

## ATIK SEKTÖRÜ SERA GAZI EMİSYONLARININ HESAPLANMASI VE ATIK YÖNETİMİ UYGULAMALARININ EMİSYON AZALTIMI ÜZERİNE ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ

Tuğba DOĞAN <sup>1(\*)</sup>, Ece Gizem ÇAKMAK <sup>1</sup>, Bilgin HİLMİOĞLU<sup>1</sup>

<sup>1</sup> TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, Gebze/Kocaeli

### ÖZET

İklim değişikliği son zamanların küresel ölçekteki en önemli problemlerinden biridir. Sanayileşme, enerji üretimi ve kullanımı, tarımsal faaliyetler, ulaşım, arazi kullanımındaki değişiklikler gibi çeşitli faaliyetler sonucu atmosfere salınan sera gazlarındaki hızlı artışa bağlı olarak yerkürenin ortalama sıcaklığı ciddi oranda yükselmektedir. Bu doğrultuda, sera gazı emisyonlarının sınırlandırılması ve küresel sıcaklık artışının 2°C'nin altında tutulmasını hedefleyen Paris Anlaşması, Kasım 2016'da yürürlüğe girmiştir. Küresel ölçekte sera gazı salımına katkıda bulunan önemli bileşenlerden birini de atık sektörü oluşturmaktadır. Bu çalışma kapsamında, 2016 yılı için ülkemizde atık sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonları hesaplanmış, üç farklı senaryoya göre sera gazı emisyonlarında meydana gelebilecek değişiklikler değerlendirilmiştir. Atık sektörü; katı atıkların depolanması, biyolojik arıtılması (kompostlaştırma) ve açıkta yakılması ile atıksuların arıtılması ve deşarjı olmak üzere dört kategori altında ele alınmış olup, hesaplamalar yapılırken 2006 yılı IPCC rehber dokümanı ve Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri'nden yararlanılmıştır. 2016 yılı için mevcut durumda 17,5 Mton CO<sub>2e</sub> olan atık sektörü kaynaklı toplam sera gazı emisyon miktarı, depolanan katı atıkların tamamının düzenli depolamaya gönderildiği Senaryo 1, mevcut durumda depolamaya giden yemek ve bahçe atıklarının kompostlaştırıldığı Senaryo 2 ve kişi başı atık oluşumunun %10 az olduğu Senaryo 3 için toplam sera gazı emisyonları sırası ile 17,9 Mton CO<sub>2e</sub>, 18,3 Mton CO<sub>2e</sub> ve 17,3 Mton CO<sub>2e</sub> olarak hesaplanmıştır.

### ANAHTAR SÖZCÜKLER

Atık sektörü, sera gazı emisyonu, iklim değişikliği, atık bertarafı, atık yönetimi.

### ABSTRACT

Climate change is one of the most important problems of recent times on the global scale. Changes in land use, different activities such as industrialization, energy production and use, agriculture and transportation have resulted in a significant increase in the average temperature of the earth's surface due to the rapid increase in greenhouse gases. In this respect, the Paris Agreement, which aims to limit greenhouse gas emissions and hold the increase in the global average temperature below 2°C, entered into force in November 2016. One of the important components contributing to global greenhouse gas emissions is the waste sector. In the scope of this study, the greenhouse gas emissions from the waste sector of our country were calculated for 2016 and the results for three different scenarios were evaluated. Solid waste storage, biological

(\*) tugba.dogan@tubitak.gov.tr

treatment of solid waste (composting), open burning of waste and wastewater treatment and discharge are four categories taken into account for calculations. The calculations are based on the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories and National Greenhouse Gas Inventory Report. The results of total greenhouse gas emissions from waste sector are 17.5 Mton CO<sub>2e</sub> in 2016, 17.9 Mton CO<sub>2e</sub> for Scenario1 (All disposed wastes were sent to managed solid waste disposal sites), 18.3 Mton CO<sub>2e</sub> for Scenario 2 (All food and garden wastes that are disposed were sent composting) and 17.3 Mton CO<sub>2e</sub> for Scenario 3 (waste production per capita was reduced by 10%).

## KEYWORDS

Waste sector, greenhouse gas emission, climate change, waste disposal, waste management.

## 1. GİRİŞ

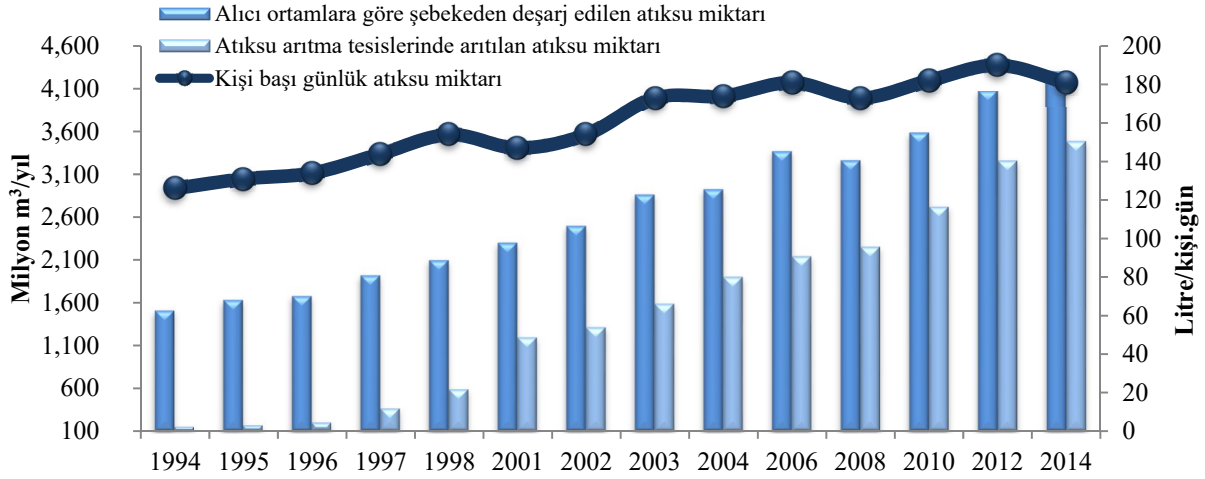
Günümüzde küresel ölçekteki en büyük problemlerden biri iklim değişikliği olarak ifade edilmektedir. İklim değişikliği, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nde "Karşılaştırılabilir bir zaman diliminde gözlenen doğal iklim değişikliğine ek olarak, doğrudan ya da dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan etkinlikleri sonucunda iklimde oluşan bir değişiklik" olarak tanımlanmaktadır (UNFCCC, 1992). Bu tanımlamada yer alan insan etkinliklerinin başlıcalarını; sanayileşme, enerji üretimi ve kullanımı, tarımsal faaliyetler, ulaşım, arazi kullanımındaki değişiklikler oluşturmakta olup, bu gibi insan faaliyetleri sonucu atmosfere salınan sera gazlarındaki hızlı artışa bağlı olarak yerkürenin ortalama sıcaklığında ciddi yükselme meydana gelmektedir. 2016 yılı verilerine göre küresel ortalama yüzey sıcaklığı 1800'lü yıllardan itibaren yaklaşık 1°C artış göstermiştir (NASA, 2017). Bu doğrultuda, temel olarak ülkelerin sera gazı emisyonlarının sınırlandırılması ve küresel sıcaklık artışının 2°C'nin üzerine çıkmamasını hedefleyen, yaklaşık 200 ülkeyi 2015 yılında Paris'te gerçekleştirilen 21. Taraflar Konferansı'nda bir araya getiren Paris Anlaşması Kasım 2016'da yürürlüğe girmiş olup, anlaşmayı onaylayan ülkelerin sera gazı salımlarının azaltılması yönündeki katkılarını beyan etmeleri gerekmektedir. Bu kapsamda, sera gazı salımına katkıda bulunan önemli bileşenlerden birini de atık sektörü oluşturmaktadır.

### 1.1. Türkiye'de atık sektörü ve atıkların yönetimi

Atık sektörü ve atıkların yönetimi konusu, hızla çoğalan nüfus ve sanayideki gelişmelere bağlı olarak üretim ve tüketim faaliyetlerinde meydana gelen artış sebebiyle son yıllarda önem kazanmıştır. Atık sektörü, evsel ve endüstriyel katı atıklar ile atıksuları kapsamaktadır. Doğal kaynakların sürdürülebilirliğinin sağlanması, hava, su ve toprak kirliliğinin azaltılması, küresel ısınma ve iklim değişikliği de göz önünde bulundurularak atıkların alıcı ortama olan olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi amaçlarıyla, atık yönetimi uygulamalarının hayata geçirilmesi büyük önem arz etmektedir. Atık yönetimi uygulamaları sırasıyla; atıkların oluşmadan önlenmesi, kaynağında azaltılması, yeniden kullanılması, geri dönüşümü, geri kazanımı ve bertaraf şeklinde önceliklendirilmekte olup, en son adım olan atıkların bertarafında insan sağlığına ve çevreye zarar vermeyecek en uygun yöntemin tercih edilmesi gerekmektedir.

Ülkemizde oluşan atıksuların %81'i fiziksel/kimyasal, biyolojik ve ileri atıksu arıtma tesislerinde arıtılarak deniz, göl, akarsu, baraj vb. alıcı ortamlara deşarj edilmektedir. 2014 yılı verilerine göre

Türkiye’de toplam kapasitesi yaklaşık 6 milyon m<sup>3</sup>/yıl olan 604 adet belediye atıksu arıtma tesisi bulunmakta olup, endüstriyel atıksuların arıtıldığı tesis sayısı ise 2096’dır. Belediye ve imalat sanayi kaynaklı atıksuların yıllara sari değişimi Şekil 1 ve Şekil 2’de gösterilmiştir (TÜİK, 2015a; TÜİK 2016).



Şekil 1. Belediye atıksu miktarının yıllara göre değişimi

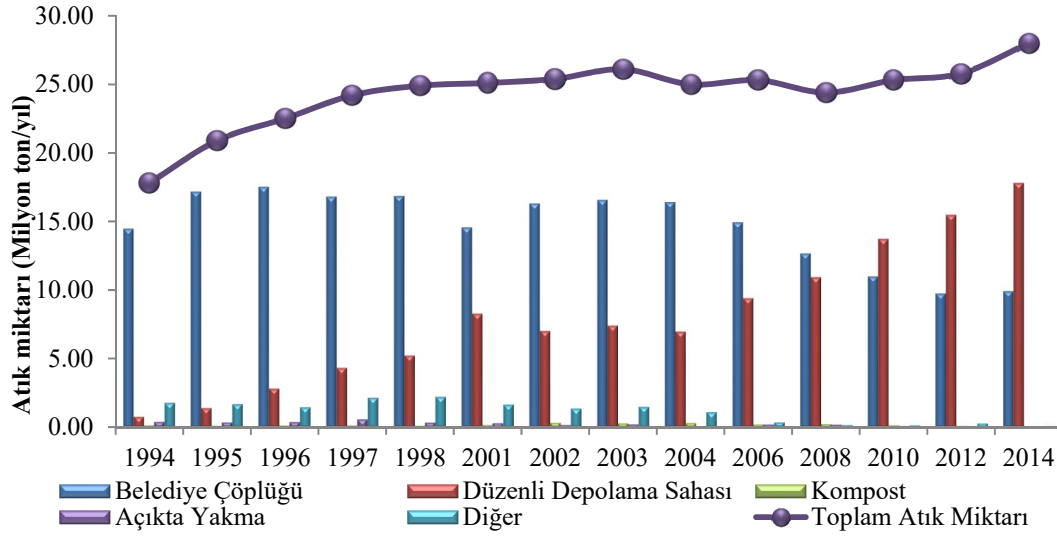
2014 yılı kişi başı günlük üretilen atıksu miktarı 1994 yılına oranla yaklaşık %44 artış göstererek 126 litreden 181 litreye ulaşmıştır. 1994 yılından itibaren oluşan atıksu miktarı, dolayısıyla atıksu arıtma tesislerinde arıtılan atıksu miktarı artış göstermiştir. 2014 yılında belediyelerden kaynaklı 4,3 milyar m<sup>3</sup> atıksu deşarj edilmiş olup, deşarj edilen atıksuyun %81’i arıtılmıştır (TÜİK, 2015a).



Şekil 2. İmalat sanayi atıksu miktarının yıllara göre değişimi

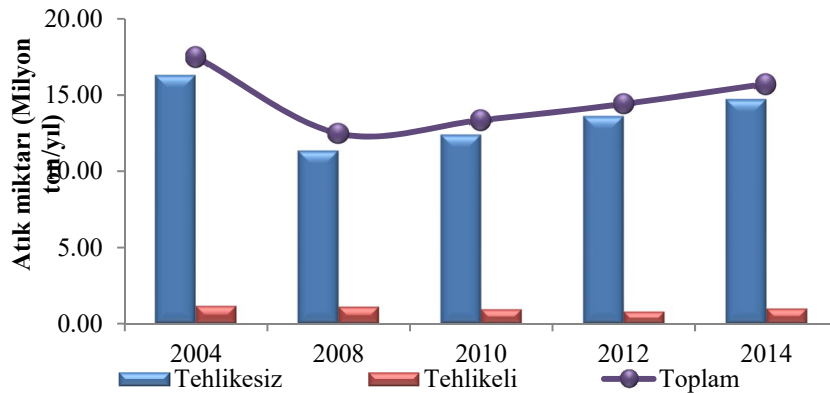
İmalat sanayi kaynaklı atıksu miktarı yıllar itibariyle artmış olmasına rağmen, soğutma suyu hariç deşarj edilen atıksu miktarı miktarı büyük değişiklik göstermemiştir. 2014 yılında imalat sanayinden kaynaklı 1,9 milyar m<sup>3</sup> atıksu deşarj edilmiş olup, deşarj edilen atıksuyun soğutma suyu haricinde %55’i arıtılmıştır (TÜİK, 2016). Öte yandan belediye ve imalat sanayi atıklarından oluşan katı atıklar ise, geri kazanıma ek olarak düzenli depolama sahalarında depolama ve kompostlaştırma gibi iyi uygulamaların yanı sıra açıkta yakma, belediye çöplüğünde

depolama, gömme gibi kontrolsüz yöntemlerle de bertaraf edilmektedir. Ülkemizde 2014 yılı itibariyle toplam kapasitesi 620 milyon m<sup>3</sup> olan 113 adet düzenli depolama sahası ile toplam kapasitesi 310 bin ton olan 4 adet kompost tesisi bulunmaktadır. Belediye ve imalat sanayi kaynaklı katı atıkların yıllara göre değişimi Şekil 3 ve Şekil 4'te gösterilmiştir (TÜİK, 2015b; TÜİK 2016).



Şekil 3. Belediye atık miktarının yıllara göre değişimi

1994 yılında yaklaşık 18 milyon ton olan belediye atık miktarı, 2014 yılında %57 oranında artış göstererek 28 milyon tona ulaşmıştır. Yıllar itibariyle düzenli depolama sahasında gönderilen atık miktarı artarken, belediye çöplüklerine gönderilen atık miktarı azalmaktadır. Özellikle 2010 yılı itibariyle düzenli depolama sahaslarında bertaraf edilen atık miktarı oranı belediye çöplüklerine bırakılan atık miktarından fazladır. 2014 yılında atık hizmeti verilen belediyelerden toplanan 28 milyon ton katı atığın %63,5'i düzenli depolama sahaslarında, %35,5'i belediye çöplüklerinde, %0,5'i kompost tesislerinde, %0,5'i ise açıkta yakma vb. diğer yöntemlerle bertaraf edilmiştir (TÜİK, 2015b).

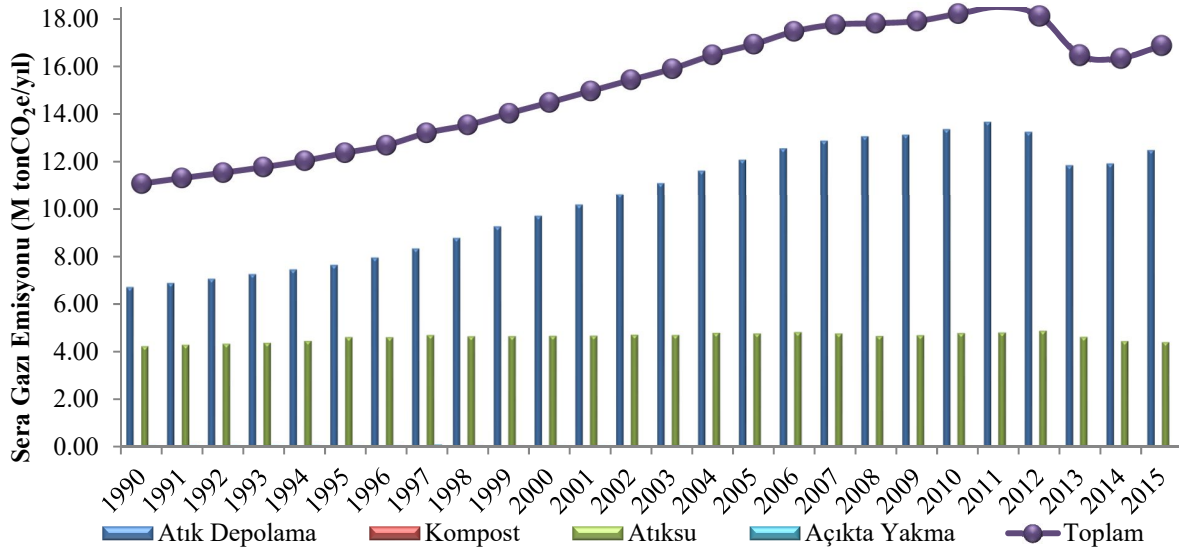


Şekil 4. İmalat sanayi kaynaklı atık miktarının yıllara göre değişimi

İmalat sanayi kaynaklı atık verileri incelendiğinde 2008 yılı itibariyle atık miktarında düzenli artış olduğu görülmektedir. 2014 yılında imalat sanayinden kaynaklı 16 milyon ton katı atığın %31,1'i düzenli depolama sahalarında, %4,3'ü çöplüklerde, geri kalanı yakma tesislerinde, işyeri sahasında depolama ve geri kazanım firmalarına gönderilmek üzere bertaraf edilmiştir (TÜİK 2016).

## 1.2. Atık sektörü sera gazı emisyonları

Türkiye'nin Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) Sekreteryası'na sunmakla yükümlü olduğu Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri her yıl Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından hazırlanmaktadır. 2017 yılında Sekreteryaya sunulmuş olan envanter, Enerji, Endüstriyel Prosesler ve Ürün Kullanımı, Tarım, Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık (AKAKDO) ile Atık sektörlerine ilişkin 1990-2015 yıllarını kapsayan sera gazı emisyon değerlerini içermektedir. Ülkemizde atık sektörünün 2015 yılı sera gazı emisyonu 16,9 Mton CO<sub>2</sub>e ile toplam emisyon miktarının %3,6'sını oluşturmuştur. Yıllara sari atık sektörü kaynaklı sera gazı emisyonlarının bertaraf yönteminde göre değişimi Şekil 5'te gösterilmiştir (NIR, 2017).



Şekil 5. Atık sektörü kaynaklı sera gazı emisyon miktarının yıllara göre değişimi

1990 yılı ile karşılaştırıldığında emisyon miktarında %50'den fazla artış olduğu görülmektedir. Atık sektörü emisyonlarının %73,8'i atıkların depolanmasından ve %26'sı atıksuların arıtımı ve dışarıdan kaynaklanmaktadır. Kompostlaştırma ve açıkta yakma ile bertaraf edilen atıklardan kaynaklı sera gazı emisyon miktarının ise oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında, 2016 yılı için ülkemizde atık sektöründen kaynaklanan sera gazı emisyonlarının hesaplanması; ayrıca, atıkların yönetimi ve bertarafı uygulamalarını içeren farklı senaryolara göre sera gazı emisyonlarında meydana gelebilecek değişikliklerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

## 2. MATERYAL METOD

Atık sektörü kaynaklı sera gazı emisyonları; katı atıkların depolanması, biyolojik arıtılması (kompostlaştırma) ve açıkta yakılması ile atıksuların arıtılması ve deşarjı olmak üzere dört kategori altında hesaplanmıştır. Hesaplamalar yapılırken 2006 yılı IPCC rehber dokümanı ve Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri'nden yararlanılmıştır.

### 2.1. Katı atıkların depolanması

Katı atıklar belediye atıkları ve endüstriyel atıklar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Belediye atıklarından kaynaklanan sera gazı emisyonunun hesaplanabilmesi için atık miktarı artış hızı belirlenerek 2016 yılı toplam belediye atığı miktarı hesaplanmıştır. Atık miktarı artış hızı son iki yılın artış hızları göz önünde bulundurularak %1,2 olarak kabul edilmiştir. Toplam atığın 2015 yılında olduğu gibi %87,6'sının katı atık depolama sahalarına gönderileceği varsayımı yapılmıştır. 2016 yılı atık bileşenleri belirlenirken 2014-2015 yıllarına ait yüzdeler kullanılmış olup, 2016 yılında belediye atıklarının %47,9'nun yemek atığı, %6,7'sinin park ve bahçe atığı, %8,9'unun kağıt atığı, %3,2'sinin tekstil atığı, %3'ünün çocuk bezi ve %30,4'ünün plastik ve diğer inert atıklar olduğu kabul edilmiştir. Hesaplama birinci derece bozunma (First Order Decay-FOD) metodolojisine göre yapılmış olup, kullanılan eşitlik şu şekildedir (NIR, 2017; IPCC,2006):

$$CH_4 \text{ Emisyonu} = [\sum_x CH_4 \text{ üretilen}_{x,T} - R_T] - (1 - OX_T) \quad (1)$$

Eşitlikteki “x” atık kategorisini, “T” envanter yılını, “R<sub>T</sub>” ger kazanılan metan gazını, “OX<sub>T</sub>” ise oksidasyon faktörünü ifade etmektedir. OX<sub>T</sub> değeri, atık depolama sahalarının üstü toprak veya kompost gibi bir madde ile örtülmediği için hesaplamada 0 olarak alınmıştır. Üretilen CH<sub>4</sub> miktarının hesaplanması aşamasında düzenli depolama sahaları yönetilen atık bertaraf sahaları, belediye çöplükleri ve gömme gibi uygulamalar ise yönetilmeyen atık bertaraf sahaları olarak sınıflandırılmıştır. Endüstriyel atıklar için de benzer sınıflandırma yapılmış olup, yönetilen ve yönetilmeyen sahalara giden atıkların yüzdesi belirlenerek gerekli olan ağırlıklı MCF (Metan Düzeltme Faktörü) değeri belediye atıkları ve endüstriyel atıklar için sırasıyla 0,9 ve 0,6 olarak belirlenmiştir. Hesaplama kullanılan diğer parametrelere ilişkin kullanılan değerler Tablo 1’de verilmiştir (NIR, 2017; IPCC,2006).

**Tablo 1.** CH<sub>4</sub> emisyonu hesaplamasında kullanılan parametrelere ilişkin değerler

Parametre	Yemek	Park & Bahçe	Kağıt	Tekstil	Bebek Bezi
DOC Parçalanabilir organik karbon	0,15	0,2	0,4	0,24	0,24
DOC <sub>f</sub> Ayrışabilen DOC'nin fraksiyonu	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
k Metan üretim hızı sabiti (yıl <sup>-1</sup> )	0,06	0,05	0,04	0,04	0,05
F Üretilen depolama gazı içindeki metan fraksiyonu	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Geri kazanılan CH<sub>4</sub> miktarının 2015 yılı ile aynı olduğu varsayılmış olup, 189,3 kt olarak kabul edilmiştir.

## 2.2. Katı atıkların biyolojik arıtılması (Kompostlaştırma)

Katı atıkların biyolojik arıtılması, organik atıkların kompostlaştırması ve anaerobik çürütülmesi uygulamalarını içermekte olup, ülkemiz için yalnızca kompost tesisine götürülen atıklara ilişkin hesaplama yapılmaktadır. Kompostlaştırma sonucu salınan CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O emisyonları, atık miktarının emisyon faktörleri ile çarpılmasıyla hesaplanmakta olup, emisyon faktörleri Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri ile uyumlu olacak şekilde 4 gCH<sub>4</sub>/kg atık ve 0,24 gN<sub>2</sub>O/kg atık olarak kabul edilmiştir (NIR, 2017; IPCC,2006).

## 2.3. Açıkta yakma

Açıkta yakma sonucu bertaraf edilen atıklar biyojenik ve biyojenik olmayan atıklar olarak iki kategoride değerlendirilmektedir. Katı atıkların açıkta yakılması sonucu CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O emisyonları salınmakta olup, fosil kökenli atıklardan kaynaklanmaması sebebiyle CO<sub>2</sub> emisyonu envantere dahil edilmemektedir. CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O emisyonları, atık miktarının emisyon faktörleri ile çarpılmasıyla hesaplanmakta olup, biyojenik atıklar için emisyon faktörleri Ulusal Sera Gazı Emisyon Envanteri ile uyumlu olacak şekilde 6,5 kgCH<sub>4</sub>/ton atık ve 0,07 kgN<sub>2</sub>O/ton atık, biyojenik olmayan atıklar için ise 6,5 kgCH<sub>4</sub>/ton atık ve 0,12 kgN<sub>2</sub>O/ton atık olarak kabul edilmiştir (NIR, 2017; IPCC,2006).

## 2.4. Atıksuların arıtılması ve deşarjı

Atıksular evsel ve endüstriyel atıksular olmak üzere iki kategoride değerlendirilmekte olup, atıksuların arıtılması sonucu CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O emisyonları salınmaktadır. Evsel atıksuların arıtılması sonucu salınan CH<sub>4</sub> emisyonunun hesaplanabilmesi için kullanılan eşitlik şu şekildedir(NIR, 2017; IPCC,2006):

$$\text{CH}_4 \text{ Emisyonu} = [\sum_{i,j} (U_i \cdot T_{i,j} \cdot EF_j)] \cdot (TOW - S) - R \quad (2)$$

Eşitlikteki “TOW” evsel atıksu içerisindeki toplam organik madde miktarının BOİ (Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı) cinsinden değerini, “S” uzaklaştırılan arıtma çamuru içerisindeki organik madde içeriğini, “i” gelir grubunu (kırsal veya kentsel), “j” arıtma ve deşarj sistemini, “U<sub>i</sub>” i gelir grubunun nüfus oranı, “EF<sub>j</sub>” emisyon faktörünü ve “R” ise CH<sub>4</sub> geri kazanım oranını ifade etmektedir. 2016 yılına ait kırsal ve kentsel nüfus oranı TÜİK nüfus istatistiklerinden elde edilmiştir. TOW ve S değerlerinin hesaplanması için kullanılan günlük kişi başı BOİ değeri sırasıyla 53 ve 28 g BOİ olarak alınmıştır. Geri kazanılan CH<sub>4</sub> miktarının 2015 yılı ile aynı olduğu varsayılmış olup, 38,1 kt olarak kabul edilmiştir. Öte yandan endüstriyel atıksulara ait CH<sub>4</sub> emisyonunun hesaplanabilmesi için kullanılan eşitlik şu şekildedir (NIR, 2017; IPCC,2006):

$$\text{CH}_4 \text{ Emisyonu} = \sum_i [(TOW_i - S_i) \cdot EF_i - R_i] \quad (3)$$

Eşitlikteki “TOW” endüstriyel atıksu içerisindeki toplam organik madde miktarının KOİ (Kimyasal Oksijen İhtiyacı) cinsinden değerini, “S” uzaklaştırılan arıtma çamuru içerisindeki organik madde içeriğini, “i” sektörü, “EF<sub>j</sub>” emisyon faktörünü ve “R” ise CH<sub>4</sub> geri kazanım oranını ifade etmektedir. R ve S değerleri 0 olarak alınmıştır. Endüstri sektörleri altı kategori

altında ele alınmış olup, her bir endüstri için TOW değerleri et ve kümes hayvanları, organik kimyasallar, petrol rafinerileri, plastik ve reçine, kağıt ve nişasta üretimi endüstrileri için sırasıyla 4.1, 3, 1, 3.7, 9 ve 10 kg KOI/m<sup>3</sup> atıksu olarak alınmıştır.

Evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılması ve deşarjı kaynaklı N<sub>2</sub>O emisyonlarının hesaplanmasında kullanılan eşitlikler şu şekildedir(NIR, 2017; IPCC,2006):

$$N_2O \text{ Emisyonu} = N_{\text{EFFLUENT}} \cdot E_{\text{EFFLUENT}} \cdot 44/28 \quad (4)$$

$$N_{\text{EFFLUENT}} = (P \cdot \text{Protein} \cdot F_{\text{NPR}} \cdot F_{\text{NON-COM}} \cdot F_{\text{IND-COM}}) - N_{\text{ÇAMUR}} \quad (5)$$

$$N_2O_{\text{AAT}} = P \cdot T_{\text{AAT}} \cdot F_{\text{IND-COM}} \cdot E_{\text{AAT}} \quad (6)$$

Eşitliklerde yer alan “P” nüfusu, “protein” yıllık kişi başı protein tüketimini, “N<sub>EFFLUENT</sub>” deşarj edilen atıksudaki azot içeriğini, “E<sub>EFFLUENT</sub>” deşarj edilen atıksudan salınan N<sub>2</sub>O için emisyon faktörünü, “F<sub>NPR</sub>” protein içerisindeki azot fraksiyonunu, “F<sub>NON-COM</sub>” tüketim dışı suya katılan protein için faktörü, “F<sub>IND-COM</sub>” kanalizasyona ticari ve endüstriyel faaliyetler sonucu deşarj edilen protein için faktörü, “N<sub>ÇAMUR</sub>” çamur ile birlikte uzaklaştırılan protein miktarını, “T<sub>AAT</sub>” atıksu arıtma tesislerinin kullanım oranını ve “E<sub>AAT</sub>” arıtma tesisi emisyon faktörünü ifade etmektedir. 2016 yılı için hesaplamada kullanılan yıl-ortası nüfus değeri 2015 ve 2016 yılı yıl-sonu nüfus değerleri baz alınarak elde edilmiştir. Yıllık kişi başı protein tüketimi 39,46 kg olarak alınmıştır. Hesaplamada kullanılan diğer parametrelere ilişkin alınan değerler Tablo 2’de verilmiştir (NIR, 2017; IPCC,2006).

**Tablo 2.** N<sub>2</sub>O emisyonu hesaplamasında kullanılan parametrelere ilişkin değerler

F <sub>IND-COM</sub>	F <sub>NON-COM</sub>	E <sub>AAT</sub> (g N <sub>2</sub> O/kişi/yıl)	F <sub>NPR</sub> (kg N/kg protein)	E <sub>EFFLUENT</sub> (kg N <sub>2</sub> O/kg N)	N <sub>ÇAMUR</sub> (kg)	T <sub>AAT</sub>
1,25	1,4	3,2	0,16	0,005	0	0,096

### 2.5. Atık yönetimi senaryoları

*Mevcut:* Atık sektörü kaynaklı sera gazı emisyon miktarı 2016 yılı için hesaplanmıştır.

*Senaryo 1:* Katı atık depolama sahasına giden atık miktarının tamamının düzenli depolamaya gideceği varsayımı yapılmıştır.

*Senaryo 2:* Düzenli depolamaya gönderilen yemek ve park bahçe atıklarının kompostlaştırmaya gönderildiği varsayımı yapılmıştır. Bu durumda yeterli kompost tesisi olduğu kabul edilmiştir.

*Senaryo 3:* Kişi başı atık oluşumunun %10 daha az olduğu varsayımı yapılmıştır.

## 3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

2016 yılı için mevcut durumda toplam sera gazı emisyonu 17,5 Mton CO<sub>2</sub>e olarak hesaplanmış olup, emisyon kategorileri ve sera gazı türüne göre değerler Tablo 3’te verilmiştir. Atık sektörü kaynaklı toplam sera gazı emisyon miktarı bir önceki yıla göre %3,4 oranında bir artış göstermiştir. Toplam emisyonun yaklaşık %74,3’ü atıkların depolanmasından, %25,6’sı atıksuların arıtımı ve deşarjından, geri kalan %0,1’lik kısmı ise kompostlaştırma ve açıkta yakma uygulamalarından kaynaklanmaktadır.

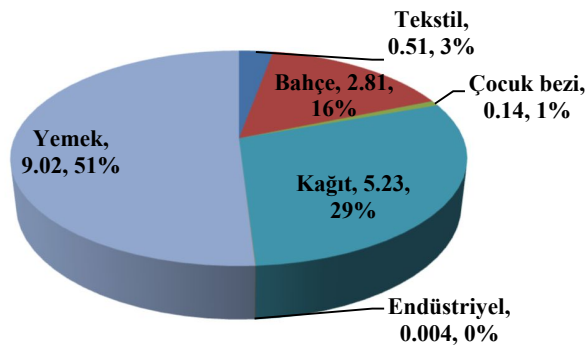


**Tablo 3.** Emisyon kategorileri ve sera gazı türüne göre toplam emisyon miktarı

Emisyon Kategorisi	Sera Gazı Emisyonu (Kton CO <sub>2</sub> e)			
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	Toplam
Katı Atık Depolama	-	12,969	-	12,969
Kompostlaştırma	-	9,34	6,68	16,02
Açıkta Yakma	0,55*	0,70	0,12	0,81
Atıksu Arıtımı ve Deşarjı	-	2,409	2,060	4,469
<b>Toplam</b>	<b>0,55</b>	<b>15,388</b>	<b>2,067</b>	<b>17,455</b>

\*: Fosil kökenli atıklardan kaynaklanmaması sebebiyle toplam emisyon miktarı içerisine dahil edilmemiştir.

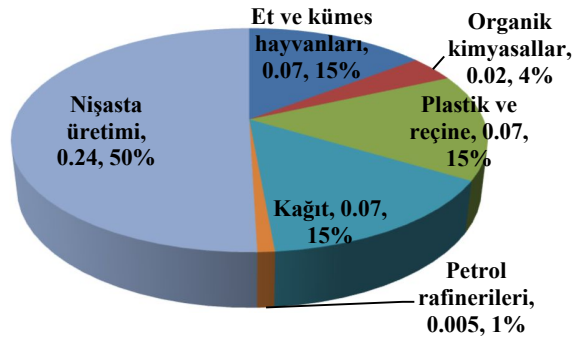
2016 yılında ülkemizde oluşan belediye atığı miktarı ve endüstriyel katı atık miktarı sırasıyla 31,65 milyon ton ve 15,73 milyon ton olarak hesaplanmış olup, belediye atıklarının 27,74 milyon tonu ve endüstriyel atıkların 6,6 bin tonluk kısmı atık depolama sahalarına gönderildiği varsayılmıştır. Geri kazanılan 4,7 Mton CO<sub>2</sub>e'lik CH<sub>4</sub> emisyonu ile birlikte atık depolama sahalarından salınan toplam emisyon miktarı 17,7 Mton CO<sub>2</sub>e olup, bu miktarın atık kompozisyonuna göre dağılımı Şekil 6'da gösterilmiştir. Parçalanabilir organik madde içeriği en yüksek olan kağıt atıkları, miktar olarak yemek atıklarından 5,4 kat az olmasına rağmen, sera gazı emisyon miktarı açısından değerlendirildiğinde aynı oranda bir fark görülmemekte olup, yemek atıklarına ait sera gazı emisyon miktarı yaklaşık 1,7 kat fazladır. Kağıt atıkları için Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği'nde yer alan geri kazanım oranları 2005-2016 yılları arasında %32'den %52'ye çıkmakta olup, 2020 yılı için hedeflenen değer %60'dır (AAKY, 2011). Bu geri kazanım hedeflerinin gerçekleştirilmesi, ormanların korunmasına ek olarak sera gazı emisyonlarının azaltılmasına da katkı sağlayacaktır. Atıkların %30,4'ünü oluşturan plastik ve diğer inert atıklar ise sera gazı emisyonu oluşturmamaktadır.



**Şekil 6.** Atık depolama kaynaklı sera gazı emisyonunun atık türüne göre dağılımı

2016 yılında kompost tesisine gönderilen atık miktarı 93,4 bin ton olup, kompostlaştırma sonucu oluşan CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O emisyonları sırasıyla 9,3 Kton CO<sub>2</sub>e ve 6,7 Kton CO<sub>2</sub>e olarak hesaplanmıştır. Toplam 4,3 bin ton atığın açıkta yakılması sonucu ise CH<sub>4</sub> ve N<sub>2</sub>O emisyonları sırasıyla 0,7 Kton CO<sub>2</sub>e ve 0,12 Kton CO<sub>2</sub>e olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, açıkta yakma işlemi sonucu 0,55Kton CO<sub>2</sub> emisyonu açığa çıkmakta olup, bu değer fosil kökenli atıklardan kaynaklanmaması sebebiyle toplam sera gazı emisyonlarına dahil edilmemiştir.

2016 yılında evsel ve endüstriyel atıksuların arıtılması ve deşarjı kaynaklı toplam 4,5 Mton CO<sub>2</sub>e sera gazı emisyonu salınmış olup, N<sub>2</sub>O emisyon miktarı 2,1 Mton CO<sub>2</sub>e olarak hesaplanmıştır. Toplamda 2,4 Mton CO<sub>2</sub>e olan CH<sub>4</sub> emisyonunun 1,9 Mton CO<sub>2</sub>e kadarı evsel, geri kalan kısmı ise endüstriyel atıksulardan kaynaklanmaktadır. Endüstriyel atıksulardan kaynaklanan 0,5 Mton CO<sub>2</sub>e emisyonunun sektörlere göre dağılımı Şekil 7’de verilmiştir. Nişasta üretimi hem endüstriyel atıksu oluşumu hem de birim atıksu başına organik madde içeriği açısından ilk sırada yer almakta olup, dolayısıyla sera gazı emisyonlarının %50’sini oluşturmuştur.



Şekil 7. Endüstriyel atıksulardan kaynaklanan sera gazı emisyonunun sektörlere göre dağılımı

2016 yılı için mevcut durum ile belirlenmiş olan üç senaryoya göre elde edilen toplam sera gazı emisyonu sonuçları emisyon kategorilerine göre karşılaştırmalı olarak Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Emisyon kategorilerine göre sera gazı emisyon miktarları

Emisyon Kategorisi	Toplam Sera Gazı Emisyonu (Mton CO <sub>2</sub> e)			
	Mevcut	Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
Katı Atık Depolama	12,969	13,454	12,485	12,806
Kompostlaştırma	0,016	0,016	1,315	0,014
Açıkta Yakma	0,001	0,001	0,001	0,001
Atıksu Arıtımı ve Deşarjı	4,469	4,469	4,469	4,469
TOPLAM	17,455	17,940	18,269	17,290

Atıkların depolanmasından kaynaklanan sera gazı emisyon miktarı, toplam emisyon miktarının Senaryo1, 2 ve 3 için sırasıyla %75, %68,3 ve %74,1’ini oluşturmakta olup, bu oranlar atıksu arıtımı ve deşarjı için %25,9, %24,5 ve %25,8’dir. Senaryo 2 için kompostlaştırmadan kaynaklı sera gazı emisyon oranı %7,2, diğer senaryolar için %0,1’dir. Açıkta yakma kaynaklı sera gazı emisyon miktarı ise tüm senaryolar için yok denecek kadar az bir orana sahiptir.

Depolanan katı atıkların tamamının düzenli depolamaya gönderildiği Senaryo 1’e göre, toplam sera gazı emisyonu miktarında 485 Kton CO<sub>2</sub>e daha fazla sera gazı emisyonu oluşması öngörülmüştür. Belediye çöplüğü gibi yönetilmeyen bertaraf sahalarına gönderilen atığın büyük bir kısmı üst katmanda aerobik olarak parçalandığından depo gazı oluşumu daha az olmaktadır. Hesaplamalarda bu durum MCF değeri ile ifade edilmektedir (IPCC, 2006). Depolama sahasının derinliği, anaerobik veya yarı aerobik olmasına göre farklı değerler alabilen MCF değeri

Senaryo1’de düzenli depolama sahaları için 1, derinlik vs. göre sınıflandıramadığımız ve hiç atık gönderilmeyen belediye çöplükleri için ise 0,6 olarak alınmıştır. Dolayısı ile atıkların tamamının düzenli depolamaya gönderilmesi ile daha fazla sera gazı üretilmiş olacaktır. Ancak, oluşan bu gazın kontrollü toplanması ve enerji üretiminde değerlendirilmesi büyük avantaj sağlamaktadır. 2016 yılında İstanbul’da Odayeri, Hasdal ve Kömürçüoda enerji üretim tesislerinde çöp gazından üretilen elektrik miktarı 404.330 MWh değerindedir (İBB, 2017).

Mevcut durumda depolamaya giden yemek ve bahçe atıklarının kompostlaştırmaya gönderildiği Senaryo 2’nin toplam sera gazı emisyonu 814 Kton CO<sub>2e</sub> daha fazla hesaplanmıştır. Daha fazla sera gazı emisyonu oluşmakla beraber, atık depolama sahalarına giden atık miktarının azalması ve son ürün olan kompostun gübre yerine kullanılması kompostlaştırmanın avantajları olarak sayılabilmektedir. Böylelikle, sera gazı salımına sebep olan diğer bir sektör olan gübre üretiminden kaynaklı sera gazı emisyonlarında da azalma sağlanacaktır. Kişi başı atık oluşumunun %10 az olduğu Senaryo 3’ün toplam sera gazı oluşum miktarı ise mevcut duruma göre 165 Kton CO<sub>2e</sub> daha az hesaplanmıştır.

#### 4. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Ülkemizde atık sektörüne ilişkin yapılan emisyon hesaplamalarında kullanılan bazı veriler IPCC varsayımlarına dayanmakta olup, bu verilerin ülkemize özgü detaylı çalışmalar yapılarak güncellenmesi gerekmektedir. Örneğin; MCF değerinin her bir depolama sahasının derinliği, anaerobik veya yarı aerobik olma koşulu ele alınarak belirlenmesi gerekmektedir. Toplam sera gazı emisyonunun azaltılmasına büyük katkı sağlayan metan geri kazanımına ilişkin kapasite yıllar itibariyle artmış olup, metan geri kazanımı uygulamalarının yaygınlaştırılması gerekmektedir. Kişi başı atık oluşumunun azaltılması, atık bertarafından önce uygulanması gereken atıkların kaynağında azaltılması, yeniden kullanılması ve geri dönüşümü gibi atık yönetimi uygulamaları konusunda bilinçlendirme çalışmalarının yapılması, özellikle yüksek sera gazı emisyonu salımına sebep olan kağıt atıklarının geri kazanımının sağlanması büyük önem arz etmektedir.

#### KAYNAKLAR

- AAKY, 2011. Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, <http://mevzuat.basbakanlik.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.15220&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=>, Erişim Tarihi: 10 Eylül 2017.
- IPCC, 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories-Volume 5-Waste, Hayama, Kanagawa, Bölüm 1-6
- İBB, 2017. Atık Yönetimi Müdürlüğü-Çöp Gazından Elektrik Üretim Tesisleri, <https://atikyonetimi.ibb.istanbul/hizmetlerimiz/cop-gazindan-elektrik-uretim-tesisi/>, Erişim Tarihi: 15 Eylül 2017.
- NASA, 2017. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>, Erişim Tarihi: 8 Haziran 2017.



VII. ULUSAL HAVA KİRLİLİĞİ VE KONTROLÜ SEMPOZYUMU  
Hava Kirlenmesi Araştırmaları ve Denetimi Türk Milli Komitesi  
Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü  
1-3 Kasım 2017-Antalya



- NIR, 2017. National Greenhouse Gas Inventory Report 1990-2015, Turkish Statistical Institute, Ankara, sf. 363-423.
- TÜİK, 2015a. Belediye Atıksu İstatistikleri 2014, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18778>, Türkiye İstatistik Kurumu, Erişim Tarihi: 4 Eylül 2017.
- TÜİK, 2015b. Belediye Atık İstatistikleri 2014, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=18777>, Türkiye İstatistik Kurumu, Erişim Tarihi: 4 Eylül 2017.
- TÜİK, 2016. İmalat Sanayi Su, Atıksu ve Atık İstatistikleri 2014, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=21624>, Türkiye İstatistik Kurumu, Erişim Tarihi: 4 Eylül 2017.
- TÜİK, 2017. Seragazi Emisyon İstatistikleri 1990-2015, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=24588>, Türkiye İstatistik Kurumu, Erişim Tarihi: 5 Eylül 2017.
- UNFCCC, 1992. United Nations Framework Convention on Climate Change, Rio de Janeiro, sf. 3.