

Received: 08.05.2020

Accepted: 28.05.2020

Determination of Appropriate Parameters for Estimating the Amount of Landfill Gas in Storage Sites

Murat TORUN^{1*}, Ünal KURT²

¹ Union of Yeşilirmak Municipalities Waste Management, 60500, Tokat, Turkey

² Amasya University, Faculty of Technology, Electrical-Electronics Engineering Department, 05100, Amasya, Turkey

Abstract

In this study, garbage gas which is a type of renewable energy sources, and which is expressed by names such as LFG and storage gas is emphasized. In the solid waste landfill and disposal facility in Erbaa District of Tokat, the formation of landfill gas has been examined and the landfill and methane gas amounts that can be obtained from the landfill are estimated with the help of LandGEM-EPA mathematical model. Then, the deviation amounts were determined by comparing the production quantities of the storage area with the data of the model in those years. Said deviation amount was interpreted and the appropriate parameter was determined for the facility conditions.

Keywords: Biogas, landfill gas, storage area.

Depolama Sahalarında Çöp Gazı Miktarının Tahmini Hesaplanması İçin Uygun Parametrelerin Tespiti

Murat TORUN^{1*}, Ünal KURT²

¹ Yeşilirmak Belediyeleri Katı Atık Yönetim Birliği, 60500, Tokat, Türkiye

² Amasya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 05100, Amasya, Türkiye

Özet

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından biyogazın bir çeşidi olan ve LFG, depo gazı gibi isimlerle de ifade edilen çöp gazı üzerinde durulmuştur. Tokat' ın Erbaa İlçesinde bulunan katı atık düzenli depolama ve bertaraf tesisinde çöp gazı oluşumu incelenmiş olup depolama sahasından elde edilebilecek çöp gazı ve metan gazı miktarları LandGEM-EPA matematiksel modeli yardımıyla tahmin edilmiştir. Daha sonra depolama sahasının üretim miktarlarının bilindiği yıllar ile modelin o yıllardaki verileri kıyaslanarak sapma miktarları belirlenmiştir. Bu sapma miktarı yorumlanarak tesis koşullarına uygun parametrenin tespiti yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyogaz, çöp gazı, depolama sahası.

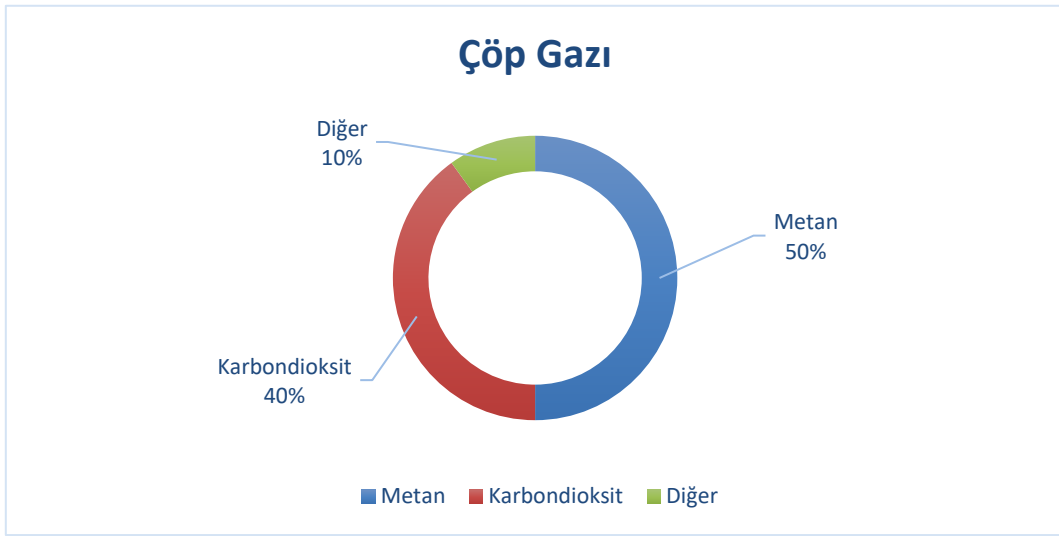
*Corresponding Author, e- mail: murattorun@hotmail.com

1. Giriş

Biyogaz, organik materyallerin anaerobik şartlarda parçalanması ile oluşan, havadan % 20 hafif olan, 20 MJ/m³ kalorifik değere sahip yanıcı bir gaz karışımıdır [1].

Ağaç, mısır, buğday gibi bitkiler, yosunlar, meyve ve sebze atığı gibi tüm organik çöpler ile gübre ve sanayi atıkları biyogaz üretiminde kullanılan materyaller arasında sayılabilir [2].

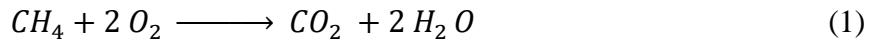
Bir biyogaz türü olan çöp gazının (LFG, depo gazı) bileşiminde, özellikle atıkların türüne göre oransal farklılıklar görülebilir. Çöp gazında oranca en fazla metan (CH₄) ve karbondioksit (CO₂) bulunur. Bunların oranını yaklaşık olarak şu şekilde ifade edebiliriz;



Şekil 1. Çöp Gazının Bileşimi

LFG (Landfill Gas), katı atık depo alanlarından elde edilen ve % 50' den fazlası metan olan gazdır. Atmosferdeki CO₂ dengesini bozan sera gazları içinde en önemli gaz olan metanın atmosfere verdiği zarar eşdeğer gazlara göre 21 kat daha fazladır. Katı atık depolama alanları dünyadaki metan emisyonlarının % 25' inden fazlasından sorumludur. Depolama sahaları kapatıldıktan sonra bile 20-30 yıl boyunca gaz üretmeye devam ederler [3].

Metan gazı havadan hafif, renksiz, kokusuz, tatsız, yanıcı bir gazdır. Karbondioksite göre sera etkisi 21 kat fazladır. Bu yüzden oluşan metan gazı yakılır.



Yanma sonucunda karbondioksit ve su oluşur. Böylece sera etkisi yüksek olan gaz yakılarak sera etkisi 21 kat daha düşük olan karbondioksit gazına dönüştürülmüş olur. İşte çöp depolama alanlarında yapılan işlem de budur.

Bu çalışmada katı atık depolama alanlarında oluşan çöp gazı miktarı ile bu miktarın tahmini hesaplanması amacıyla kullanılan LandGEM modelinin verileri kıyaslanarak tesis için hangi parametrenin kullanılmasının daha doğru sonuç vereceği tespit edilecektir. Ayrıca bu parametrelerle tesis verileri arasındaki sapma yüzdesi de hesaplanacaktır. Bunun için Tokat' ın Erbaa İlçesinde

bulunan Yeşilirmak Belediyeleri Katı Atık Yönetim Birliği (YBKAYB)' ne ait Katı Atık Düzenli Depolama ve Bertaraf Tesisi özelinde çalışma yapılacaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1. LandGEM modeli

Depo gazı(çöp gazı) miktarının tahmini hesaplanması için birçok model geliştirilmiştir. Bu modellerin her biri belli özellikler ve kabuller doğrultusunda depo gazı miktarının yaklaşık olarak hesaplanması için farklı denklemler içermektedir. Çalışmamızda depo gazı miktarının hesaplanması için LandGEM Modeli üzerinde durulacaktır.

USEPA LandGEM kısaltmasıyla bilinen modelin tam adı “United States Environmental Protection Agency Landfill Gas Emission Model” dir. Türkçesi “Birleşik Devletler Koruma Ajansı Depo Gazı Emisyon Modeli” olan yöntemle depolama sahasında oluşan metan gazı miktarının yaklaşık hesabı yapılır. Modelde kullanılan denklem ve modelin detayları aşağıda verilmiştir [4].

- Modelin metan gazı tahmin hesabı birinci dereceden bozunma denklemine dayanmaktadır.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 k \cdot L_o \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-k \cdot t_{ij}} \quad (2)$$

i : 1 yıllık zaman artışı

n : hesaplama yılı ile ilk atık kabul yılı arasındaki fark

j : 0,1 yıllık zaman artışı

k : metan üretim hız sabiti (yl^{-1})

L_o : potansiyel metan üretim kapasitesi (m^3/ton)

M_i : i . yılda kabul edilen atık miktarı (ton)

t_{ij} : i . yılda kabul edilen M_i atık kütlelerinin j . kısmının yaşı (Örneğin: 4,3 yaşında)

- Depo gazının kabaca yarı metan yarı karbondioksitten oluştuğu, bunlara ilave olarak düşük konsantrasyonlarda diğer hava kirleticilerin de bulunduğu varsayılmaktadır.
- Bu model yardımıyla depolama alanından kaynaklanan emisyonları tahmin edebilmek için bazı bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar;
 - Düzenli depolama sahasının atık kapasitesi,
 - Düzenli depolama sahasına kabul edilen yıllık atık miktarı, M_i ($ton/yıl$)
 - Metan üretim hız sabiti, k (yl^{-1})
 - Potansiyel metan üretim kapasitesi (1 ton atıktan üretilebilecek metan miktarı), L_o (m^3/ton)
 - Düzenli depolama sahasının faaliyete geçtiği yıl,
 - Düzenli depolama sahası açıldıktan sonra geçen süre, n ($yıl$)
 - Düzenli depolama sahası kapatıldıktan sonra geçen süre,
 - Düzenli depolama sahasında tehlikeli atıkların bertarafının (birlikte bertaraf) yapılıp yapılmadığı,
 - Toplam metan olmayan organik bileşiklerin (NMOC) konsantrasyonu,
- Metan olmayan organik bileşiklerin (NMOC) konsantrasyonu;

- CAA parametreleri seçilirse NMOC konsantrasyonu 4000 ppmv,
- AP-42 parametreleri seçilirse; birlikte bertaraf durumunda NMOC konsantrasyonu 2400 ppmv, birlikte bertaraf olmayan veya bilinmediği durumda ise 600 ppmv.

Model yardımıyla emisyonların tahmin edilebilmesi için ihtiyaç duyulan verilerin sahaya özgü veriler olması hesaplamaların doğruluğunu artırır. Eğer düzenli depolama sahasına özgü veriler bilinmiyorsa CAA ve AP-42 olarak adlandırılan değer kümeleri yardımıyla k ve L_o değerleri belirlenerek hesaplama yapılır. Bu parametreler belirlenirken Tablo 1 dikkate alınır [5].

Tablo 1. CAA ve AP-42 parametreleri [5]

Parametre	CAA		AP-42	
	P > 640 mm	P < 640 mm	P > 640 mm	P < 640 mm
k (1/yıl)	0,05	0,02	0,04	0,02
Lo (m³/ton)	170	170	100	100

Tablodan da görüleceği gibi gerek CAA gerekse AP-42 parametrelerinin kullanımında k değerleri belirlenirken depolama sahasının bulunduğu yerin yıllık ortalama yağış miktarının da bilinmesi gerekmektedir. Yıllık ortalama yağış miktarının 640 mm' den az olduğu yerlerde k değeri 0,02 yıl⁻¹ iken 640 mm' den fazla olan yerlerde CAA için 0,05 yıl⁻¹, AP-42 için 0,04 yıl⁻¹ olmaktadır. L_o için ise yağış miktarına ihtiyaç yoktur. L_o değeri CAA için 170 m³/ton iken AP-42 için 100 m³/ton kabul edilmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Depolama Sahasına Ait Veriler

Tokat' ın Erbaa İlçesi' nde katı atıkların depolanması ve bertaraf edilmesi amacıyla 2006 yılında Erbaa Belediyeleri Katı Atık Yönetim Birliği kurulmuştur. Birliğe Erbaa dışından da belediyelerin üye olmasıyla 2009 yılında adı Yeşilirmak Belediyeleri Katı Atık Yönetim Birliği olarak değiştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda 2012 yılında 5 Haziran Dünya Çevre Günü' nde birliğe ait düzenli depolama ve bertaraf tesisi hizmete açılmıştır [6].

Düzenli depolama ve bertaraf sahasının Lot1 adındaki 1. Etabının kapasitesi en az 9 yıl olacak şekilde 311.830 m³ tür. 2012 yılının 6. Ayından itibaren atık kabulü yapılan sahaya yıllara göre dökülen atık miktarları aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2. Depolama sahasına yıllara göre dökülen atık miktarı

Yıl	Çöp Miktarı (ton)
2012	12.107
2013	20.590
2014	27.308
2015	29.611
2016	32.500
2017	30.704
2018	32.876
Toplam	185.696

2018 yılı sonu itibariyle kullanılan kapasite 211.830 m³ tür [7]. Bu kapasiteye denk gelen çöp miktarı ise 185.696 ton olmuştur. Bu değerler yardımıyla depo sahasının toplam kapasitesini ton bazında hesaplırsak;

$$\begin{aligned} \text{Toplam Kapasite} &= \frac{311.830 \times 185.696}{211.830} \text{ ton} \\ &= 273.359 \text{ ton} \end{aligned}$$

Depolama sahasından çıkan gazdan elektrik üretimi 2015 yılının 7. ayında başlamıştır. Tablo 3. de yıllara göre atık miktarları, yakılan depo gazı ve elektrik üretim miktarları görülmektedir.

Tablo 3. Depolama sahasının verileri [6-9]

Yıl	Atık Miktarı (ton)	Depo Gazı (m ³)	Elektrik Üretimi (kW)
2015	29.611	399.161	544.409
2016	32.500	1.399.365	1.908.561
2017	30.704	2.169.240	2.958.407
2018	32.876	2.336.959	3.178.265
Toplam	125.691	6.304.725	8.589.642

3.2. LandGEM Modelinin Uygulanması

Depo gazı miktarının tahmininde kullanılan bu modelin uygulanabilmesi için bazı verilerin öncelikle bilinmesi gerekmektedir.

- Sahanın çöp almaya başladığı yıl = 2012
- Sahanın çöp alabileceği son yıl = 2021
- Sahanın kapasitesi = 273.359 ton
- Toplam gaz içerisindeki metan oranı = % 50 (hacimce)

Depolama sahası ile ilgili L_o ve k değerleri bilinmediğinden uygulamayı LandGEM modelinin hazır parametrelerini kullanarak gerçekleştirmemiz gerekiyor. Bunun için CAA ve AP-42 parametreleri denilen değerleri kullanmamız gerekmektedir.

k değerinin tespit edilmesinde yağış miktarı dikkate alınır. Tesisin bulunduğu il olan Tokat' ta meteoroloji verilerine göre 1929-2018 yılları arasındaki yıllık ortalama yağış miktarı 430,6 mm' dir [10]. Yıllık ortalama yağış miktarının 640 mm' den düşük olması sebebiyle k değeri olarak 0,02 kullanılmalıdır.

CAA Parametreleri ile Hesaplanması

Tablo 1' e göre CAA parametrelerinden $k = 0,02$ ve $L_o = 170$ olarak seçilmiştir.

Tablo 4. CAA parametreleri ile elde edilen veriler

Yıl	Atık Miktarı	Toplam Atık Miktarı	Depo Gazı		Metan	
	(ton/yıl)	(ton)	(ton/yıl)	(m ³ /yıl)	(ton/yıl)	(m ³ /yıl)
2012	12.107	0	0	0	0	0
2013	20.590	12.107	102	81.591	27	40.796
2014	27.308	32.697	273	218.736	73	109.368
2015	29.611	60.005	498	398.438	133	199.219
2016	32.500	89.616	737	590.102	197	295.051
2017	30.704	122.116	996	797.441	266	398.721
2018	32.876	152.820	1.235	988.571	330	494.285

AP-42 Parametreleri ile Hesaplanması

Tablo 1' e göre AP-42 parametrelerinden $k= 0,02$ ve $L_o= 100$ olarak seçilmiştir.

Tablo 5. AP-42 parametreleri ile elde edilen veriler

Yıl	Atık Miktarı	Toplam Atık Miktarı	Depo Gazı		Metan	
	(ton/yıl)	ton	(ton/yıl)	(m ³ /yıl)	(ton/yıl)	(m ³ /yıl)
2012	12.107	0	0	0	0	0
2013	20.590	12.107	60	47.995	16	23.997
2014	27.308	32.697	161	128.668	43	64.334
2015	29.611	60.005	293	234.375	78	117.188
2016	32.500	89.616	433	347.119	116	173.560
2017	30.704	122.116	586	469.083	156	234.542
2018	32.876	152.820	726	581.512	194	290.756

3.3. Tesise Uygun Parametrelerin Seçimi

Tesise uygun parametrelerin seçimi yapılırken depolama sahasından çıkan gaz miktarının bilindiği 2015, 2016, 2017 ve 2018 yıllarındaki değerler kullanılmıştır. Bu yıllarda hem CAA hem de AP-42 parametreleri kullanılarak bulunan depo gazı miktarının depolama sahasından çıkan depo gazı miktarından sapma değerleri hesaplanarak aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Sapma yüzdesinin hesaplanmasında,

$$\% \text{ Sapma} = \frac{\text{Ölçülen Değer} - \text{Parametre ile Hesaplanan Değer}}{\text{Ölçülen Değer}} \quad (3)$$

denklemini kullanılmıştır.

Tablo 6. Parametre verilerinin tesis verilerinden sapma yüzdeleri

Yıllar	Tesis Verileri	CAA Parametre Verileri	AP-42 Parametre Verileri
--------	----------------	------------------------	--------------------------

	Depo Gazı Miktarı	Depo Gazı Miktarı	% Sapma	Depo Gazı Miktarı	% Sapma
2015*	399.161	199.219	50,1	117.188	70,6
2016	1.399.365	590.102	57,8	347.119	75,2
2017	2.169.240	797.441	63,2	469.083	78,4
2018	2.336.959	988.571	57,7	581.512	75,1
Toplam	6.304.725	2.575.333	59,2	1.514.902	76,0

* 2015 yılında tesiste gaz üretimi 6 ay gerçekleştiğinden CAA ve AP-42' ye ait depo gazı miktarları da 6 aylık olarak alınmıştır.

Sapma yüzdelerine bakıldığında her iki parametreler ile hesaplanan değerlerin depolama sahasında ölçülen değerden daha düşük olduğu görülmektedir. CAA parametreleri kullanılarak hesaplanan değerler AP-42 parametreleri kullanılarak hesaplanan değerlere göre daha az sapma göstermiştir. Yani CAA parametrelerinin kullanılması daha doğru olacaktır.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada şehirler için büyük bir sorun olan çöplerin bertarafı ve oluşan depo gazı (çöp gazı) ile metan miktarlarının tahmini olarak hesaplanması üzerinde durulmuştur. Bu amaçla katı atık düzenli depolama ve bertaraf tesisine ait veriler LandGEM modeline uyarlandı. Çalışma neticesinde şu sonuçlara ulaşılmıştır.

- LandGEM modeli uygulanırken tesis özelinde CAA parametrelerinin kullanılması daha doğru sonuçlar vermektedir.
- CAA parametreleriyle yapılan hesaplamalardan oluşan değerler ile tesisin metan üretim miktarının bilindiği yıllar karşılaştırıldığında tesis verilerinin tahmini verilerden daha fazla olduğu ve ortalama % 59,2' lik bir sapma gerçekleştiği tespit edilmiştir. Bu sapma bir hata oranından ziyade tesisin modele uyarlanma oranı olarak algılanmalıdır. Çünkü tesise ait daha net katsayılar için deneysel bir dizi ölçüm yapılması gerekmektedir. Burada ise deneysel değil matematiksel bir tahmin üzerinde durulmuştur.
- CAA ve AP-42 parametrelerinin her ikisinde de k değeri 0,02' dir. Farklı olan ise L_o değeridir. L_o değeri, CAA için 170 iken AP-42 için 100' dür. Tesis için CAA parametrelerinin daha doğru sonuçlar vermesi aynı zamanda L_o değeri arttıkça sonuçların gerçek değerlere daha çok yaklaşacağını göstermektedir.

5. Kaynaklar

- [1] İlkılıç C, Deviren H (2011). Biyogazın Oluşumunu Etkileyen Fiziksel ve Kimyasal Parametreler. *6th International Advanced Technologies Symposium*, s.123-131, Elazığ, Türkiye.
- [2] Korkmaz Y, Aykanat S, Çil A (2012). Organik Atıklardan Biyogaz ve Enerji Üretimi. *SAÜ Fen Edebiyat Dergisi*, 1: 489-497.

- [3] Enbiocon (2019). Çöp Gazı (LFG). <http://www.enbiocon.com/cop-gazi-lfg.html>, (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2019).
- [4] EPA (2005). Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide. <https://www3.epa.gov/ttnca1/dir1/landgem-v302-guide.pdf>, (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2019).
- [5] Taşkan E O (2001). Depolama Sahası Gazlarının Yönetimi ve Modellemesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [6] YBKAYB (2016). *2015 Yılı Faaliyet Raporu*. Yeşilirmak Belediyeleri Katı Atık Yönetim Birliği Başkanlığı, Tokat, Türkiye.
- [7] YBKAYB (2019). *2018 Yılı Faaliyet Raporu*. Yeşilirmak Belediyeleri Katı Atık Yönetim Birliği Başkanlığı, Tokat, Türkiye.
- [8] YBKAYB (2017). *2016 Yılı Faaliyet Raporu*. Yeşilirmak Belediyeleri Katı Atık Yönetim Birliği Başkanlığı, Tokat, Türkiye.
- [9] YBKAYB (2018). *2017 Yılı Faaliyet Raporu*. Yeşilirmak Belediyeleri Katı Atık Yönetim Birliği Başkanlığı, Tokat, Türkiye.
- [10] MGM (2019). İllerimize Ait Genel İstatistik Verileri. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=TOKAT>, (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2019).