



T.C.

**AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TESİS VERİLERİ KULLANILARAK ÇÖP GAZI MİKTARININ
KESTİRİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MURAT TORUN

ARALIK

**TESİS VERİLERİ KULLANILARAK ÇÖP GAZI MİKTARININ
KESTİRİMİ**

Murat TORUN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YENİLENEBİLİR ENERJİ ve UYGULAMALARI ANABİLİM DALI

Danışman

Doç. Dr. Ünal KURT

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ARALIK 2020

ETİK BEYAN

Amasya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Murat TORUN

25/12/2020

TESİS VERİLERİ KULLANILARAK ÇÖP GAZI MİKTARININ KESTİRİMİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Murat TORUN

AMASYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2020

ÖZET

Bu çalışmada, yenilenebilir enerji kaynaklarından biyogazın bir çeşidi olan ve çöp gazı da denilen LFG üzerinde durulmuştur. Tokat' ın Erbaa İlçesinde bulunan katı atık düzenli depolama ve bertaraf tesisinde çöp gazı oluşumu ve akabinde elektrik enerjisi üretimi incelenmiş olup depolama sahasından gelecek yıllarda 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 bir katsayı belirlenmiştir. Ayrıca bu katsayı, gelecek yıllardaki tahmini verilere de uygulanarak bir nevi LandGEM modeli tesis koşullarına göre kalibre edilmiştir.

Sayfa Adedi : 44
Anahtar Kelimeler : Biyogaz, katı atık, çöp gazı.
Danışman : Doç. Dr. Ünal KURT

ESTIMATION OF LANDFILL GAS AMOUNT USING PLANT DATA

(M. Sc. Thesis)

Murat TORUN

AMASYA UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE

December 2020

ABSTRACT

In this study, the biogas LFG also known as landfill gas which is a renewable energy source is analyzed. The formation of landfill gas and subsequent electrical energy production in the solid waste landfill and disposal facility in Erbaa District of Tokat is analyzed. And the landfill and methane gas amounts that can be obtained from the landfill in the coming years are calculated using the LandGEM-EPA mathematical model. Whats more, a coefficient is determined by comparing the production quantities of the storage area and the data of the model. In addition to these, said coefficient is applied to the calculated data of the coming years and some sort of LandGEM model was calibrated according to the facility conditions.

Page Number : 44
Key Words : Biogas, solid waste, landfill gas.
Supervisor : Assoc. Prof. Ünal KURT

ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren danışmanım Sayın Doç. Dr. Ünal KURT' a, her türlü katkı ve destekte bulunan Amasya Üniversitesi öğretim elemanları ve çalışanlarına ayrıca eşim Sibel ve oğlum Metehan' a teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖN SÖZ ve TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
RESİMLER DİZİNİ.....	xi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. ÇÖP GAZI	2
2.1. Biyogaz – Çöp Gazı İlişkisi	2
2.2. Çöp Gazı ve Bileşimi	3
2.3. Çöp Gazının Oluşum Fazları.....	5
2.3.1. İlk uyum fazı	5
2.3.2. Geçiş fazı.....	5
2.3.3. Asit fazı	5
2.3.4. Metan fazı	6
2.3.5. Olgunlaşma fazı	6
2.4. Çöp Gazı Miktarının Tahmini Hesaplanması	6
2.4.1. LandGEM modeli	7
2.4.2. Tabasaran / Rettenberger modeli	9
2.4.3. Sheldon Arleta modeli	9
2.4.4. Scholl Canyon modeli	9
2.4.5. Emcon kinetik modeli	10
2.4.6. Clancy kinetik modeli	10
3. ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ.....	11
3.1. İstatistikler.....	11

	Sayfa
3.1.1. Elektrik enerjisi istatistikleri.....	11
3.1.2. Atık istatistikleri	17
3.2. Çöp Gazından Elektrik Üretimi.....	20
3.2.1. Atıkların depolanması.....	21
3.2.2. LFG' nin toplanması.....	22
3.2.3. Gazın iyileştirilmesi.....	23
3.2.4. Gazın yakılması	24
3.2.5. Yakma bacası (flare).....	24
3.2.6. Elektriğin enerji nakil hattına iletilmesi	25
4. TESİS ÖZELİNDE ÇALIŞMA YAPILMASI.....	27
4.1. Tesisle İlgili Bilgiler	27
4.2. LandGEM Modelinin Uygulanması.....	33
4.2.1. CAA parametreleri ile hesaplanması	33
4.2.2. AP-42 parametreleri ile hesaplanması	35
4.3. Tesise Uygun Parametrelerin Seçimi	37
5. SONUÇ	41
KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ	44

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. CAA ve AP-42 parametreleri	8
Çizelge 3.1. Türkiye’ de kurulu gücün yıllara göre değişimi	11
Çizelge 3.2. Türkiye’ de 2018 yılı yenilenebilir enerji kurulu güçleri	13
Çizelge 3.3. Türkiye’ de üretimin yıllara göre değişimi	14
Çizelge 3.4. Türkiye’ de 2018 yılı yenilenebilir enerjide üretim miktarları	16
Çizelge 3.5. Türkiye’ de yıllara göre atık verileri.....	17
Çizelge 3.6. Türkiye’ de yıllara göre atık bertaraf verileri	19
Çizelge 4.1. Depolama sahasına yıllara göre dökülen atık miktarı.....	30
Çizelge 4.2. Depolama sahasına yıllara göre dökülebilecek atık miktarı	31
Çizelge 4.3. Depolama sahasının verileri	32
Çizelge 4.4. CAA parametreleri ile elde edilen veriler.....	33
Çizelge 4.5. AP-42 parametreleri ile elde edilen veriler.....	35
Çizelge 4.6. Parametre verilerinin tesis verilerinden sapma yüzdeleri	37
Çizelge 4.7. Parametre verilerinin katsayı ile düzenlenmesi	39

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Biyogaz üretilen ortamlar	3
Şekil 2.2. Çöp Gazının Bileşimi	4
Şekil 2.3. Evsel atıklar için toplama sistemli gaz üretimi modeli	6
Şekil 3.1. Türkiye’ de 2018 yılı kurulu güç dağılımı.....	13
Şekil 3.2. Türkiye’ de 2018 yılı yenilenebilir enerji kurulu güçlerinin dağılımı.....	14
Şekil 3.3. Türkiye’ de 2018 yılı üretim miktarlarının dağılımı.....	16
Şekil 3.4. Türkiye’ de 2018 yılı yenilenebilir enerjide üretimin dağılımı	17
Şekil 3.5. Türkiye’ de yıllara göre toplanan belediye atık miktarının değişimi	18
Şekil 3.6. Türkiye’ de yıllara göre bertaraf yöntemlerinin değişimi.....	19
Şekil 3.7. Atıklardan elektrik üretimi	21
Şekil 3.8. Depolama alanının katmanları	22
Şekil 3.9. Çöp gazından enerji eldesi şeması	26
Şekil 4.1. CAA parametreleri ile emisyon değişimi	35
Şekil 4.2. AP-42 parametreleri ile emisyon değişimi	37

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 3.1. Yanan Bir Çöp Alanı	20
Resim 3.2. Atıkların depolanması.....	22
Resim 3.3. Çöp alanı borulaması	23
Resim 3.4. Gazın ana hatta aktarılması.....	23
Resim 3.5. Samsun katı atık tesisi elektrik üretim motorları	24
Resim 3.6. Gaz bacası	25
Resim 3.7. Elektrik üretim ve dağıtım sistemi.....	25
Resim 4.1. Kantardan bir görünüm.....	27
Resim 4.2. Yatay borulama.....	28
Resim 4.3. İstasyon ve ana boru	29
Resim 4.4. Tesiste kullanılan gaz motoru.....	29

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar	Açıklama
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AP-42	Compilation of Air Pollutant Emission Factors
CAA	Clean Air Act
LandGEM	Landfill Gas Emission Model
LFG	Landfill Gas
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
NMOC	Non-Methane Organic Compounds
pH	Power of Hydrogen
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
USEPA	United States Environmental Protection Agency
YBKAYB	Yeşilırmak Belediyeleri Katı Atık Yönetim Birliği

1. GİRİŞ

21. yüzyıl dünyasında hızla gelişen teknoloji ile birlikte enerji ihtiyacı da hızlı bir şekilde artış göstermiştir. Artan enerji ihtiyacını insanoğlu ilk başlarda fosil kaynaklardan karşılasa da bunun tükenebilir olması çeşitli alternatiflere yönelmeyi zorunlu kılmıştır. Bu alternatiflerin başında yenilenebilir enerji kaynakları gelmektedir. Rüzgâr, güneş, hidrolik, jeotermal ve atık enerjisi gibi yenilenebilir kaynaklara olan yatırımlar özellikle son yıllarda tüm dünyada artış göstermiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının daha çevreci olması ve ülkelerin bu kaynaklara yapılacak olan yatırımlara teşvikler vermesi ile özel teşebbüsler de bu sektöre ilgi duymaya başlamıştır.

Çalışmamızda da üzerinde durduğumuz, atıklardan enerji elde edilmesi hususunda belediyelere ait çöp alanları girişimciler tarafından kiralanarak enerji üretilebilir hale getirilmektedir. Böylelikle hem atıkların bertaraf edilmesi için yapılan kamu harcamalarından tasarruf edilir hem de bu bertarafın devamında enerji elde edilerek ülke ekonomisine katkı sağlanır.

2. ÇÖP GAZI

18.yy' da organik atıkların çürümesi sonucunda metan gazının oluştuğu ve 19. yy' da da bu olayda bakterilerin rol aldığı anlaşılmıştır. 1881 yılında ise anaerobik arıtmanın evsel atık su arıtma tesisi çamurlarının çürütülmesinde kullanılabileceği ortaya konulmuştur. Yakın zamana kadar sadece biyolojik arıtma çamurlarının çürütülmesinde uygulanan havasız arıtma süreci, son yıllarda endüstriyel ve evsel atık sularının arıtılmasında da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Öztürk, 1999; aktaran İlkılıç ve Deviren, 2011b).

2.1. Biyogaz – Çöp Gazı İlişkisi

Biyogaz, organik materyallerin (gübre, bitkiler, çöp, yemek artığı, kimyasal atıklar, vb.) anaerobik şartlarda parçalanması ile oluşan, bileşiminde % 40–75 metan (CH₄), % 25–60 karbon dioksit (CO₂) ve %2 hidrojen sülfür (H₂S) ile azot (N) bulunan, havadan % 20 hafif olan, 20 MJ/m³ kalorifik değere sahip yanıcı bir gaz karışımıdır (İlkılıç ve Deviren, 2011a).

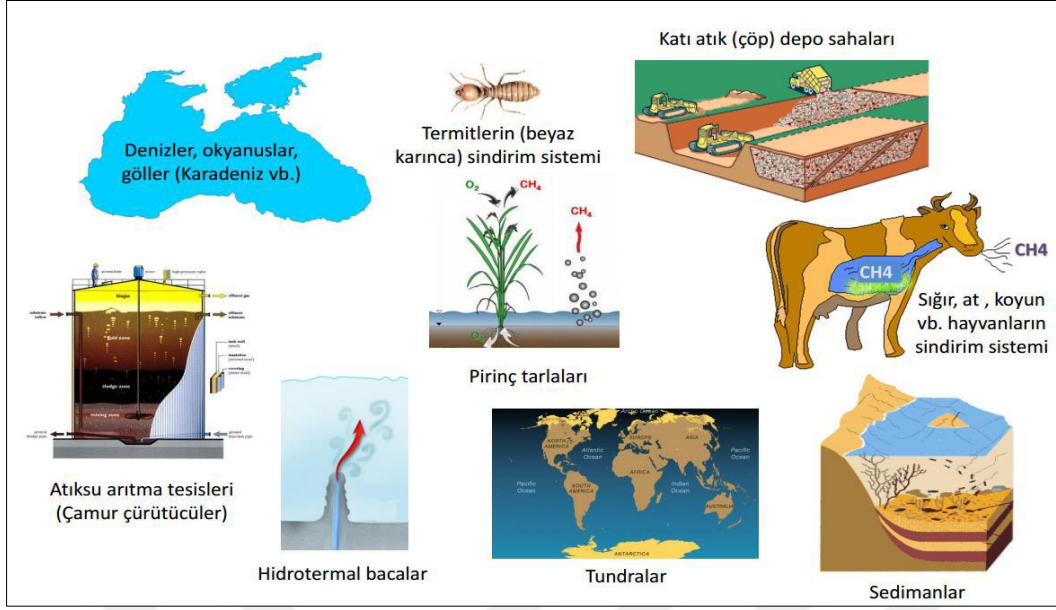
Biyogaz renksiz, kokusuz, yanma sıcaklığı 700°C, alev sıcaklığı 870°C olan bir gaz karışımıdır. Bileşimi ortam sıcaklığına, su miktarına, pH ve kullanılan gübrenin bileşimine göre değişiklik göstermektedir (Bayrakçeken, 1997; aktaran İlkılıç ve Deviren, 2011a).

Gaz karışımının içerisinde bulunan CO₂, H₂S ve su buharı sıvılaştırmaya engel olduğu için biyogaz genellikle üretildiği yerlerde tüketilmektedir. Biyogazın bileşimindeki metanın CO₂, H₂S ve su buharı gibi enerji seyreltici gazlardan ayrıştırılması gerekmektedir (Bahtiyar ve Emin, 2008; aktaran İlkılıç ve Deviren, 2011b).

Biyogaz, kaynağına bağlı olarak; deponi gazı, kanalizasyon gazı ve gübre gazı gibi farklı isimlerle anılır. Biyogaz üretimi için organik madde, bakteri, anaerobik ortam ve ısı olmak üzere dört bileşenin mevcut olması gerekir (House, 2007; aktaran İlkılıç ve Deviren, 2011b).

- Organik Madde
- Bakteri
- Anaerobik Ortam
- Isı

Hayvan çiftlikleri, tarımsal alanlar, çöpler ve arıtma tesisi çamurları gibi atıklar biyogaz üretimi için gereken organik maddenin kaynaklarıdır (İlkılıç ve Deviren, 2011b).



Şekil 2.1. Biyogaz üretilen ortamlar (Çallı, 2012)

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 (Korkmaz, Aykanat, ve Çil, 2012).

1 m³ biyogaz 4700-5700 kcal ısı miktarı sağlamaktadır. Bu ısı miktarı 0,62 L gazyağı, 1,46 kg odun kömürü, 3,47 kg odun, 0,43 kg bütan gazı veya 4,70 kWh elektrik enerjisinin sağlayacağı ısı miktarıyla eşdeğerdir. Ayrıca 0,66 L motorin, 0,75 L benzin veya 0,25 m³ propan 1 m³ biyogaz ile yakıt olarak eşdeğer enerjiye sahiptirler (Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı, 2020).

2.2. Çöp Gazı ve Bileşimi

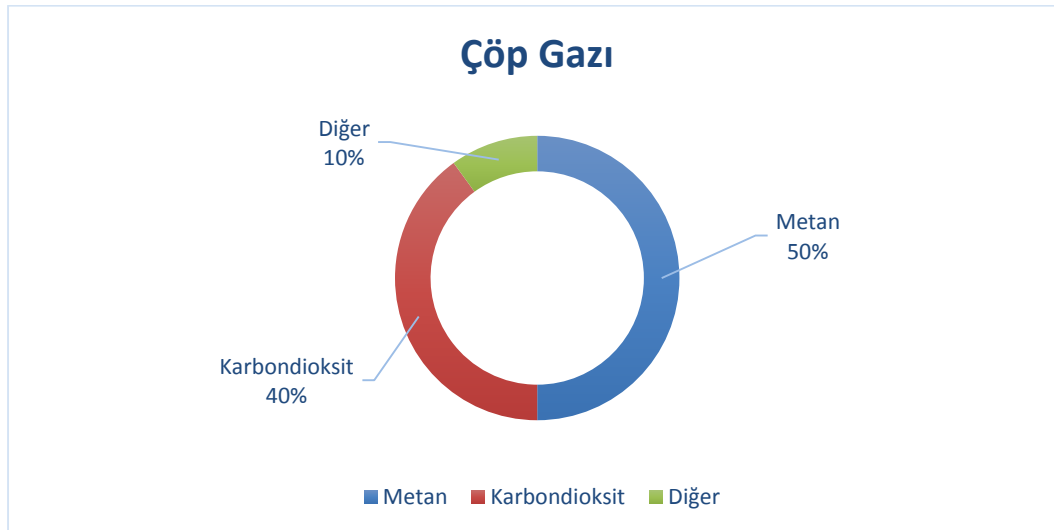
LFG; (Landfill Gas) yani katı atık depo alanlarından elde edilen ve % 50' den fazlası metan olan gazdır. Atmosferdeki CO₂ dengesini bozan sera gazları içinde en önemli gaz olan metanın atmosfere verdiği zarar eşdeğer gazlara göre 21 kat daha fazladır. Katı atık depolama alanları dünyadaki metan emisyonlarının % 25' inden fazlasından sorumludur. Depolama sahaları kapatıldıktan sonra bile 20-30 yıl boyunca gaz üretmeye devam ederler (Enbiocon, 2019).

Çöplüklerde gaz oluşumu gerçekleştikçe gazın basıncında da artış olacak ve zamanla çöplüğün patlama ihtimali ortaya çıkacaktır. Ne yazık ki bu durum yakın geçmişte ülkemizde de yaşanmış ve ciddi zararlara yol açmıştır. 1993 yılında İstanbul Ümraniye' de bulunan

Hekimbaşı çöplüğünde biriken metan gazının patlaması sonucu birçok kişi yaşamını yitirmişti.

Çöp gazı öncelikle %40-60 oranında metan (CH_4), çokça karbondioksit kalıntıları, farklı miktarda nitrojen, oksijen, su buharı barındırır. Ek olarak ta hidrojen sülfür diğer kirleticileri içerisinde barındırır ki bunların hepsine birden “metan olmayan organik karışım” NMOC denir. Bazı gazlar içerisinde de inorganik kirleticiler (örnek olarak cıva) de bulunabilir. Bir başka durumlarda radyoaktif kirleticilere (trityum gibi) de rastlanabilmektedir. Metan olmayan organik bileşimler genellikle gaz içerisinde %1 lik bir kısmı oluştururlar. 1991 yılında A.B.D ulusal çevre koruma ajansı (US EPA) 94 adet “Metan Olmayan Organik Bileşikler” i tanımlamıştır (benzen, tolüen, kloroform, vinil clorid, carbon teracorid vb.), sonuç olarak da bu metan olmayan organik bileşiklerden 41 âdetini ise halojen bileşikler olarak tanımlamıştır (klorin, florin, bromin vb.). Çöp gazı uygulamalarında, ısıtma, içten yanmalı motorlarla elektrik, metanı metil alkol e çevirme işleri, bazı endüstrilerde doğal gaz sistemlerine doğalgaza yardımcı sistem olarak kullanma, gibi bir çok işlem yapılabilir (MCE Alternatif Enerji A.Ş., 2019).

Çöp gazının bileşiminde, özellikle atıkların türüne göre oransal farklılıklar görülebilir. Çöp gazında oranca en fazla metan (CH_4) ve karbondioksit (CO_2) bulunur. Bunların oranını yaklaşık olarak şu şekilde ifade edebiliriz;



Şekil 2.2. Çöp Gazının Bileşimi

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.

2.3. Çöp Gazının Oluşum Fazları

Çöpler toplanıp gerekli ayrıştırma işlemleri yapıldıktan sonra atık depolama sahasına dökülür ve üstleri toprakla örtülür. Böylece bozunma süreci başlayarak çöp gazı dediğimiz gaz karışımı oluşur. Atıklardan bu gaz karışımının oluşumu ilk uyum, geçiş, asit, metan ve olgunlaşma adı verilen beş fazlı bir süreç boyunca gerçekleşir.

2.3.1. İlk uyum fazı

Çöp gazı oluşumunun ilk adımıdır. Evsel katı atıklardaki organik maddeler katı atık sahasında depolanırken aerobik koşullarda mikrobiyolojik olarak ayrışmaya başlarlar (Coşkuner, 2015). Katı atık depolama alanındaki hava ilk fazın aerobik koşullarda gerçekleşmesine sebep olur.

2.3.2. Geçiş fazı

Bu fazda atığın içerisindeki oksijen aerobik bakteriler tarafından tüketilir ve anaerobik koşullar oluşmaya başlar. Anaerobik koşulların oluşması ile nitrat ve sülfat, azot gazına (N₂) ve hidrojen sülfüre (H₂S) dönüşürler. Bu fazda organik asitlerin oluşumu ve CO₂'nin artan konsantrasyonu nedeniyle sızıntı suyunun pH' ı düşmeye başlar (Aydın, 2013).

2.3.3. Asit fazı

Geçiş fazında başlayan mikrobiyal aktivite bu fazda organik asitler ve H₂ gazının oluşmasıyla hızlanır. Bu fazda ilk olarak yağlar, proteinler, polisakkaritler, nükleik asitler gibi yüksek molekül yapıları bileşikler mikroorganizmalarda karbon ve enerji kaynağı olarak kullanılmaya uygun bileşiklere dönüşür. Daha sonra bu bileşikler asetik asit, fulvik asit ve diğer karmaşık organik asitlere dönüşür. Asit fazında oluşan başlıca gaz CO₂' dir. Ayrıca az miktarda H₂ gazı da oluşabilir. Organik asitler ve CO₂' den dolayı sızıntı suyunun pH' ı düşecektir. pH' ın düşmesi bazı inorganik bileşikler ile ağır metalleri çözünebilir hale getirir (Özçakıl, 2001).

2.3.4. Metan fazı

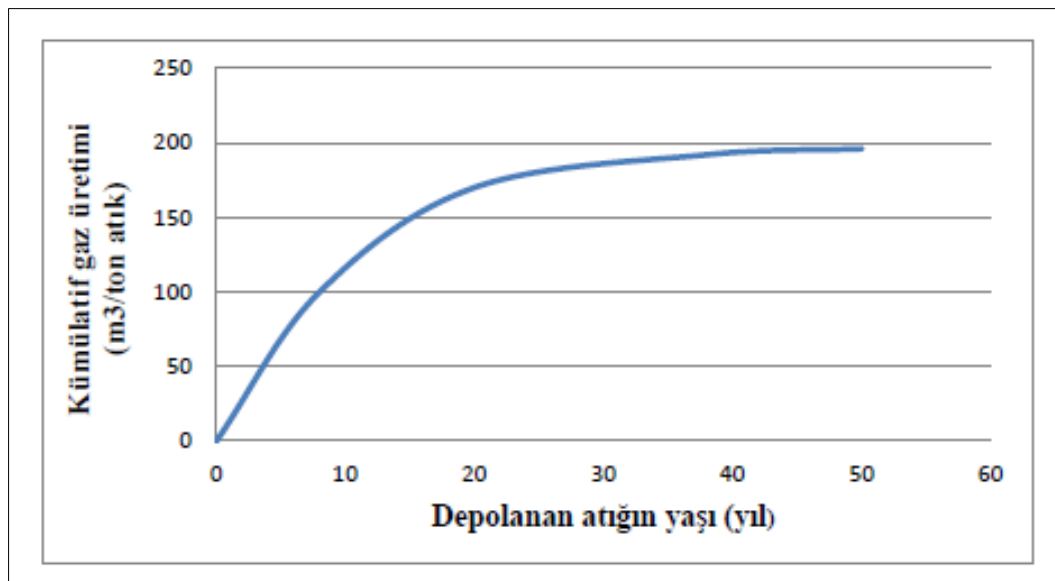
Asit fazında hidrojen gazını ve asetik asidi CO_2 ve CH_4 'e dönüştüren mikroorganizmalar gelişmeye başlayarak metan fazında etkin hale gelirler. CO_2 bu fazda azalmaya başlayarak minimum seviyelere gelir ve stabil bir şekilde üretimi devam eder. Metan gazı üretimi ise hızla artar. Hidrojen ve organik asitlerden metan ve karbondioksit oluşumu pH' ın artmasına neden olur. Böylece sızıntı suyunda ağır metal konsantrasyonu zamanla düşer (Çelebi, 2017).

2.3.5. Olgunlaşma fazı

Olgunlaşma fazı, ayrışabilir maddelerin CH_4 ve CO_2 ' e dönüştüğü metan fazından sonra kolayca gerçekleşir. Depo gazı oluşum hızı bu fazda oldukça azalır. Fazda yavaş yavaş gelişen gazlar CO_2 ve CH_4 iken az miktarda azot ve oksijen de bulunabilir (Özçakıl, 2001).

2.4. Çöp Gazı Miktarının Tahmini Hesaplanması

Düzenli depolama alanlarında depolanan 1 ton çöpten ortalama 170 m^3 depo gazı oluşur. Bu gazın yaklaşık %60' ı atıkların depolanmasından sonra 10 yıl içerisinde oluşur. 15 ile 20 yıl içerisinde bu oran %90 seviyelerine çıkar. Geriye kalan yıllarda ise çok az miktarda gaz oluşumu olur. Evsel atıklar için toplama sistemli gaz üretim modeli Şekil 2.3'de verilmiştir (Kiriş ve Saltabaş, 2011; aktaran Çelebi, 2017).



Şekil 2.3. Evsel atıklar için toplama sistemli gaz üretimi modeli (Kiriş ve Saltabaş, 2011; aktaran Çelebi, 2017)

Depo gazı miktarının tahmini hesaplanması için birçok model geliştirilmiştir. Bu modellerden bazıları şunlardır.

- LandGEM Modeli
- Tabasaran / Rettenberger Modeli
- Sheldon Arleta Modeli
- Scholl Canyon Modeli
- Emcon Kinetik Modeli
- Clancy Kinetik Modeli

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.

2.4.1. LandGEM modeli

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 (EPA, 2005).

- Modelin metan gazı tahmin hesabı basit bir birinci dereceden bozunma denklemine dayanmaktadır. Düzenli depolama sahaları için mevcut olan verilerin sınırlı olması nedeniyle daha karmaşık bir hesaplama yöntemi kullanmak doğru olmaz.

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 k \cdot L_o \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-k \cdot t_{ij}} \quad (2.2)$$

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 (yıl⁻¹)
 - Potansiyel metan üretim kapasitesi (1 ton atıktan üretilebilecek metan miktarı), L_o (m³/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,
- 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 aşağıdaki çizelge dikkate alınır (Taşkan, 2001).

Çizelge 2.1. CAA ve AP-42 parametreleri (Taşkan, 2001)

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
L_o (m ³ /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.

- 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.

2.4.2. Tabasaran / Rettenberger modeli

Depo gazı üretimini tahmin etmek için Tabasaran ve Rettenberg tarafından ortaya konulan modeli şu şekilde özetleyebiliriz (Coşkuner, 2015).

$$G_t = 1,868 \cdot C_{org} \cdot (0,014 \cdot \Theta + 0,28) \cdot (1 - 10^{-kt}) \cdot M_t \quad (2.3)$$

G_t : t yılda toplam depo gazı üretim miktarı (m³)

k : metan gazı üretim oranı katsayısı (yıl⁻¹); (0,025-0,050)

t : depolama başladığından beri geçen süre (yıl)

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

C_{org} : ayrışabilir organik karbon içeriği (kg/ton); (170-200)

Θ : atığın sıcaklığı (°C); (30-35)

2.4.3. Sheldon Arleta modeli

Bu modelde atıklar iki sınıfa ayrılmıştır. Kolay ayrışabilenler ve zor ayrışabilenler olarak adlandırılan bu sınıfların her biri için bir yarı zaman tanımlanmıştır. Toplam üretim zamanı aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır (Palanathakumar, 1999; aktaran Mohamed, 2017).

$$T_{toplam} = T_{yarı} \times 0,35 \quad (2.4)$$

2.4.4. Scholl Canyon modeli

Metan üretim hızını hesaplamak için gereken veriler ve eşitlik aşağıdaki gibidir (Göksel, 2012; aktaran Mohamed, 2017).

$$Q = k \cdot L_0 \cdot R \cdot e^{-kt} \quad (2.5)$$

Q : metan üretim hızı (m³/yıl)

k : metan üretim hız sabiti

L₀ : potansiyel metan üretim kapasitesi (m³)

R : depolanan yıllık atık miktarı (ton)

t : depolamanın yapıldığı yıl sayısı

2.4.5. Emcon kinetik modeli

Emcon' un metan oluşum modeli bilgisayarla kontrol edilen matematiksel bir modeldir. Bu model, metan oluşumu açısından depo alanının potansiyelini değerlendirmek amacıyla kullanılır. Atığın tonu, kompozisyonu, nemi, dönüşüm süresi ve metan oluşum hızı gibi parametrelere dayanarak üç tip katı atık sınıfı geliştirilmiştir. Bunlar biyolojik olarak; hızlı, orta ve yavaş ayrışabilenlerdir (Özçakıl, 2001).

2.4.6. Clancy kinetik modeli

Bilgisayarla kontrol edilen bu modelde her bir yılda depolanan atık miktarı göz önüne alınarak yıllık toplam gaz üretimi belirlenir (Özçakıl, 2001).

3. ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ

3.1. İstatistikler

Çöp gazından elektrik enerjisi üretiminde çeşitli istatistiklerin bilinmesinde fayda vardır. Özellikle kurulu güç ve üretim ile yenilenebilir enerjinin payının yıllara göre değişimleri, ayrıca çöp gazının hammaddesi olan atıklarla ilgili verilerin değişimlerini gösteren istatistiklerin incelenmesi yapılacak olan çalışmalarda önemli bir altyapı oluşturmaktadır.

3.1.1. Elektrik enerjisi istatistikleri

Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ) tarafından yayınlanan veriler ışığında elektrik enerjisi ile ilgili istatistikleri şu şekilde özetleyebiliriz (TEİAŞ, 2020).

Türkiye’ de kurulu gücün yıllara göre değişimi aşağıda verilmektedir.

Çizelge 3.1. Türkiye’ de kurulu gücün yıllara göre değişimi

YILLAR	NÜFUS (Kişi)	KURULU GÜÇ	
		Toplam (MW)	Kişi Başı (Watt)
1923	12 360 000	32,8	2,7
1924	12 620 000	32,9	2,6
1925	12 885 000	33,4	2,6
1926	13 155 000	48,6	3,7
1927	13 562 000	51,9	3,8
1928	13 851 000	65,9	4,8
1929	14 146 000	72,1	5,1
1930	14 448 000	78,0	5,4
1931	14 756 000	101,9	6,9
1932	15 071 000	103,3	6,9
1933	15 392 000	107,8	7,0
1934	15 721 000	117,4	7,5
1935	16 046 000	126,2	7,9
1936	16 350 000	138,5	8,5
1937	16 631 000	167,1	10,0
1938	16 916 000	178,5	10,6
1939	17 369 000	215,6	12,4
1940	17 723 000	217,0	12,2
1941	17 953 000	222,0	12,4
1942	18 144 000	226,7	12,5
1943	18 337 000	236,4	12,9
1944	18 533 000	241,9	13,1
1945	18 664 000	245,9	13,2
1946	19 074 000	247,5	13,0
1947	19 493 000	251,4	12,9
1948	19 921 000	305,5	15,3

Çizelge 3.1. (devam) Türkiye’ de kurulu gücün yıllara göre değişimi

YILLAR	NÜFUS (Kişi)	KURULU GÜÇ	
		Toplam (MW)	Kişi Başı (Watt)
1949	20 359 000	381,8	18,8
1950	20 809 000	407,8	19,6
1951	21 352 000	423,2	19,8
1952	21 953 000	437,8	19,9
1953	22 571 000	499,5	22,1
1954	23 206 000	516,9	22,3
1955	23 859 000	611,6	25,6
1956	24 442 000	886,1	36,3
1957	25 252 000	939,4	37,2
1958	25 983 000	1030,0	39,6
1959	26 735 000	1161,0	43,4
1960	27 509 000	1272,4	46,3
1961	28 233 000	1323,9	46,9
1962	28 933 000	1370,8	47,4
1963	29 655 000	1381,1	46,6
1964	30 394 000	1418,3	46,7
1965	31 151 000	1490,5	47,8
1966	31 934 000	1644,3	51,5
1967	32 750 000	1959,1	59,8
1968	33 585 000	1966,6	58,6
1969	34 442 000	1967,2	57,1
1970	35 321 000	2234,9	63,3
1971	36 215 000	2577,9	71,2
1972	37 132 000	2711,3	73,0
1973	38 072 000	3192,5	83,9
1974	39 036 000	3732,1	95,6
1975	40 348 000	4186,6	103,8
1980	44 737 000	5118,7	114,4
1990	56 473 000	16317,6	288,9
2000	67 845 000	27264,1	401,9
2007	70 586 000	40835,7	578,5
2008	71 517 000	41817,2	584,7
2009	72 561 000	44761,2	616,9
2010	73 723 000	49524,1	671,8
2011	74 724 000	52911,1	708,1
2012	75 627 000	57059,4	754,5
2013	76 668 000	64007,5	834,9
2014	77 696 000	69519,8	894,8
2015	78 741 000	73146,7	929,0
2016	79 814 000	78497,4	983,5
2017	80 811 000	85200,0	1054,3
2018	82 003 882	88500,8	1079,2

Çizelge 3.1. deki değerlerden de görülebileceği gibi Türkiye’ de kurulu güç sürekli artarak 2018 yılında 88500,8 MW’ a ulaşmıştır. Yine kişi başı kurulu güçte de 2018 yılında en yüksek değer elde edilmiştir. 1923 yılından 2018 yılına gelindiğinde yaklaşık olarak nüfus

7 katına çıkarken kurulu güç 2700 katına çıkmış bu da kişi başı kurulu gücün çok büyük oranda artmasına neden olmuştur.

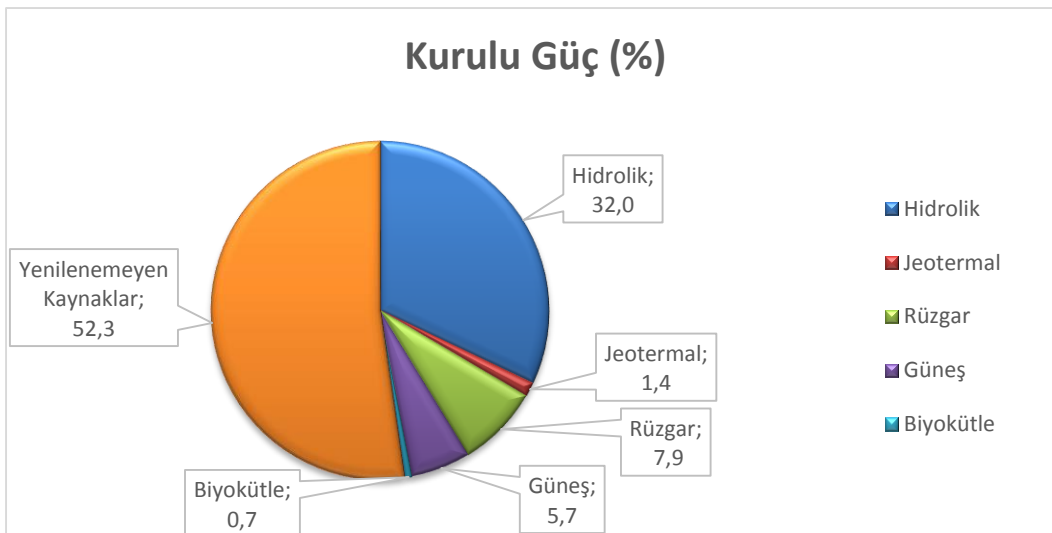
Türkiye' nin kurulu gücü içinde yenilenebilir enerji kaynakları önemli yer işgal etmektedir. 2018 yılında toplam 88500,8 MW olan kurulu gücün yenilenebilir enerji kaynaklarına göre dağılımı aşağıda tabloda verilmektedir.

Çizelge 3.2. Türkiye' de 2018 yılı yenilenebilir enerji kurulu güçleri

KAYNAK	K. GÜÇ (MW)
Hidrolik	28291,4
Jeotermal	1282,5
Rüzgar	7005,4
Güneş	5062,8
Biyokütle	621,9
TOPLAM	42264,0

2018 yılında yenilenebilir enerji kaynaklı kurulu güç 42264,0 MW' dır. Bu değer toplam kurulu gücün % 48' ine denk gelmektedir. Yani yaklaşık olarak toplam kurulu gücün yarısı yenilenebilir enerji kaynaklarına aittir.

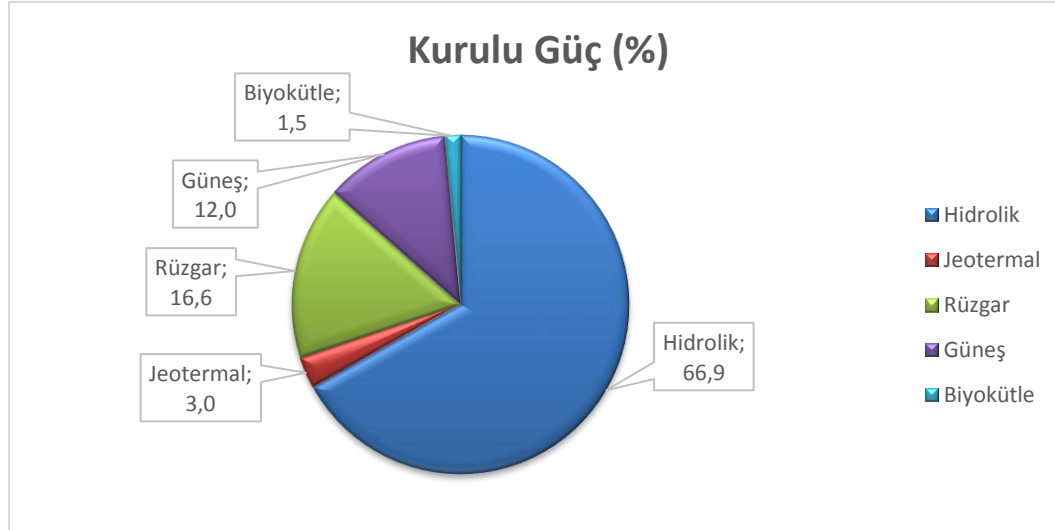
Yenilenebilir enerji kaynaklarının her birinin toplam kurulu güç içindeki yüzdelik dağılımı şu şekildedir.



Şekil 3.1. Türkiye' de 2018 yılı kurulu güç dağılımı

Yenilenebilir enerji kaynaklarından toplam kurulu güç içerisinde en büyük pay % 32 ile hidrolik kaynaklara, en küçük pay ise % 0,7 ile biyokütle temelli kaynaklara aittir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kendi aralarındaki yüzdeler dağılımı aşağıdaki grafikte verilmiştir.



Şekil 3.2. Türkiye’ de 2018 yılı yenilenebilir enerji kurulu güçlerinin dağılımı

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu gücü içerisinde en büyük pay % 66,9 ile hidrolik kaynaklara aitken en küçük pay % 1,5 ile biyokütle temelli kaynaklara aittir.

Aşağıdaki tabloda Türkiye’ nin elektrik enerjisi üretiminin 1923-2018 yılları arasındaki değişimi gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. Türkiye’ de üretimin yıllara göre değişimi

YILLAR	NÜFUS (Kişi)	ÜRETİM	
		Toplam (GWh)	Kişi Başı (kwh)
1923	12 360 000	44,5	3,6
1924	12 620 000	44,6	3,5
1925	12 885 000	45,3	3,5
1926	13 155 000	65,8	5,0
1927	13 562 000	70,1	5,2
1928	13 851 000	89,4	6,5
1929	14 146 000	97,8	6,9
1930	14 448 000	106,3	7,4
1931	14 756 000	117,9	8,0
1932	15 071 000	131,6	8,7
1933	15 392 000	151,9	9,9
1934	15 721 000	175,2	11,1
1935	16 046 000	222,9	13,9
1936	16 350 000	231,1	14,1
1937	16 631 000	289,8	17,4
1938	16 916 000	312,1	18,5
1939	17 369 000	353,3	20,3
1940	17 723 000	396,9	22,4
1941	17 953 000	415,2	23,1

Çizelge 3.3. (devam) Türkiye’ de üretimin yıllara göre değişimi

YILLAR	NÜFUS (Kişi)	ÜRETİM	
		Toplam (GWh)	Kişi Başı (kwh)
1942	18 144 000	408,2	22,5
1943	18 337 000	457,4	24,9
1944	18 533 000	496,1	26,8
1945	18 664 000	527,8	28,3
1946	19 074 000	562,7	29,5
1947	19 493 000	625,4	32,1
1948	19 921 000	676,3	34,0
1949	20 359 000	736,6	36,2
1950	20 809 000	789,5	37,9
1951	21 352 000	887,9	41,6
1952	21 953 000	1020,2	46,5
1953	22 571 000	1200,8	53,2
1954	23 206 000	1402,5	60,4
1955	23 859 000	1579,8	66,2
1956	24 442 000	1819,1	74,4
1957	25 252 000	2056,7	81,5
1958	25 983 000	2303,4	88,7
1959	26 735 000	2587,3	96,8
1960	27 509 000	2815,1	102,3
1961	28 233 000	3011,1	106,7
1962	28 933 000	3559,8	123,0
1963	29 655 000	3983,4	134,3
1964	30 394 000	4450,9	146,4
1965	31 151 000	4952,7	159,0
1966	31 934 000	5550,9	173,8
1967	32 750 000	6216,8	189,8
1968	33 585 000	6935,8	206,5
1969	34 442 000	7338,0	213,1
1970	35 321 000	8623,0	244,1
1971	36 215 000	9781,1	270,1
1972	37 132 000	11241,9	302,8
1973	38 072 000	12425,2	326,4
1974	39 036 000	13477,0	345,3
1975	40 348 000	15622,8	387,2
1980	44 737 000	23275,4	520,3
1990	56 473 000	57543,0	1019,0
2000	67 845 000	124921,6	1841,3
2008	71 517 000	198418,0	2774,4
2009	72 561 000	194812,9	2684,8
2010	73 723 000	211207,7	2864,9
2011	74 724 000	229395,1	3069,9
2012	75 627 000	239496,8	3166,8
2013	76 668 000	240154,0	3132,4
2014	77 696 000	251962,8	3242,9
2015	78 741 000	261783,3	3324,6
2016	79 814 000	274407,7	3438,1
2017	80 811 000	297277,5	3678,7
2018	82 003 882	304801,9	3716,9

Çizelge 3.3. deki değerlerden de görülebileceği gibi Türkiye’ de elektrik üretimi genellikle artarak 2018 yılında 304801,9 GWh’ a ulaşmıştır. Yine kişi başı elektrik üretiminde de 2018 yılında en yüksek değer elde edilmiştir. 1923 yılından 2018 yılına gelindiğinde elektrik üretimi 6850 katına çıkmıştır.

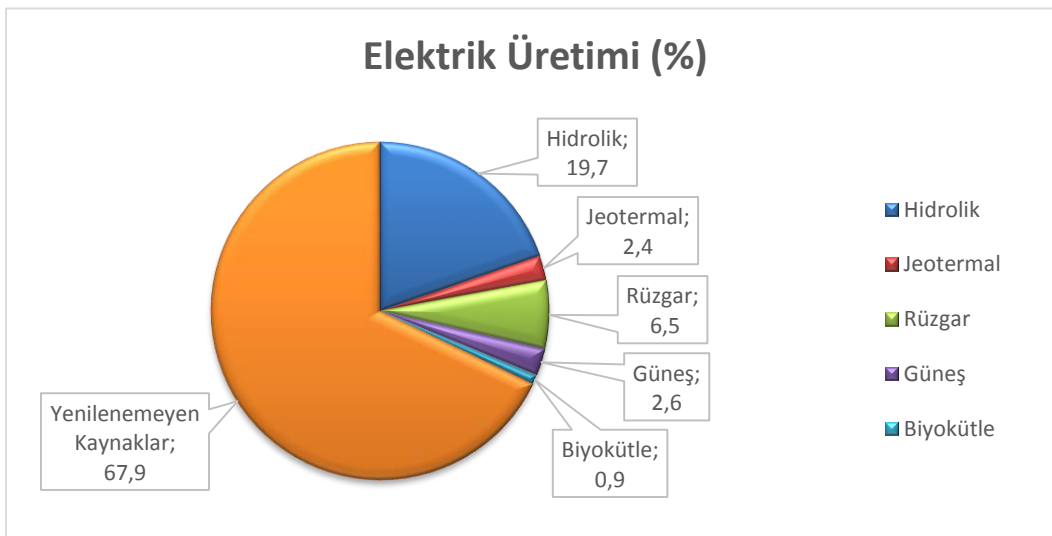
Türkiye’ nin elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları önemli yer işgal etmektedir. 2018 yılında 304801,9 GWh olan toplam üretimin yenilenebilir enerji kaynaklarına göre dağılımı aşağıda tabloda verilmektedir.

Çizelge 3.4. Türkiye’ de 2018 yılı yenilenebilir enerjide üretim miktarları

KAYNAK	ÜRETİM (GWh)
Hidrolik	59938,4
Jeotermal	7431,0
Rüzgar	19949,2
Güneş	7799,8
Biyokütle	2672,7
TOPLAM	97791,1

2018 yılında yenilenebilir enerji kaynaklı üretim 97791,1 GWh’ dir. Bu değer toplam üretimin % 32’ sine denk gelmektedir. Yani yaklaşık olarak toplam üretimin üçte biri yenilenebilir enerji kaynaklarına aittir.

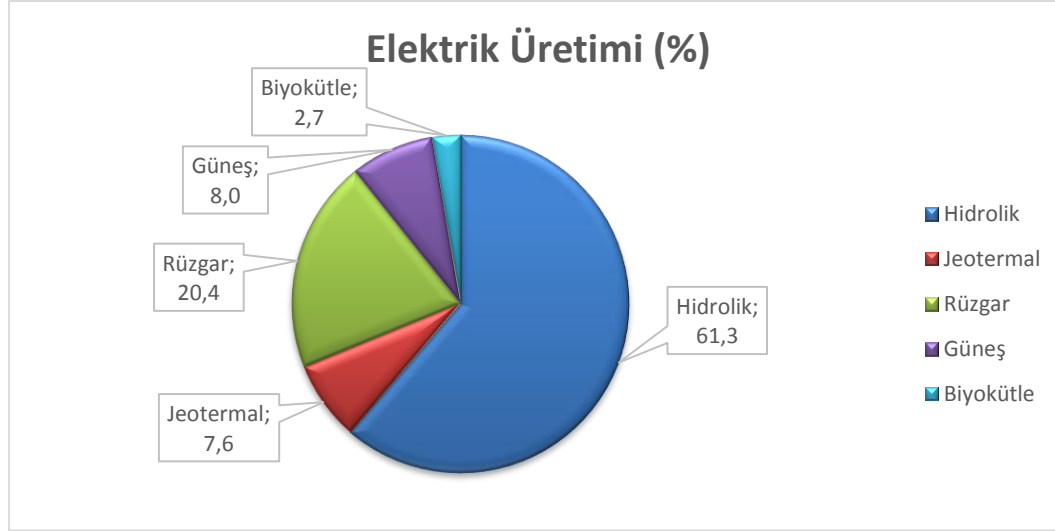
Yenilenebilir enerji kaynaklarının her birinin toplam üretim içindeki yüzdelik dağılımı şu şekildedir.



Şekil 3.3. Türkiye’ de 2018 yılı üretim miktarlarının dağılımı

Yenilenebilir enerji kaynaklarından toplam üretim içindeki en büyük pay % 19,7 ile hidrolik kaynaklara, en küçük pay ise % 0,9 ile biyokütle temelli kaynaklara aittir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kendi aralarındaki yüzdeler dağılımı aşağıdaki grafikte verilmiştir.



Şekil 3.4. Türkiye’ de 2018 yılı yenilenebilir enerjide üretimin dağılımı

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi içerisinde en büyük pay % 61,3 ile hidrolik kaynaklara aitken en küçük pay % 2,7 ile biyokütle temelli kaynaklara aittir.

3.1.2. Atık istatistikleri

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından oluşturulan veriler ışığında atıklarla ilgili istatistikleri şu şekilde özetleyebiliriz (TÜİK, 2020).

Yıllara göre Türkiye’ nin toplam nüfusu içinde ne kadarının atıklarının belediyeler tarafından toplandığı ve kişi başı günlük atık miktarı aşağıdaki tabloda verilmiştir.

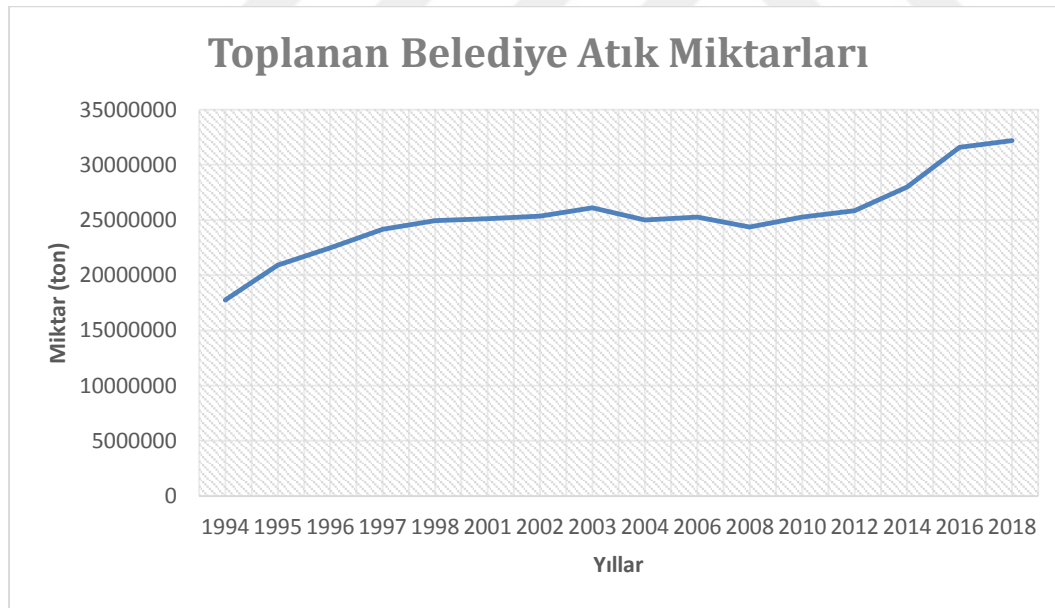
Çizelge 3.5. Türkiye’ de yıllara göre atık verileri

Yıl	Türkiye Nüfusu (kişi)	Atık Hizmeti Verilen Belediye Nüfusu (kişi)	Toplanan Belediye Atık Miktarı (ton)	Kişi Başı Atık Miktarı (kg/kişi.gün)
1994	62 810 111	44 299 271	17 757 000	1,10
1995	62 810 111	45 143 673	20 910 000	1,27
1996	62 810 111	44 849 212	22 483 000	1,37
1997	62 810 111	45 239 521	24 180 000	1,46
1998	62 810 111	45 195 192	24 945 000	1,51
2001	67 803 927	50 875 794	25 134 000	1,35
2002	67 803 927	51 763 134	25 373 000	1,34

Çizelge 3.5. (devam) Türkiye’ de yıllara göre atık verileri

Yıl	Türkiye Nüfusu	Atık Hizmeti Verilen Belediye Nüfusu	Toplanan Belediye Atık Miktarı	Kişi Başı Atık Miktarı
	(kişi)	(kişi)	(ton)	(kg/kişi.gün)
2003	67 803 927	51 862 924	26 118 000	1,38
2004	67 803 927	52 329 045	25 014 000	1,31
2006	70 586 256	57 451 562	25 280 000	1,21
2008	70 586 256	57 800 347	24 361 000	1,15
2010	73 722 988	60 946 131	25 277 000	1,14
2012	75 627 384	63 105 474	25 845 000	1,12
2014	77 695 904	70 843 913	28 011 000	1,08
2016	79 814 871	73 854 880	31 583 553	1,17
2018	82 003 882	75 952 539	32 209 222	1,16

Artan nüfus ve belediye hizmetlerinin genişlemesi ile yıllar geçtikçe toplanan atık miktarında genellikle artış olmuştur. 2018 yılında toplanan atık miktarı 1994 yılına göre neredeyse 2 katına çıkmıştır. Kişi başı günlük atık miktarı bazı yıllar yüksek olsa da özellikle son yıllarda birbirine yakın değerlerde olmuştur. 2018 yılı verilerine göre 1 kişinin 1 günlük ortalama atık miktarı 1,16 kg olarak hesaplanmıştır.



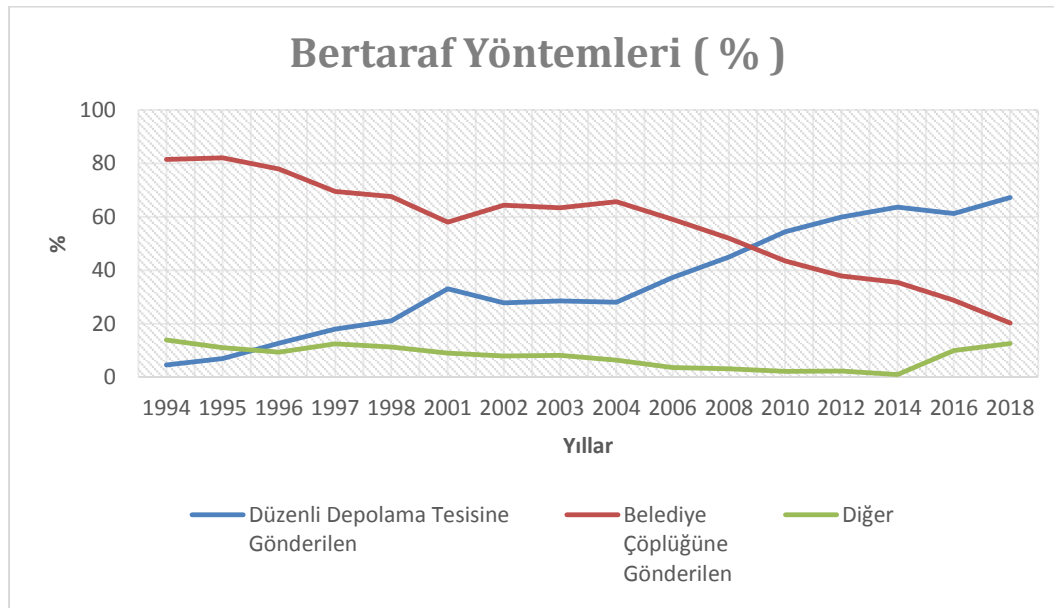
Şekil 3.5. Türkiye’ de yıllara göre toplanan belediye atık miktarının değişimi

İş sadece atıkların toplanmasıyla kalmamaktadır. Atıkların toplanması kadar önemli olan bir diğer süreç, toplanan bu atıkların ne şekilde bertaraf edileceği ya da değerlendirileceğidir. Aşağıdaki tabloda toplanan belediye atıklarının bertaraf yöntemlerine göre yüzdelik dağılımı gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Türkiye’ de yıllara göre atık bertaraf verileri

Yıl	Toplanan Belediye Atık Miktarı (ton)	BERTARAF YÖNTEMLERİ (%)		
		Düzenli Depolama Tesisine Gönderilen	Belediye Çöplüğüne Gönderilen	Diğer
1994	17 757 000	4,60	81,50	13,90
1995	20 910 000	6,90	82,10	11,00
1996	22 483 000	12,70	77,90	9,40
1997	24 180 000	18,00	69,50	12,50
1998	24 945 000	21,10	67,60	11,30
2001	25 134 000	33,00	58,00	9,00
2002	25 373 000	27,80	64,30	7,90
2003	26 118 000	28,50	63,40	8,10
2004	25 014 000	28,00	65,60	6,40
2006	25 280 000	37,30	59,10	3,60
2008	24 361 000	44,90	52,00	3,10
2010	25 277 000	54,40	43,50	2,10
2012	25 845 000	59,90	37,80	2,30
2014	28 011 000	63,60	35,50	0,90
2016	31 583 553	61,20	28,80	10,00
2018	32 209 222	67,20	20,20	12,60

Tablodaki verilere göre, 1994 yılında atıkların sadece % 4,60’ ı düzenli depolama tesisine gönderilmekteyken yıllar geçtikçe bu oran artmış ve 2018 yılında % 67,20’ ye ulaşmıştır. Gerek vahşi depolamanın verdiği zararlar gerekse çevresel bilincin gün geçtikçe yükselmesi atıkların düzenli depolama tesislerinde bertarafını ön plana çıkarmıştır.



Şekil 3.6. Türkiye’ de yıllara göre bertaraf yöntemlerinin değişimi

3.2. Çöp Gazından Elektrik Üretimi

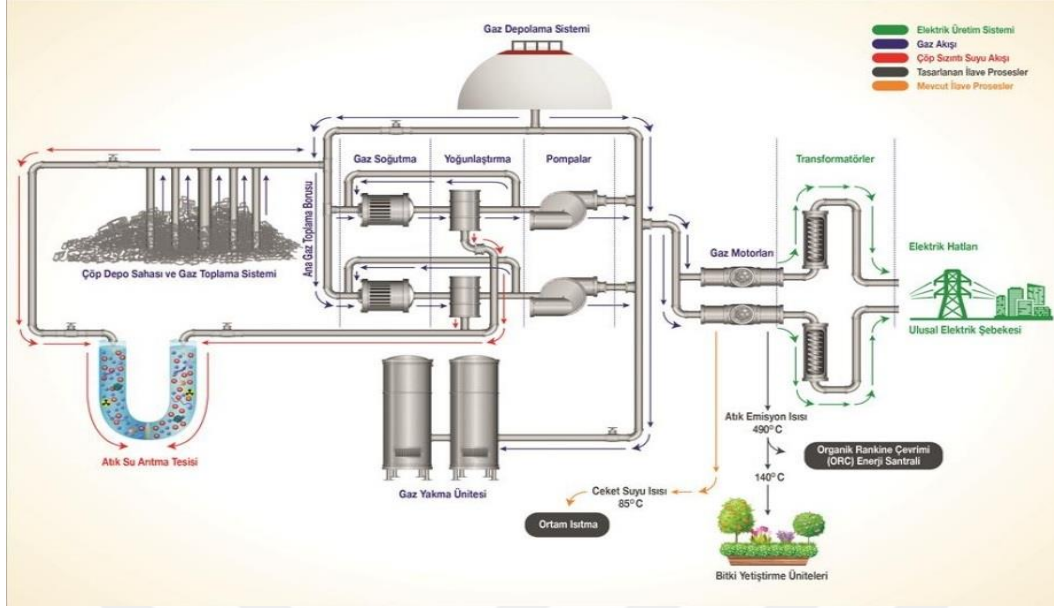
Atık alanlarında zaman geçtikçe atıkların çürümesi sonucu bir gaz karışımı açığa çıkar. Bu gaz karışımı; LFG, alan gazı, deponi gazı, çöp gazı... gibi çeşitli isimlerle adlandırılrsa da aslında hepsi aynı şeyi ifade eder. Bu gaz karışımı yanıcı olduğu için olası çöplük yangınlarına karşı gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir.



Resim 3.1. Yanan Bir Çöp Alanı (Star, 2017)

Fosil yakıtların tükenebilir ve çevreye zarar veren dezavantajları, son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Yenilenebilir kaynaklarından olan çöplerden elektrik elde edilmesine dayalı tasarımlar gün geçtikçe daha yaygın hale gelmektedir.

Atıklardan elektrik elde edilmesi için Şekil 3.7. de gösterildiği gibi bir dizi sürecin gerçekleşmesi gerekmektedir.



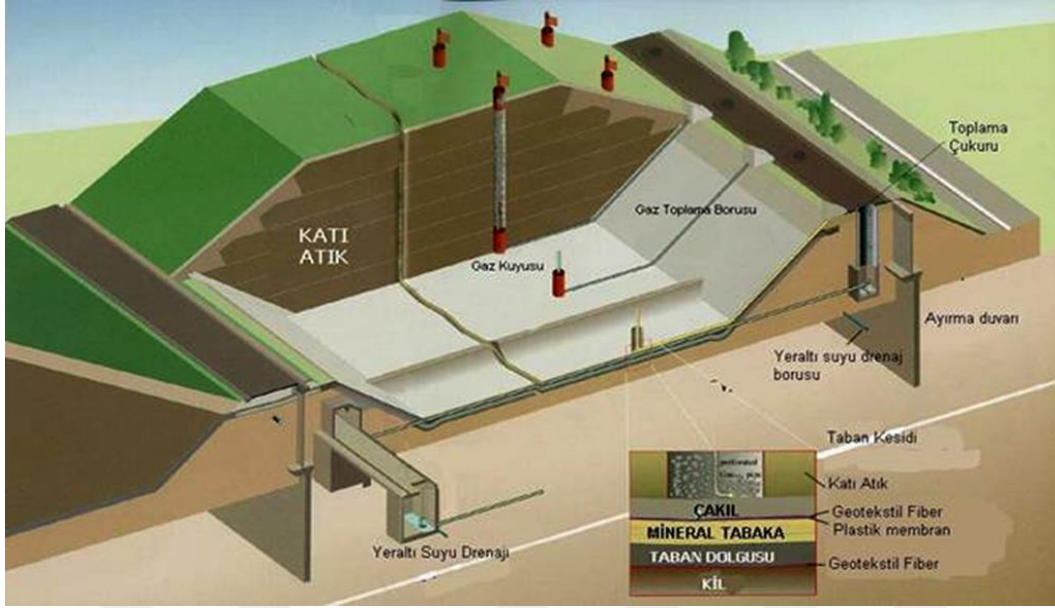
Şekil 3.7. Atıklardan elektrik üretimi (Alabay, 2015)

3.2.1. Atıkların depolanması

Düzensiz (vahşi) depolama ve düzenli depolama olmak üzere iki tür depolama yöntemi vardır.

Düzensiz depolama yönteminde, atıklar geliş güzel toprağa atılmaktadır. Bu şekilde toprağa atılan atıklardan çıkan sızıntı suları hem yerüstü hem de yeraltı sularına karıştığından çevresel zararlara yol açmaktadır. Teknolojik ve bilimsel süreçlerle planlanmamasının yanında çevreye ve canlılara da mühim zararlar vermesi sebebiyle düzensiz depolamanın yerini zamanla düzenli depolama almaktadır.

Düzenli depolamada, atıklar direkt olarak toprağa atılmayıp özel olarak hazırlanmış alanlara dökülmektedir. Düzenli depolama alanlarında oluşturulan tabakalar sayesinde atıkların toprakla bağlantısı kesilir. Ayrıca çıkan sızıntı suları da toplanarak zararsız hale getirilir. Böylece atıkların çevreye ve canlılara olan zararları önlenmiş olur.



Şekil 3.8. Depolama alanının katmanları (İBB, 2019)



Resim 3.2. Atıkların depolanması

3.2.2. LFG' nin toplanması

Atık depolama sahasında oluşan ve basıncın etkisiyle yayılan çöp gazının kontrol altında tutulabilmesi için depo sahasından çekilmesi gerekmektedir. Depo sahasının bir bölümü kapatıldıktan sonra yatay veya düşey gaz toplama kuyuları oluşturulur. Bu kuyular borularla ana toplayıcıya bağlanır. Bir blower yardımıyla vakum uygulanarak gaz depo sahasından çekilir.



Resim 3.3. Çöp alanı borulaması



Resim 3.4. Gazın ana hatta aktarılması (Milliyet, 2017)

3.2.3. Gazın iyileştirilmesi

Depolama sahasından çekilen gaz karışımında H_2S gibi korozif etki yapan maddeler ile su buharı gibi yanma verimini azaltıcı maddeler bulunmaktadır. Gazın iyileştirilmesi safhasında bu maddeler gaz karışımından ayrılır ve kalan gaz karışımı bir sonraki safhaya gönderilir.

3.2.4. Gazın yakılması

Çöp gazından elektrik üretimi için daha çok içten yanmalı motorlar ve gaz türbinleri kullanılır. Gaz türbinlerinde içten yanmalı motorlara göre daha yüksek gaz debisine ihtiyaç vardır. Ayrıca yüksek maliyet gerektirmektedir. Bu durumlardan dolayı içten yanmalı motorların kullanımı daha yaygındır.

İyileştirilen gaz karışımı içten yanmalı motorlarda (motor-jeneratör sistemi) yakılarak mekanik enerjiye oradan da elektrik enerjisine dönüştürülmüş olur.



Resim 3.5. Samsun katı atık tesisi elektrik üretim motorları (Çelebi, 2017)

3.2.5. Yakma bacası (flare)

Gereğinden fazla gaz oluştuğunda veya gaz motorları arıza yaptığında gazın atmosfere direkt salınımını engellemek için yakma bacasında gaz yakılarak bertaraf edilir.

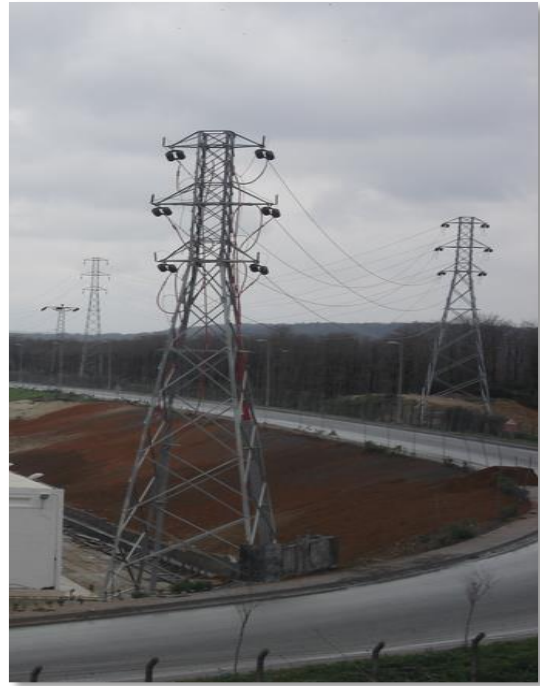
Böylece sera etkisi yüksek bir gaz olan metanın çevreye vereceği zarar azaltılmış olur.



Resim 3.6. Gaz bacası

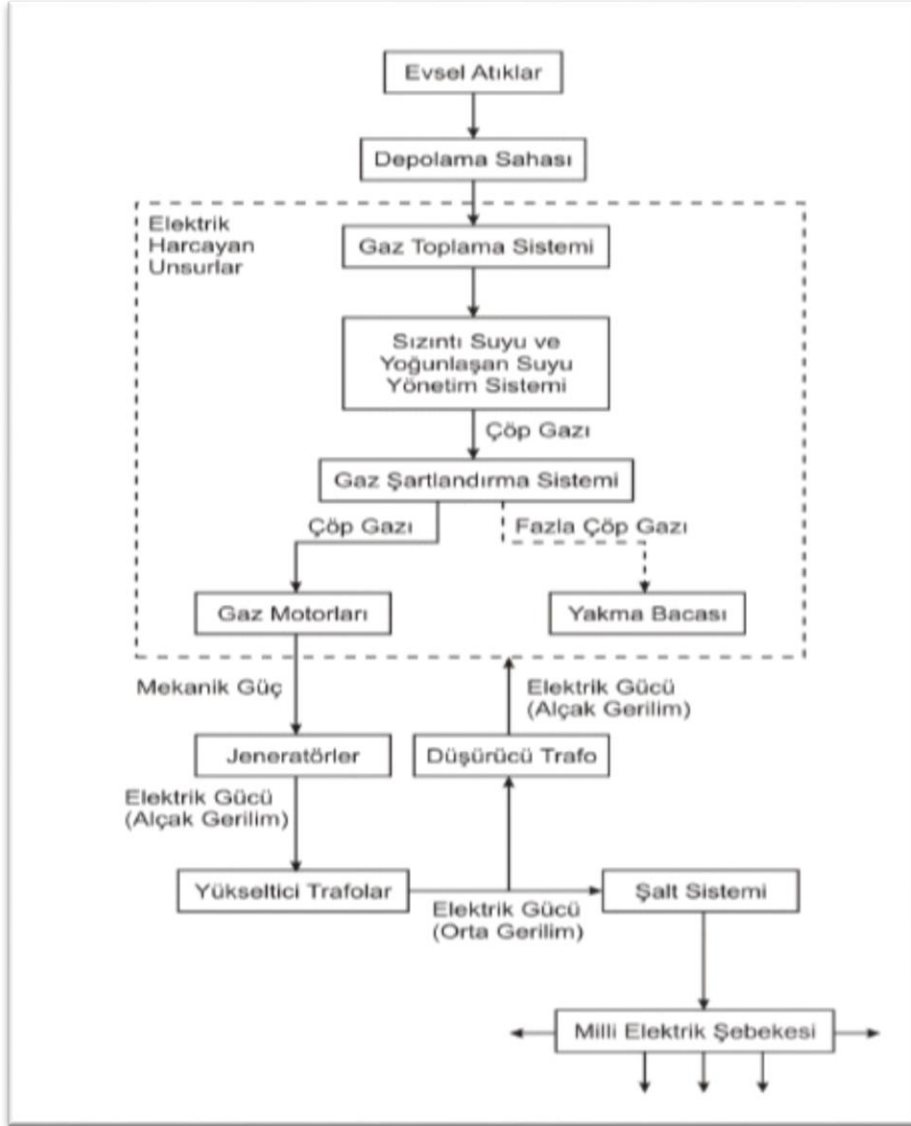
3.2.6. Elektriğin enerji nakil hattına iletilmesi

Resim 3.7. deki trafo ile çöp gazı tesisinde 400V olarak üretilen elektrik yükseltilerek enerji nakil hatlarına verilir (Çelebi, 2017).



Resim 3.7. Elektrik üretim ve dağıtım sistemi (Işık, 2014)

Böylelikle tesiste üretilen elektrik tüketicilerin kullanımına sunulmuş olur. Tipik bir çöp gazı tesisinde elektrik enerjisi üretim sürecinin tamamını Şekil 3.9. da gösterildiği gibi özetleyebiliriz.



Şekil 3.9. Çöp gazından enerji eldesi şeması (Işık, 2014)

4. TESİS ÖZELİNDE ÇALIŞMA YAPILMASI

4.1. Tesisle İlgili Bilgiler

Tokat' ın Erbaa İlçesi' nde katı atıkların depolanması ve bertaraf edilmesi amacıyla 2006 yılında Erbaa 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. Böylelikle gerek belediyeler gerekse çevre açısından büyük bir sorun olan “çöplerin nereye döküleceği” sıkıntısı ortadan kalkmıştır (YBKAYB, 2016).

2014 yılında katı atık düzenli depolama ve bertaraf sahasında biyogaz tesisi kurarak elektrik enerjisi üretilmesi işi için ihaleye çıkmıştır. Şuan tesis Novas Elektrik Üretim AŞ. tarafından işletilmekte ve çöp gazından elektrik enerjisi üretimi yapılmaktadır.

Erbaa, Niksar, Taşova, Reşadiye, Başçiftlik, Serenli, Yazıcık, Gürçeşme, Gököl, Karayaka, Tanoba, Gökçeli ve Yolkonak Belediyeleri ile çevre köylerden toplanan çöpler ilk olarak tesisin girişinde kantarda tartılırlar.



Resim 4.1. Kantardan bir görünüm

Tartım işleminden sonra çöpler depolama ve bertaraf sahasına dökülürler. Burada çöplerin üzeri toprakla örtülerek anaerobik ortamın oluşması sağlanmaktadır. Depolama sahasında zamanla çöplerden çıkan gaz, borular yardımıyla toplanır. Tesiste yatay borulama yapılmaktadır.



Resim 4.2. Yatay borulama

İş makinası yardımıyla çöp alanında yatay bir kanal açılır. Kanala çakıl dökülür ve delikli borular çakılın üzerine yerleştirilir. Borulama işlemi tamamlandıktan sonra kanal çöple kapatılır. Açığa çıkan çöp gazı deliklerden borunun içine dolar.

Depolama alanında 3 adet gaz toplama istasyonu bulunmaktadır. Yatay olarak döşenen borular bu istasyonlara bağlanırlar. Buradan da çöp gazı ana boruya verilir.



Resim 4.3. İstasyon ve ana boru

Bu şekilde sahadan çekilen gaz yakılarak elektrik enerjisine dönüştürülür. Tesiste 637 kW/h kurulu güce sahip 12 silindirli içten yanmalı gaz motoru kullanılmaktadır.



Resim 4.4. Tesiste kullanılan gaz motoru

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.

Çizelge 4.1. 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 (YBKAYB, 2019). Bu kapasiteye denk gelen çöp miktarı ise 185 696 ton olmuştur. Bu değerler yardımıyla depo sahasının toplam kapasitesini ton bazında hesaplırsak;

$$\text{Toplam Kapasite} = \frac{311\,830 \times 185\,696}{211\,830} \text{ ton} \quad (4.1)$$

$$= 273\,359 \text{ ton} \quad (4.2)$$

Toplam kapasiteden kullanılan kısmı çıkarırsak kalan kapasiteyi buluruz.

$$\text{Kalan Kapasite} = 273\,359 - 185\,696 \quad (4.3)$$

$$= 87\,663 \text{ ton} \quad (4.4)$$

Depolama sahasına dökülen çöplerin yıllara göre miktarı birbirine yakın olduğundan bilinen en son miktar olan 2018 yılındaki miktar kadar çöpün 2019 ve 2020 yıllarında da geldiğini kabul edersek 2021 yılında depolama sahasına gelecek olan çöp miktarı 21 911 ton olur.

Çizelge 4.2. Depolama sahasına yıllara göre dökülebilecek 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
2019	32 876
2020	32 876
2021	21 911
Toplam	273 359

Böylece depolama sahasının kapasitesi 2021 yılında dolmuş olacaktır. Sonraki yıllarda ise çöp alımı olmamasına rağmen sahada bulunan çöpün gaz oluşturma süreci devam edecektir.

Depolama sahasından çıkan gazdan elektrik üretimi 2015 yılının 7. Ayında başlamıştır. Çizelge 4.3. de aylık olarak atık miktarları, yakılan depo gazı ve elektrik üretim miktarları görülmektedir. 2018 yılına ait depo gazı miktarı, önceki yıllara ait verilerden elektrik / gaz oranı dikkate alınarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3. Depolama sahasının verileri (YBKAYB, 2016, 2017, 2018, 2019)

YIL	AY	ATIK MİKTARI (ton)	YAKILAN GAZ (m ³)	ELEKTRİK ÜRETİMİ (kW)
2015	07	2 540	31 435	42 870
2015	08	3 454	69 558	94 870
2015	09	2 916	68 795	93 830
2015	10	2 551	51 170	69 789
2015	11	3 247	38 530	52 551
2015	12	2 550	139 673	190 499
YILLIK TOPLAM		17 258	399 161	544 409
2016	01	2 405	114 250	155 814
2016	02	2 404	108 575	148 086
2016	03	3 407	130 535	178 036
2016	04	2 869	118 545	161 677
2016	05	2 580	140 650	191 834
2016	06	2 651	123 460	168 390
2016	07	3 024	101 740	138 748
2016	08	2 661	138 165	188 445
2016	09	2 648	100 810	137 491
2016	10	2 364	125 010	170 499
2016	11	2 524	95 770	130 623
2016	12	2 963	101 855	138 918
YILLIK TOPLAM		32 500	1 399 365	1 908 561
2017	01	1 541	186 621	254 514
2017	02	3 049	168 934	230 392
2017	03	2 889	161 273	219 943
2017	04	2 059	208 358	284 159
2017	05	2 381	200 560	273 524
2017	06	2 661	217 598	296 760
2017	07	2 906	192 602	262 671
2017	08	2 879	191 460	261 114
2017	09	2 720	177 591	242 199
2017	10	2 446	160 474	218 854
2017	11	2 511	142 084	193 774
2017	12	2 662	161 683	220 503
YILLIK TOPLAM		30 704	2 169 238	2 958 407
2018	01	2 292		299 618
2018	02	2 094		282 734
2018	03	2 368		237 381
2018	04	2 246		293 133
2018	05	2 484		261 219
2018	06	2 748		281 079
2018	07	3 099		230 724
2018	08	4 173		222 518
2018	09	3 315		228 028
2018	10	3 089		240 012
2018	11	2 361		250 140
2018	12	2 607		351 679
YILLIK TOPLAM		32 876	2 330 388	3 178 265
GENEL TOPLAM		113 338	6 298 152	8 589 642

4.2. LandGEM Modelinin Uygulanması

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0,1}^1 k \cdot L_o \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-k \cdot t_{ij}} \quad (4.5)$$

Depo gazı miktarının tahmininde kullanılan bu modelin uygulanabilmesi için bazı parametrelerin öncelikle bilinmesi gerekmektedir. Bilinen verileri şu şekilde sıralayabiliriz.

- 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 (MGM, 2019). Yıllık ortalama yağış miktarının 640 mm' den düşük olması sebebiyle k değeri olarak 0,02 kullanılmalıdır.

4.2.1. CAA parametreleri ile hesaplanması

CAA parametrelerinden Çizelge 2.1' e göre $k= 0,02$ ve $L_o= 170$ kullanılmıştır.

Çizelge 4.4. CAA parametreleri ile elde edilen veriler

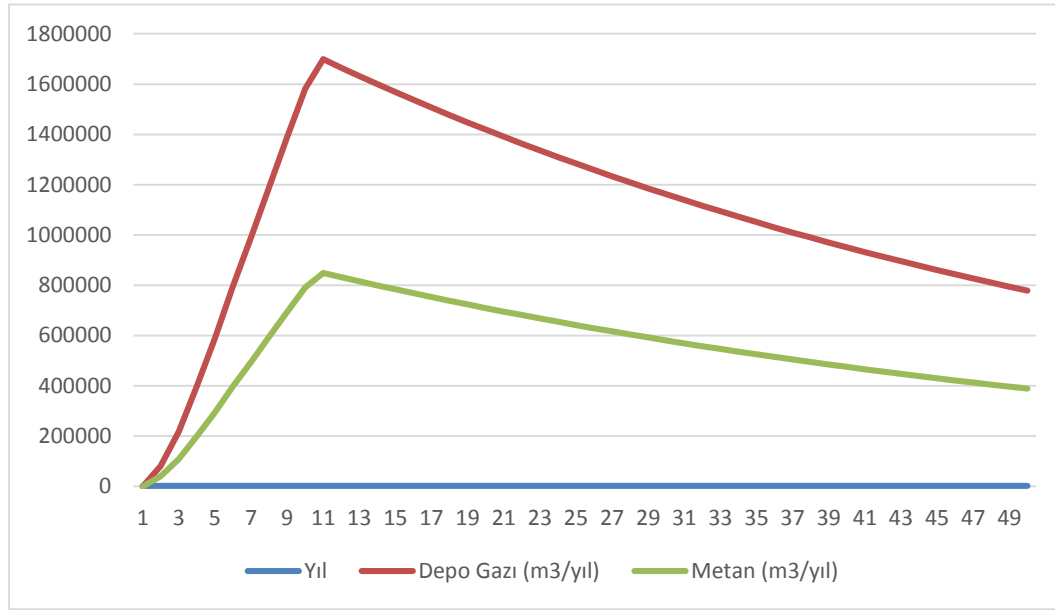
Yıl	Atık Miktarı (ton/yıl)	Toplam Atık Miktarı (ton)	Depo Gazı		Metan	
			(ton/yıl)	(m ³ /yıl)	(ton/yıl)	(m ³ /yıl)
2012	12 107	0	0	0	0	0
2013	20 590	12 107	102	81 591	27	40 796
2014	27 308	32 697	273	218 736	73	109 368
2015	29 611	60 005	498	398 438	133	199 219
2016	32 500	89 616	737	590 102	197	295 051
2017	30 704	122 116	996	797 441	266	398 721
2018	32 876	152 820	1 235	988 571	330	494 285

Çizelge 4.4. (devam) CAA parametreleri ile elde edilen veriler

Yıl	Atık	Toplam	Depo Gazı		Metan	
	Miktarı	Atık	(ton/yıl)	(m ³ /yıl)	(ton/yıl)	(m ³ /yıl)
	(ton/yıl)	(ton)				
2019	32 876	185 696	1 487	1 190 553	397	595 277
2020	32 876	218 572	1 734	1 388 536	463	694 268
2021	21 911	251 448	1 976	1 582 599	528	791 299
2022	0	273 359	2 122	1 698 923	567	849 462
2023	0	273 359	2 080	1 665 283	555	832 641
2024	0	273 359	2 038	1 632 308	544	816 154
2025	0	273 359	1 998	1 599 986	534	799 993
2026	0	273 359	1 959	1 568 304	523	784 152
2027	0	273 359	1 920	1 537 250	513	768 625
2028	0	273 359	1 882	1 506 810	503	753 405
2029	0	273 359	1 844	1 476 973	493	738 487
2030	0	273 359	1 808	1 447 727	483	723 864
2031	0	273 359	1 772	1 419 060	473	709 530
2032	0	273 359	1 737	1 390 961	464	695 480
2033	0	273 359	1 703	1 363 418	455	681 709
2034	0	273 359	1 669	1 336 421	446	668 210
2035	0	273 359	1 636	1 309 958	437	654 979
2036	0	273 359	1 604	1 284 019	428	642 009
2037	0	273 359	1 572	1 258 593	420	629 297
2038	0	273 359	1 541	1 233 672	412	616 836
2039	0	273 359	1 510	1 209 243	403	604 622
2040	0	273 359	1 480	1 185 299	395	592 649
2041	0	273 359	1 451	1 161 828	388	580 914
2042	0	273 359	1 422	1 138 822	380	569 411
2043	0	273 359	1 394	1 116 272	372	558 136
2044	0	273 359	1 366	1 094 169	365	547 084
2045	0	273 359	1 339	1 072 503	358	536 251
2046	0	273 359	1 313	1 051 266	351	525 633
2047	0	273 359	1 287	1 030 449	344	515 225
2048	0	273 359	1 261	1 010 045	337	505 022
2049	0	273 359	1 236	990 045	330	495 022
2050	0	273 359	1 212	970 440	324	485 220
2051	0	273 359	1 188	951 224	317	475 612
2052	0	273 359	1 164	932 389	311	466 194
2053	0	273 359	1 141	913 926	305	456 963
2054	0	273 359	1 119	895 829	299	447 915
2055	0	273 359	1 097	878 091	293	439 045
2056	0	273 359	1 075	860 703	287	430 352
2057	0	273 359	1 054	843 660	281	421 830
2058	0	273 359	1 033	826 955	276	413 477

Çizelge 4.4. (devam) 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)
2059	0	273 359	1 012	810 580	270	405 290
2060	0	273 359	992	794 529	265	397 265
2061	0	273 359	973	778 797	260	389 398



Şekil 4.1. CAA parametreleri ile emisyon değişimi

4.2.2. AP-42 parametreleri ile hesaplanması

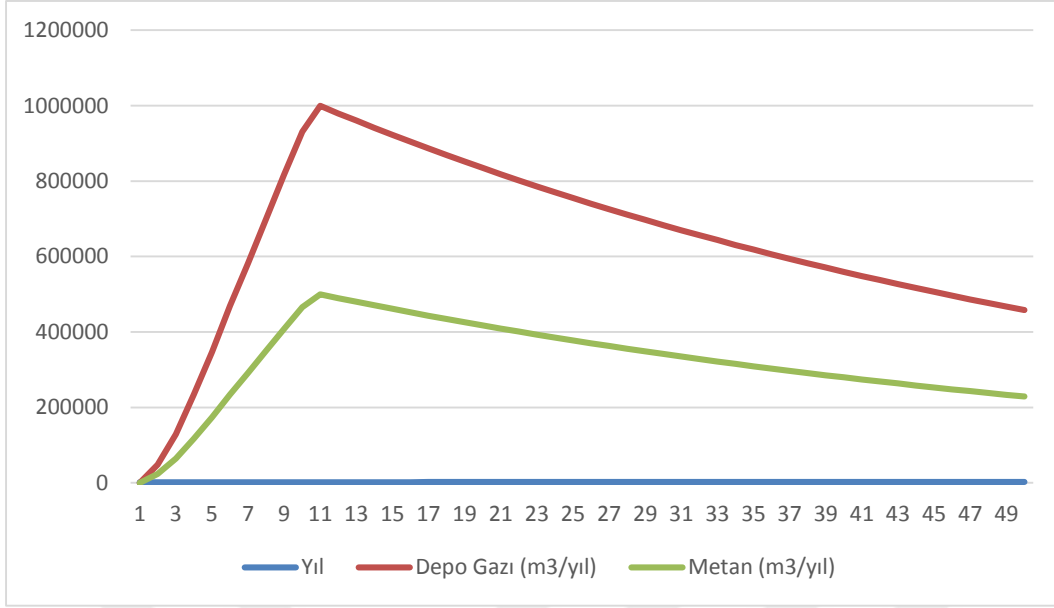
AP-42 parametrelerinden Çizelge 2.1' e göre $k= 0,02$ ve $L_0= 100$ kullanılmıştır.

Çizelge 4.5. 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
2019	32 876	185 696	875	700 325	234	350 163
2020	32 876	218 572	1 020	816 786	272	408 393

Çizelge 4.5. (devam) AP-42 parametreleri ile elde edilen veriler

Yıl	Atık	Toplam	Depo Gazı		Metan	
	Miktarı	Atık	(ton/yıl)	(m ³ /yıl)	(ton/yıl)	(m ³ /yıl)
	(ton/yıl)	Miktarı				
		ton				
2021	21 911	251 448	1 163	930 940	311	465 470
2022	0	273 359	1 248	999 367	333	499 683
2023	0	273 359	1 223	979 578	327	489 789
2024	0	273 359	1 199	960 181	320	480 091
2025	0	273 359	1 175	941 168	314	470 584
2026	0	273 359	1 152	922 532	308	461 266
2027	0	273 359	1 129	904 264	302	452 132
2028	0	273 359	1 107	886 359	296	443 179
2029	0	273 359	1 085	868 808	290	434 404
2030	0	273 359	1 064	851 604	284	425 802
2031	0	273 359	1 042	834 741	278	417 371
2032	0	273 359	1 022	818 212	273	409 106
2033	0	273 359	1 002	802 011	268	401 005
2034	0	273 359	982	786 130	262	393 065
2035	0	273 359	962	770 563	257	385 282
2036	0	273 359	943	755 305	252	377 653
2037	0	273 359	925	740 349	247	370 175
2038	0	273 359	906	725 689	242	362 845
2039	0	273 359	888	711 320	237	355 660
2040	0	273 359	871	697 235	233	348 617
2041	0	273 359	853	683 428	228	341 714
2042	0	273 359	837	669 896	223	334 948
2043	0	273 359	820	656 631	219	328 315
2044	0	273 359	804	643 629	215	321 814
2045	0	273 359	788	630 884	210	315 442
2046	0	273 359	772	618 392	206	309 196
2047	0	273 359	757	606 147	202	303 073
2048	0	273 359	742	594 144	198	297 072
2049	0	273 359	727	582 379	194	291 190
2050	0	273 359	713	570 847	190	285 424
2051	0	273 359	699	559 544	187	279 772
2052	0	273 359	685	548 464	183	274 232
2053	0	273 359	671	537 604	179	268 802
2054	0	273 359	658	526 959	176	263 479
2055	0	273 359	645	516 524	172	258 262
2056	0	273 359	632	506 296	169	253 148
2057	0	273 359	620	496 271	166	248 135
2058	0	273 359	607	486 444	162	243 222
2059	0	273 359	595	476 812	159	238 406
2060	0	273 359	584	467 370	156	233 685
2061	0	273 359	572	458 116	153	229 058



Şekil 4.2. AP-42 parametreleri ile emisyon değişimi

4.3. 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 (2015 yılında yılın ikinci yarısında üretim başladığından CAA ve AP-42 verilerinin yarısı alınmıştır) depolama sahasından çıkan depo gazı miktarından sapma değerleri hesaplanarak aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Sapma yüzdesinin hesaplanmasında,

$$\% \text{ Sapma} = \frac{\text{Ölçülen Değer} - \text{Parametre ile Hesaplanan Değer}}{\text{Ölçülen Değer}} \quad (4.6)$$

Formülü kullanılmıştır.

Çizelge 4.6. 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	2 169 238	797 441	63,2	469 083	78,4
2018	2 330 388	988 571	57,6	581 512	75,0
Toplam	6 298 152	2 575 333	59,1	1 514 902	75,9

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.

Bu adımda ise CAA parametreleri kullanılarak hesaplanan değer ile depolama sahasında ölçülen değer arasında bir katsayı (d) belirleyelim. Bunun için 2015, 2016, 2017 ve 2018 yıllarındaki toplamlar kullanılmıştır. Katsayının belirlenmesinde uygulayacağımız denklem aşağıdaki gibidir.

$$(\text{Depo Gazı Miktarı}) = d \times (\text{CAA parametreleri kullanılarak bulunan değer}) \quad (4.7)$$

$$d = \frac{(\text{Depo Gazı Miktarı})}{(\text{CAA parametreleri kullanılarak bulunan değer})} \quad (4.8)$$

$$d = \frac{6\,298\,152}{2\,575\,333} \quad (4.9)$$

$$d = 2,446 \quad (4.10)$$

Bu şu anlama gelmektedir. 2015, 2016, 2017 ve 2018 yıllarında depolama sahasında ölçülen toplam depo gazı miktarı yine aynı yıllarda CAA parametreleri kullanılarak hesaplanan toplam depo gazı miktarının 2,446 katına denk gelmektedir. Bu değer bir nevi CAA parametrelerinin kullanılmasıyla hesaplanan değerlerin depolama sahasına uyarlanması anlamına gelmektedir.

Bulduğumuz d katsayısını CAA parametreleri kullanılarak hesapladığımız 2012-2061 yılları arasında oluşacak depo gazı ve metan miktarlarıyla çarparsak aşağıdaki tablodaki değerler elde edilir.

Çizelge 4.7. Parametre verilerinin katsayı ile düzenlenmesi

Yıllar	CAA parametreleri kullanılarak bulunan		d katsayısı ile çarpılarak bulunan	
	<i>Depo Gazı</i>	<i>Metan</i>	<i>Depo Gazı</i>	<i>Metan</i>
	(m ³ /yıl)	(m ³ /yıl)	(m ³ /yıl)	(m ³ /yıl)
2012	0	0	0	0
2013	81 591	40 796	199 572	99 787
2014	218 736	109 368	535 028	267 514
2015	398 438	199 219	974 579	487 290
2016	590 102	295 051	1 443 389	721 695
2017	797 441	398 721	1 950 541	975 272
2018	988 571	494 285	2 418 045	1 209 021
2019	1 190 553	595 277	2 912 093	1 456 048
2020	1 388 536	694 268	3 396 359	1 698 180
2021	1 582 599	791 299	3 871 037	1 935 517
2022	1 698 923	849 462	4 155 566	2 077 784
2023	1 665 283	832 641	4 073 282	2 036 640
2024	1 632 308	816 154	3 992 625	1 996 313
2025	1 599 986	799 993	3 913 566	1 956 783
2026	1 568 304	784 152	3 836 072	1 918 036
2027	1 537 250	768 625	3 760 114	1 880 057
2028	1 506 810	753 405	3 685 657	1 842 829
2029	1 476 973	738 487	3 612 676	1 806 339
2030	1 447 727	723 864	3 541 140	1 770 571
2031	1 419 060	709 530	3 471 021	1 735 510
2032	1 390 961	695 480	3 402 291	1 701 144
2033	1 363 418	681 709	3 334 920	1 667 460
2034	1 336 421	668 210	3 268 886	1 634 442
2035	1 309 958	654 979	3 204 157	1 602 079
2036	1 284 019	642 009	3 140 710	1 570 354
2037	1 258 593	629 297	3 078 518	1 539 260
2038	1 233 672	616 836	3 017 562	1 508 781
2039	1 209 243	604 622	2 957 808	1 478 905
2040	1 185 299	592 649	2 899 241	1 449 619
2041	1 161 828	580 914	2 841 831	1 420 916
2042	1 138 822	569 411	2 785 559	1 392 779
2043	1 116 272	558 136	2 730 401	1 365 201
2044	1 094 169	547 084	2 676 337	1 338 167
2045	1 072 503	536 251	2 623 342	1 311 670
2046	1 051 266	525 633	2 571 397	1 285 698
2047	1 030 449	515 225	2 520 478	1 260 240
2048	1 010 045	505 022	2 470 570	1 235 284

Çizelge 4.7. (devam) Parametre verilerinin katsayı ile düzenlenmesi

Yıllar	CAA parametreleri kullanılarak bulunan		d katsayısı ile çarpılarak bulunan	
	<i>Depo Gazı</i>	<i>Metan</i>	<i>Depo Gazı</i>	<i>Metan</i>
	(m ³ /yıl)	(m ³ /yıl)	(m ³ /yıl)	(m ³ /yıl)
2049	990 045	495 022	2 421 650	1 210 824
2050	970 440	485 220	2 373 696	1 186 848
2051	951 224	475 612	2 326 694	1 163 347
2052	932 389	466 194	2 280 623	1 140 311
2053	913 926	456 963	2 235 463	1 117 731
2054	895 829	447 915	2 191 198	1 095 600
2055	878 091	439 045	2 147 811	1 073 904
2056	860 703	430 352	2 105 280	1 052 641
2057	843 660	421 830	2 063 592	1 031 796
2058	826 955	413 477	2 022 732	1 011 365
2059	810 580	405 290	1 982 679	991 339
2060	794 529	397 265	1 943 418	971 710
2061	778 797	389 398	1 904 937	952 468
Toplam	54 483 297	27 241 647	133 266 143	66 633 069

5. SONUÇ

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 Tokat' ın Erbaa İlçesinde bulunan Yeşilirmak Belediyeleri Katı Atık Düzenli Depolama ve Bertaraf Tesisi' ne ait veriler incelenerek EPA' ya ait LandGEM modeline uyarlandı. Çalışma neticesinde şu sonuçlara ulaşılmıştır.

1. LandGEM modeli uygulanırken tesis özelinde CAA parametrelerinin kullanılması daha doğru sonuçlar vermektedir.
2. CAA parametreleriyle yapılan hesaplamalardan oluşan değerler ile tesisin metan üretim miktarının bilindiği yıllar karşılaştırılarak bir katsayı (2,446) belirlendi. Yani CAA parametreleriyle bulunan değer 2,446 ile çarpıldığında oluşabilecek metan miktarına daha yakın sonuçlar elde edilebileceği düşünülmüştür.
3. Modelin uygulandığı 2012-2061 yılları arasında toplamda sahadan elde edilebilecek depo gazı miktarı 133 266 143 m³, metan miktarı ise 66 633 069 m³ olarak hesaplanmıştır.

KAYNAKLAR

- Alabay, Ş. (2015). *1 Milyon Hanenin Elektriği Çöpten*. URL: <https://www.yenisafak.com/ekonomi/1-milyon-hanenin-elektrigi-copten-2375473>. Son Erişim Tarihi: 04.01.2019.
- Aydın, A. (2013). *Türkiye' de Depo Gazından Enerji Yönetimi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Coşkuner, M. C. (2015). *Evsel Atıktan Enerji Üretimi-Gaziantep Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Çallı, B. (2012). *Atıklardan Biyogaz Üretimi*. URL: <http://mebig.marmara.edu.tr/Presentations/BiyogazUretimi.pdf>. Son Erişim Tarihi: 04.01.2019.
- Çelebi, M. (2017). *Belediye Atıklarından Çöp Gazı (LFG-Landfill Gas) Elde Edilerek Elektrik Enerjisi Üretilmesi ve Ülkemizdeki Örneklerinin İncelenmesi*. İller Bankası Anonim Şirketi. Ankara: İller Bankası Anonim Şirketi.
- Enbiocon. (2019). *Çöp Gazı (LFG)*. URL: <http://www.enbiocon.com/cop-gazi-lfg.html>. Son Erişim Tarihi: 04.01.2019.
- Enerji Verimliliği ve Çevre Dairesi Başkanlığı. (2020). *Biyogaz*. URL: <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyogaz.aspx>. Son Erişim Tarihi: 05.04.2020.
- EPA. (2005). *Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide*. URL: <https://www3.epa.gov/ttnecat1/dir1/landgem-v302-guide.pdf>. Son Erişim Tarihi: 04.01.2019.
- Işık, A. (2014). *Katı Atık Bertaraf Tesislerinde Organik Atıklardan Açığa Çıkan Depo Gazı İle Enerji Elde Edilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- İBB. (2019). *Düzenli Depolama Alanları*. URL: <https://atikyonetimi.ibb.istanbul/hizmetlerimiz/duzenli-depolama-alanlari/>. Son Erişim Tarihi: 04.01.2019.
- İlkılıç, C. ve Deviren, H. (2011a, 16-18 May). *Biyogazın Oluşumunu Etkileyen Fiziksel ve Kimyasal Parametreler*. 6th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ.
- İlkılıç, C. ve Deviren, H. (2011b, 16-18 May). *Biyogazın Üretimi ve Üretimi Etkileyen Faktörler*. 6th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ.
- Korkmaz, Y., Aykanat, S. ve Çil, A. (2012). *Organik Atıklardan Biyogaz ve Enerji Üretimi*. *SAÜ Fen Edebiyat Dergisi*, (1), 489-497.
- MCE Alternatif Enerji A.Ş. (2019). *Çöpgaz*. URL: <http://www.alternatifpower.com.tr/tr/gazlar/landfill-16/>. Son Erişim Tarihi: 04.01.2019.
- MGM. (2019). *İllerimize Ait Genel İstatistik Verileri*. URL: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=TOKAT>. Son Erişim Tarihi: 04.01.2019.

- Milliyet. (2017). *Metan Gazından 10 Bin Haneye Elektrik Üretiliyor*. URL: <https://www.milliyet.com.tr/ekonomi/metan-gazindan-10-bin-haneye-elektrik-uretiliyor-2499632>. Son Erişim Tarihi: 04.01.2019.
- Mohamed, A. A. (2017). *Evsel Atıklardan Elde Edilen Enerji Üretimi ve Isparta Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Özçakıl, M. (2001). *Türkiye' de Katı Atık Depo Gazı Geri Kazanım Tesislerinin Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Star. (2017). *Bodrum çöplüğü alev alev yanıyor*. URL: <https://www.star.com.tr/guncel/bodrum-coplugu-alev-alev-yaniyor-haber-1248065/>. Son Erişim Tarihi: 04.01.2019.
- Taşkan, E. O. (2001). *Depolama Sahası Gazlarının Yönetimi ve Modellemesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- TEİAŞ. (2020). *Elektrik İstatistikleri*. URL: <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>. Son Erişim Tarihi: 16.03.2020.
- TÜİK. (2020). *Belediye Atık İstatistikleri*. URL: <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=119&locale=tr>. Son Erişim Tarihi: 16.03.2020.
- YBKAYB. (2016). *2015 Yılı Faaliyet Raporu*. Tokat: Yeşilirmak Belediyeleri Katı Atık Yönetim Birliği Başkanlığı.
- YBKAYB. (2017). *2016 Yılı Faaliyet Raporu*. Tokat: Yeşilirmak Belediyeleri Katı Atık Yönetim Birliği Başkanlığı.
- YBKAYB. (2018). *2017 Yılı Faaliyet Raporu*. Tokat: Yeşilirmak Belediyeleri Katı Atık Yönetim Birliği Başkanlığı.
- YBKAYB. (2019). *2018 Yılı Faaliyet Raporu*. Tokat: Yeşilirmak Belediyeleri Katı Atık Yönetim Birliği Başkanlığı.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı-Soyadı : Murat TORUN
 Uyuşu : Türkiye Cumhuriyeti
 Doğum tarihi ve yeri :
 Medeni Hali :
 e-posta :

Eğitim Derecesi Okul / Program Mezuniyet Yılı

Lisans	Ondokuz Mayıs Üniversitesi	2004
Tezsiz Yüksek L.	Ondokuz Mayıs Üniversitesi	2006
Yüksek Lisans	Amasya Üniversitesi	2021

İş Deneyimi / Yıl Çalıştığı Yer Görevi

2007-2012	Özel Öğretim Kurumları	Kimya Öğretmeni
2012- ...	Yeşilirmak Belediyeleri K.A.B	Memur

Yabancı Dil

İngilizce

Bilimsel Faaliyetler (Yayımlar, Bildiriler, Katıldığı Projeler)

1. Torun, M. ve Kurt, Ü. (2020). Depolama Sahalarında Çöp Gazı Miktarının Tahmini Hesaplanması İçin Uygun Parametrelerin Tespiti. *Journal of New Results in Engineering and Natural Science*, (11), 1-8.