,6	-	-	-	55,6	52,4	373,3
2000	62,8	-	-	-	62,8	55,3	391,3
2001	71,7	0,44	-	-	72,2	58,9	410,0
2002	79,0	0,66	-	-	79,7	62,7	429,1
2003	85,9	0,79	-	-	86,7	66,8	449,1
2004	93,2	0,66	-	-	93,8	70,9	468,7
2005	102,7	0,56	-	-	103,3	74,9	486,9
2006	113,4	0,54	-	-	113,9	79,3	506,6
2007	126,5	0,62	-	-	127,1	83,8	526,1
2008	138,3	0,54	-	-	138,8	96,6	545,9
2009	149,6	0,47	-	-	150,0	103,5	563,4
2010	159,1	0,60	-	-	159,7	108,3	583,7
2011	165,9	0,59	-	-	166,5	113,8	604,0
2012	172,5	0,49	-	-	172,9	118,8	626,0
2013	179,7	0,43	-	-	180,2	120,2	646,4
2014	186,5	0,49	-	-	187,0	124,2	666,8
2015	193,6	0,51	-	-	194,1	128,9	687,9
2016	201,0	0,51	-	-	201,5	-	-

Tablo 8. 1990-2016 yılları arasında İstanbul’da KKA uzaklaştırma metodlarından kaynaklanan N₂O salımları

Yıl	Kompostlaştırma (Gg yıl ⁻¹)	Açıkta yakma (Gg yıl ⁻¹)		Toplam (Gg yıl ⁻¹)		
		Biyojenik	Biyojenik olmayan	İstanbul (Bu çalışma)	İstanbul (NIR,2017’den hesaplanan)	NIR (2017)’e göre Türkiye
1990	-	0,0001	0,0001	0,0002	0,0075	0,0622
1991	-	0,0001	0,0001	0,0002	0,0078	0,0628
1992	-	0,0001	0,0001	0,0002	0,0080	0,0634
1993	-	0,0001	0,0001	0,0002	0,0082	0,064
1994	-	0,0001	0,0001	0,0003	0,0084	0,0646
1995	-	-	-	-	0,0076	0,0574
1996	-	-	-	-	0,0084	0,0622
1997	-	-	-	-	0,0110	0,0796
1998	-	-	-	-	0,0079	0,0567
1999	-	-	-	-	0,0086	0,0616
2000	-	-	-	-	0,0089	0,0632
2001	0,0263	-	-	0,0263	0,0086	0,06
2002	0,0398	-	-	0,0398	0,0107	0,0733
2003	0,0474	-	-	0,0474	0,0104	0,07
2004	0,0393	-	-	0,0393	0,0087	0,0578
2005	0,0336	-	-	0,0336	0,0089	0,0576
2006	0,0326	-	-	0,0326	0,0076	0,0488
2007	0,0371	-	-	0,0371	0,0112	0,0704
2008	0,0326	-	-	0,0326	0,0101	0,0571
2009	0,0279	-	-	0,0279	0,0114	0,0618
2010	0,0362	-	-	0,0362	0,0083	0,0449
2011	0,0355	-	-	0,0355	0,0098	0,0518
2012	0,0293	-	-	0,0293	0,0091	0,0481
2013	0,0256	-	-	0,0256	0,0051	0,0273
2014	0,0292	-	-	0,0292	0,0044	0,0234
2015	0,0308	-	-	0,0308	0,0042	0,0224
2016	0,0307	-	-	0,0307	-	-

KKA’dan CO₂ salımı açıkta yakma işlemine bağlı olarak oluşmaktadır. Türkiye Sera Gazları Ulusal Envanterinde (NIR Turkey, 2017) 1994 yılı ve öncesinde KKA’nın % 1,89’unun çöplüklerde açıkta yakıldığını belirtmiştir. İstanbul’da ise aynı dönem için KKA’nın çok daha az bir kısmının (% 0,1) bu yöntemle uzaklaştırıldığı bilgisiyle hareket edilmiştir. Bu noktada da sağlıklı verinin yetersizliğine bağlı güvenilirliği düşük, belirsizliği yüksek bir sonuç ortaya çıkmıştır (Tablo 9).

Tablo 9. 1990-1994 yılları arasında İstanbul’da KKA uzaklaştırma metotlarından kaynaklanan CO₂ salımları

Yıl	Açıkta yakma (Gg yıl ⁻¹)		Toplam (Gg yıl ⁻¹)		
	Biyojenik	Biyojenik olmayan	İstanbul (Bu çalışma)	İstanbul (NIR,2017’den hesaplanan)	NIR (2017)’e göre Türkiye
1990	0,0001	0,003	0,003	3,32	27,396
1991	0,0001	0,003	0,003	3,44	27,861
1992	0,0001	0,003	0,003	3,56	28,323
1993	0,0001	0,003	0,003	3,68	28,784
1994	0,0001	0,003	0,003	3,81	29,243

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

İstanbul’da KKA’dan oluşan sera gazı salımlarının en önemli bölümünü KKA’nın yönetiminden kaynaklanan metan olduğu görülmektedir. Sera Gazları Ulusal Envanter Raporundan yapılan yaklaşımla 2015 yılı için 128,9 Gg yıl⁻¹ olarak tahmin edilebilen İstanbul kentsel katı atık kaynaklı metan emisyonu (endüstriyel atık oldukça az düzeyde), sunulan bu çalışmada 194,1 Gg yıl⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Ulusal envanter raporu incelendiğinde hesaplamalarda kullanılan faktör ve parametreler için çok genel kabullerin yapıldığı görülmüştür. İstanbul için yapılan hesaplamalarda ise katı atık uzaklaştırma sahalarının hava şartları ayrı ayrı belirlenmeye çalışılmış, karakterizasyon seti daha detaylı oluşturulmuş, şehrin iki yakası için farklı parametreler dikkate alınmıştır. Türkiye’nin topladığı istatistiki verilerle, İstanbul için İBB ve İSTAÇ’tan (zor da olsa) temin edilebilen veriler arasında da farklılıklar görülmektedir.

Sonuç olarak ülke seviyesinde- tüm sektörler için – gerçekleştirilen envanter çalışmalarının şehirler veya yerel yönetimler tarafından yürütülmesi halinde daha kabul edilebilir sonuçlar elde edileceği anlaşılmıştır. Kılavuzda önerilen ortalama parametre ve faktörleri kullanmak yerine, çeşitli laboratuvar ve saha çalışmaları ile ülke veya bölge özelinde değerler saptanması da oluşan sera gazlarının daha doğru ve kesin belirlenmesini sağlayacaktır. Bununla birlikte sera gazları tahmininde kullanılması gereken ulusal /yerel verilerin ve sonuçların şeffaf ve güvenilir olarak paylaşılması ve bunların sorgulanabilir olması şarttır. Bu adımlar atıldığında daha kaliteli sera gazı envanterleri hazırlanabilecek, insan kaynaklı iklim değişikliğiyle mücadelede karar vericilerin daha etkili politikalar üretmesine yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Arıkan, O., Toröz, I., 1999. Investigation on solid waste recycling in Istanbul. *City Administration Human and Environment Problems 99 Symposium*, 263–272. Istanbul, Turkey.
- Baştürk, A., 1987. Türkiye’nin katı atık özellikleri ve bertarafı için uygun teknolojiler. *Türk – Alman Çevre Teknolojisi Semineri*, 16 – 18 Eylül 1987, İstanbul, Türkiye.

- Berkun, M., Aras, E., Nemlioğlu, S., 2005. Disposal of solid waste in Istanbul and along the Black Sea coast of Turkey. *Waste Management* 25, 847–855.
- 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.
- DIE, 1995,1996. Environmental Statistics. DIE Press, Ankara, Turkey.
- 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.
- İBB Atık Yönetimi Müdürlüğü, 2017. İstanbul katı atık yönetimine dair bilgiler, kişisel görüşme.
- İSTAÇ, 2016. 2005, 2006, 2007, 2009, 2010 yılları için İstanbul KKA karakterizasyon verileri, kişisel görüşme.
- İSTAÇ, 2017. 1995 – 2016 yılları arasında İstanbul’da depolanan kentsel katı atık verileri, kişisel görüşme.
- İSTAÇ, 2017. İstanbul’da kompostlaştırma uygulaması verileri, kişisel görüşme.
- Kanat, G., 2010. Municipal solid-waste management in Istanbul. *Waste management* 30, 1737–1745.
- OECD, 2017. <https://data.oecd.org/waste/municipal-waste.htm>, Erişim Tarihi: 14 Ağustos 2017.
- TÜİK, 1991. Çevre İstatistikleri Belediye Atık istatistikleri 1991, No. 1704, Ankara, Türkiye.
- TÜİK, 2017. National Greenhouse Gas Inventory Report 1990-2015. 363 – 402.
- United Nations Human Settlements Programme (UN HABITAT), 2010. Solid Waste Management In The World’s Cities 2010, London, sf. 20.