

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**EVSEL ATIKTAN ENERJİ ÜRETİMİ – GAZİANTEP ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mesut Cem COŞKUNER**

**MAYIS 2015**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ ENERJİ ENSTİTÜSÜ**

**EVSEL ATIKTAN ENERJİ ÜRETİMİ – GAZİANTEP ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mesut Cem COŞKUNER**

**(301831014)**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı**

**Enerji Bilim ve Teknoloji Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kadir ALP**

**MAYIS 2015**







*Aileme ve dostlara,*





## ÖNSÖZ

Bu çalışmada bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sn. Prof. Dr. Kadir ALP'e, katkılarından dolayı Doç. Dr. İbrahim Demir ve Yard. Doç. Dr. Mahmut ALTINBAŞ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm hayatım boyunca her türlü fedakârlık ve manevi desteklerinden dolayı eşime, kıymetli aileme, arkadaşlarıma, bana birşeyler öğreten ve öğrenmemi kılavuzlayan değerli hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2015

Mesut Cem Coşkuner

(Elektrik Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|   |           |
|---|-----------|
| ÖNSÖZ.....  | vii       |
| İÇİNDEKİLER .....   | ix        |
| KISALTMALAR .....   | xi        |
| ÇİZELGE LİSTESİ.....  | xiii      |
| ŞEKİL LİSTESİ.....  | xv        |
| ÖZET.....   | xvii      |
| SUMMARY.....  | xix       |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 Konunun Anlam ve Önemi.....   | 1         |
| 1.2 Tezin Amacı .....   | 2         |
| <b>2. ATIK YÖNETİMİ .....</b>   | <b>5</b>  |
| 2.1 Atık Tanımı .....   | 5         |
| 2.2 Katı Atıklar.....   | 5         |
| 2.2.1 Katı atıkların tanımı ve özellikleri.....                                 | 5         |
| 2.2.2 Kaynaklarına göre katı atık.....  | 6         |
| 2.3 Sürdürülebilir katı atık yönetimi .....                                     | 8         |
| 2.3.1 Katı atık yönetiminin hiyerarşisi .....                                   | 9         |
| 2.3.2 Katı atıkların minimizasyonu, bertarafı ve uzaklaştırma yöntemleri: ..... | 9         |
| 2.3.3 Entegre katı atık yönetiminde sorumluluk:.....                            | 12        |
| 2.3.4 Katı atık yönetimi ile ilgili sorunlar ve zorluklar: .....                | 12        |
| 2.3.5 Katı atıkların geri kazanımı .....  | 12        |
| 2.3.5.1 Termokimyasal yollar.....   | 13        |
| 2.3.5.2 Doğrudan yakma.....   | 14        |
| 2.3.5.3 Piroliz.....  | 15        |
| 2.3.5.4 Gazlaştırma.....  | 17        |
| 2.3.5.5 Depolama alanlarından depo gazı enerjisi elde edilmesi.....             | 19        |
| 2.3.5.6 Metodların karşılaştırılması.....                                       | 20        |
| 2.4 Türkiye’de Evsel Katı Atık Yönetimi .....                                   | 25        |
| <b>3. KATI ATIK DEPOLAMA ALANLARI ve DEPO GAZI .....</b>                        | <b>29</b> |
| 3.1 Düzenli Depolama .....  | 29        |
| 3.2 Depo Gazı.....  | 29        |
| 3.3 Depo gazı oluşumu.....  | 31        |
| 3.4 Depo gazı Üretimininin Zamanla Değişimi .....                               | 32        |
| 3.5 Depo Gazı Bileşimi .....  | 33        |
| <b>4. DEPO GAZINI TOPLAMAK VE KULLANMAK İÇİN MÜHENDİSLİK</b>                    |           |
| <b>ÇALIŞMALARI.....</b>   | <b>35</b> |
| 4.1 Gaz Toplama Kuyuları .....  | 35        |
| 4.2 Yakma Sistemi (Flare).....  | 39        |
| 4.3 Gaz Körüğü (Blower).....  | 40        |
| 4.4 Gaz Türbinleri .....  | 40        |
| 4.5 Depo Gazı Kullanım Teknolojileri.....                                       | 40        |

|  |            |
|--|------------|
| 4.5.1 Depo gazı enerji projelerinin geliştirme basamakları .....               | 40         |
| 4.5.2 Elektrik üretimi .....   | 43         |
| 4.5.2.1 İçten yanmalı motorlar .....   | 43         |
| 4.5.3 Boru hattına verme.....  | 44         |
| <b>5. LİTERATÜR ÖZETİ .....</b>  | <b>47</b>  |
| <b>6. TÜRKİYE’DE DEPO GAZINDAN ENERJİ ÜRETİMİ VE GAZİANTEP<br/>ÖRNEĞİ.....</b> | <b>63</b>  |
| 6.1 Türkiye’de Depo Gazından Elektrik Üretimi .....                            | 63         |
| 6.2 Gaziantep’de Depo Gazından Elektrik Üretimi.....                           | 64         |
| 6.3 Gaziantep Kentsel Katı Atık Miktarı:.....                                  | 68         |
| 6.4 Katı Atık Depo Sahalarında Oluşan Gaz Hesabı.....                          | 72         |
| 6.4.1 LandGEM modeli ile tahmin .....  | 73         |
| 6.4.2 Tabasaran ve Rettenberg modeli ile tahmin .....                          | 74         |
| 6.4.3 IPCC modeli ile tahmin .....   | 75         |
| 6.5 Gaziantep Şahinbey Tesisi İçin Hesaplamalar .....                          | 75         |
| 6.5.1 Nüfus ve atık hesaplamaları.....   | 75         |
| 6.5.2 Kütle dengesi hesabı yaklaşımı.....                                      | 76         |
| 6.5.3 LandGEM modeli ile tahmin sonuçları .....                                | 83         |
| 6.6 Projenin Gerçekleşmesinde Proje Yönetimi Uygulamaları.....                 | 88         |
| 6.6.1 Teklif bedelinin belirlenmesi .....                                      | 89         |
| 6.6.1.1 Konsept çalışması .....  | 89         |
| 6.6.2 Proje yönetimi.....  | 94         |
| 6.6.2.1 Şantiye yönetimi .....   | 97         |
| 6.6.2.2 İş-sonu projelerinin (as-built) hazırlanması .....                     | 100        |
| 6.6.2.3 Geçici kabulün yapılması.....  | 100        |
| 6.6.2.4 Kesin Kabulün Yapılması.....   | 100        |
| 6.6.3 İnşa edilen tesis ile ilgili ana teçhizat karakteristikleri: .....       | 101        |
| 6.6.3.1 Gaz motoru: .....  | 101        |
| 6.6.3.2 Alternatör .....   | 102        |
| <b>7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>   | <b>105</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>  | <b>107</b> |
| <b>EKLER.....</b>  | <b>109</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>  | <b>117</b> |

## KISALTMALAR

- AB:** Avrupa Birliği  
**ABD:** Amerika Birleşik Devletleri  
**ATY:** Atıktan Türetilmiş Yakıt  
**BB:** Büyükşehir Belediyesi  
**BOİ5:** 5 Günlük Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı  
**CFC:** Kloroflorokarbon  
**CH<sub>4</sub>:** Metan  
**CO<sub>2</sub>:** Karbondioksit  
**ÇOB:** Çevre ve Orman Bakanlığı  
**DOC:** Ayrışabilir Organik Karbon  
**DDT:** Düzenli Depolama Tesisi  
**EHCIP:** Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımları Projesi  
**EKY:** Entegre Katı Atık Yönetimi  
**IEA:** International Energy Agency  
**IPCC:** Hükümetler Arası İklim Değişimi Paneli  
**KAAP:** Katı Atık Ana Planı  
**EKA:** Evsel Katı Atık  
**KKA:** Kentsel Katı Atık  
**KIP:** Küresel Isınma Potansiyeli  
**KOİ:** Kimyasal Oksijen İhtiyacı  
**LCA:** Life – Cycle Assessment  
**MGT:** Maddesel Geri Kazanım Tesisi  
**ppm:** Milyonda Bir Parça  
**ppb:** Milyarda Bir Parça  
**ppt:** Trilyonda Bir Parça  
**PM:** Partiküler Madde  
**TOC:** Toplam Organik Karbon  
**TÜİK:** Türkiye İstatistik Kurumu  
**Top-P:** Toplam Fosfor  
**UNDP:** Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı  
**USEPA:** ABD Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency)  
**UYA:** Uçucu Yağ Asitleri  
**VOC:** Uçucu Organik Bileşikler



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

|   |    |
|---|----|
| Çizelge 2.1: Bertaraf metoduna göre evsel katı atığın net enerji potansiyeli [10]. ...  | 24 |
| Çizelge 2.2: Doğrudan yakma ve gazlaştırma arasındaki karşılaştırma [10]. .....         | 24 |
| Çizelge 2.3: Türkiye’de evsel kaynaklı atık kompozisyonu, % [15]. .....                 | 27 |
| Çizelge 3. 1: Depo gazının içeriği ve oranları [17]. .....                              | 33 |
| Çizelge 4.1: Düşey gaz toplama sistemi inşası için tavsiye edilen kriterler [15]. ..... | 38 |
| Çizelge 4.2: Gaz türbinleri ile içten yanmalı motorların mukayesesi [15]. .....         | 44 |
| Çizelge 4.3: Depo gazı kullanımını seçeneklerinin teknik fizibilitesi özeti [15]. ..... | 45 |
| Çizelge 5.1: Çeşitli ülkelerde depo gazından elektrik üretimi potansiyeli [19]. .....   | 49 |
| Çizelge 5.2: Ensenada Tesisi’ndeki ölçümlerin, aylara göre dağılımı [21]. .....         | 51 |
| Çizelge 5.3: Ensenada’da, sahadaki ölçüme göre k çarpanı revizyonu [21]. .....          | 51 |
| Çizelge 5.4: Yeni değerlere göre Ensenada’daki tahminlerin revize edilmesi [21]. ..     | 52 |
| Çizelge 5.5: Metan için düzeltme katsayıları [21]. .....                                | 52 |
| Çizelge 5.6: 2011 – 2023 yılları arasında Türkiye nüfusunun yıllık artışı [22]. .....   | 54 |
| Çizelge 5.7: Türkiye'nin bazı illeri 2012-2023 yılları için nüfus tahmini [22]. .....   | 55 |
| Çizelge 5.8: Türkiye’de, bazı illerin belediyelerinin KKA üretim tahmini, ton [22].     | 56 |
| Çizelge 5.9: Türkiye’de, KKA’nın kalorifik değeri, nem ve organik içeriği [22]. .....   | 57 |
| Çizelge 5.10: Bazı illerde EKA’nın ton başına tahmini metan üretimi [22]. .....         | 60 |
| Çizelge 5.11: Bazı illerde, tahmini elektrik üretim potansiyeli, GWh [22]. .....        | 61 |
| Çizelge 6.1: Türkiye’de depogazı tesislerinin listesi (2013 sonu) [33]. .....           | 64 |
| Çizelge 6.2: Gaziantep nüfusu ve düzenli depolanan KKA miktarları [27]. .....           | 69 |
| Çizelge 6.3: Gaziantep katı atık bileşenleri (% Yaş ağırlık olarak) [27]. .....         | 70 |
| Çizelge 6.4: Gaziantep katı atıklarının özellikleri [27]. .....                         | 70 |
| Çizelge 6.5: Kahramanmaraş ve civar illerin çöp karakterizasyonu [28]. .....            | 71 |
| Çizelge 6.6: Gaziantep BB kış katı atık karakterizasyonu [26]. .....                    | 72 |
| Çizelge 6.7: Gaziantep Batı Bölgesi yıllık nüfus ve atık miktarı değişimi. ....         | 76 |
| Çizelge 6.8: Atıkların ayrıntılı analizleri [29]. .....                                 | 77 |
| Çizelge 6.9: Gaziantep evsel atıkları yaklaşık (proximate) analizi sonuçları. ....      | 78 |
| Çizelge 6.10: Gaziantep evsel katı atık kompozisyonu. ....                              | 79 |
| Çizelge 6.11: Gaziantep evsel atıkları elementel analizi sonuçları. ....                | 80 |
| Çizelge 6.12: Gaziantep katı atık bileşenleri için atom sayılarına göre sonuçlar. ....  | 81 |
| Çizelge 6.13: Gaziantep EKA formülleri. ....  | 81 |
| Çizelge 6.14: Gaziantep Şahinbey Tesisi, enerji üretim kısmı keşif özeti. ....          | 92 |
| Çizelge 6.15: Gaziantep Şahinbey Tesisi genel işler keşif özeti. ....                   | 93 |





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

|   |     |
|---|-----|
| Şekil 1.1: Dünyada sera gazı emisyonlarının dağılımı [1].                       | 2   |
| Şekil 2.1: Kentsel katı atıkların sınıflaması [11].                             | 7   |
| Şekil 2.2: Kentsel atıkların ayrıntılı dökümü [11].                             | 8   |
| Şekil 2.3: Katı atık yönetimi hiyerarşisi [10].                                 | 9   |
| Şekil 2.4: Katı atık yönetimine kullanılan teknolojiler [10].                   | 11  |
| Şekil 2.5: Örnek bir entegre katı atık yönetimi tesisi [10].                    | 11  |
| Şekil 2.6: Örnek bir entegre katı atık yakma tesisi [10].                       | 14  |
| Şekil 2.7: Piroliz yöntemi akış şeması [10].                                    | 16  |
| Şekil 2.8: Gazlaştırma yöntemi prensip şeması [10].                             | 19  |
| Şekil 2.9: Depo gazının toplanması [15].  | 20  |
| Şekil 2.10: Türkiye’de büyük şehirler entegre KKA yönetim şeması [15].          | 26  |
| Şekil 2.11: Türkiye’de şehirler ve kırsal için entegre KKA yönetim şeması [15]. | 27  |
| Şekil 3.1: Depo gazlarının zamanla değişimi ve gaz oluşumu fazları [15].        | 31  |
| Şekil 4.1: Depo gazı için tipik pasif gaz toplama sistemi [15].                 | 35  |
| Şekil 4.2: Gaz tahliye bacası [15].   | 37  |
| Şekil 4.3: Dikey kuyularla gaz toplama ve geri kazanma sistemi [15].            | 37  |
| Şekil 4.4: Dikey gaz toplama sisteminin üstten görünümü ve etki çapları [15].   | 38  |
| Şekil 4.5: Yatay gaz toplama borusu detayı [15].                                | 39  |
| Şekil 4.6: Yatay gaz toplama sistemi planı [15].                                | 39  |
| Şekil 5.1: Çeşitli ülkelerde atık depolama alanlarında atık yüzdesi, 2009 [19]. | 48  |
| Şekil 6.1: Türkiye’de KKA depolama alanları ve elektrik üretim tesisleri [24].  | 66  |
| Şekil 6.2: Gaziantep ilinde, sera gazı emisyonlarının dağılımı.                 | 67  |
| Şekil 6.3: Gaziantep Şahinbey Elektrik Üretim Tesisi [24].                      | 68  |
| Şekil 6.4: Gaziantep Batı mücavir alanı bilgisi [25].                           | 68  |
| Şekil 6.5: Gaziantep Şahinbey enerji üretim tesisi enerji-metan üretim grafiği. | 87  |
| Şekil 6.6: Gaziantep Şahinbey enerji tesisi enerji satışı-metan üretim grafiği. | 87  |
| Şekil 6.7: Şahinbey Tesisi planı 1. etap ekipman yerleşimi.                     | 88  |
| Şekil 6.8: Şahinbey Enerji Tesisi kesiti.                                       | 88  |
| Şekil 6.9: Gaziantep Şahinbey depo gazı tesisi yatırım dağılımı grafiği.        | 94  |
| Şekil 6.10: Gaziantep depo gazından enerji üreten tesisin görünümü [35].        | 104 |
| Şekil 6.11: GE Jenbacher Sistemi yaklaşımı [18].                                | 104 |



## EVSEL ATIKTAN ENERJİ ÜRETİMİ – GAZİANTEP ÖRNEĞİ

### ÖZET

Atık yirminci yüzyılda “sahibinin istemediği, arıtma ve uzaklaştırılması gerekli maddeler” olarak tanımlanmasına rağmen teknolojik ve çevresel gelişmelerin doğal sonucu olarak günümüzde ülkelerin en önemli kaynaklardan biri konumuna yükselmiştir. Bu gelişmeler, içinde bulunduğumuz yirmibirinci yüzyılda toplumlar ve ülkeler tarafından gezegenimizdeki doğal kaynakların sınırlı olduğunun algılanması kadar; atıkların “yenilenebilir” bir kaynak konumuna yükselmesi ve içerdikleri bileşenler bakımından hammadde olarak kullanılacak unsurlarının geri kazanılması önem kazanmıştır. Atık, gerek sahip oldukları enerji potansiyelinin kullanılması ve gerekse sera gazları gibi iklim değişikliğine yol açan çevresel risklerinin azaltılması gibi hususlar dolayısı ile bir değer olarak benimsenmesine imkân sağlamıştır. Gelişmiş ve gelişmekte olan toplumlarda “entegre çevre yönetimi” ve “sürdürülebilir kalkınma” gibi yeni kavramların ışığı altında atıkların yönetimi ifadesi ekonomik olarak karşılanabilir, sosyal olarak kabul edilebilir ve çevresel olarak da etkin bir yönetim anlayışına karşı gelmektedir.

İnsan faaliyeti sonucunda, kaçınılmaz olarak atık oluşmaktadır. AB ülkelerinde 2000’li yılların başında kişi başına katı atık üretimi 430 kg/yıl iken; 10 yıl kadar önce ülkemizde bu değer, ancak, 380 kg/yıl mertebelerinde idi. Nüfus ve ekonomik refah artışı ile ülkemizde de kişi başına katı atık üretimi hızla artmaktadır. Sonuç olarak bu atıkların bir şekilde zararsız hale getirilmesi kadar bir o kadar da ekonomiye ve çevreye olumlu katkı sağlayacak şekilde yönetilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, ülkemizde evsel katı atıklardan enerji geri kazanımı konusu incelenmiştir. Bu amaçla, ülke bazında evsel atık oluşumu ve karakteristiği incelenmiş, enerji geri kazanma potansiyelleri değerlendirilmiştir. Özel olarak da, Gaziantep şehrimize ait evsel atık depolama sahasından elde edilecek çöp gazından enerji üretimine ilişkin projenin temel mühendislik yaklaşımı verilerek; bu konuda örnek bir uygulama sunulmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda, öncelikle katı atık oluşumu ve enerji geri kazanma teknolojileri üzerinde durulmuştur. Evsel atıklardan enerji geri kazanımı; entegre atık yönetimi çerçevesinde düzenli depolama tesislerinde çöpgazının toplanarak ısı ve elektrik enerjisi üretiminde kullanılması, veya atığın doğrudan biyomekanik (anaerobik çürütme ve biyogaz üretimi, kompostlaştırma, atıktan türetilmiş yakıt üretimi) veya termal yöntemlerle (kütlesel yakma, piroliz, gazlaştırma) sağlanmaktadır. Atıktan enerji geri kazanım potansiyellerinin belirlenmesinde pekçok faktör etkili olmaktadır. Bu faktörler arasında toplumun refah seviyeleri, yerleşim yerlerinde tüketim alışkanlıkları, ekonomik faaliyetler, topoğrafya ve iklim koşulları, mevsimsel değişimler, yanında kişi başına evsel atık oluşumu, atıkların madde grup analizleri, nem ve inert kısımlarının oranları, bileşenlerin ısı değerleri önemlidir. Bu faktörler bakımından 2000’li yıllardan sonra yapılmış şehirlerimizdeki evsel katı atıkların

karakterizasyonu verilerek genel olarak katı atık enerji potansiyellerimiz verilmiştir. Ulusal atık yönetimi strateji belgesine göre ülkemizin 2030'lu yıllara kadar benimsenen atık yönetim hedefleri, atık miktar ve karakterindeki değişiklik tahminleri irdelenmiştir. Özellikle düzenli depolama tesislerinin gelişimine bağlı olarak atık depolama ve çöp gazı oluşum miktarlarına yönelik tahminler değerlendirilmiştir.

Çalışmanın, Gaziantep EKA'dan enerji geri kazanılmasını içeren kısmında, şehrin atık miktarı ve kompozisyonu yardımıyla; Şahinbey Düzenli Depolama Tesisi'nden 2010-2039 yılları arasındaki 29 yıllık işletme dönemi ile 2039-2059 yılları arasındaki kapanma dönemi süresince elde edilecek depo gazının miktarı EPA'nın "Landfill Gas Emission Modeli (LandGem)" ile tahmin edilmiştir. Bu tahminle paralel olarak, teknik olarak içten yanmalı motorlar kullanılarak, depo gazından elde edilecek enerji miktarının yıllara göre değişimi bulunmuştur. Enerji geri kazanımına yönelik mevcut tesise ilişkin proje fizibilitesi verilmiştir. Fizibiliteler gaz toplama sistemi, enerji ekipmanı, inşaat faaliyetleri için ilk yatırım maliyetlerini, işletme maliyetlerini, geri ödeme süresini ve karlılık hesaplarını içermektedir.

## **ENERGY PRODUCTION FROM MUNICIPAL WASTE – STUDY CASE : GAZIANTEP CITY WASTE**

### **SUMMARY**

Waste is defined as the material which is not wanted and/or a material needed to be removed from society.

This definition especially in the twentieth century, is changed in the favor of the waste itself.

By means of the technological and the environmental developments, waste becomes an important material, simply a source of energy.

These developments put a different view on the term of the waste and the meaning of waste is elevated to the level of “renewable energy sources” in the current century.

The main reason for this new definition is the public awareness of limited nature of the energy in the world.

Chemically the components of waste can be reused and/or recovered as raw materials. This allows not only to decrease the greenhouse gas emission but also to introduce a “valuable goods” meaning to the waste definition.

With the help of other improvements summarized in the title of “sustainable development” and “environmental management”, waste management became an acceptable term economically, socially and environmentally, in the developed and developing countries.

Waste is produced inevitably as a result of any human activity. In years of 2000s, while the the production of waste was 430 kg/years per person in EU countries, Turkish one was only at around 380 kg/year per person.

However these values are increasing with the increase in the population and the wealth of societies due to the economical developments.

Consequently the management of waste becomes a requirement which involves elimination and processing steps.

This not only is essential for environmental health but also is a necessity for economic improvement.

In this thesis, the subject of municipality waste recovery as an energy source is studied.

Mainly the production of household waste and its characteristics were examined and the potential of recovery mechanics were investigated.

As a particular case; the engineering approach to generate energy from landfill gases from the landfill areas of the city of Gaziantep is given.

This energy which is generated from municipal waste is recovered by systematic processed which can be summered under the name of “the integrated waste management”.

This involves the usage of landfill gasses in the generation of electric and thermal energy, direct biomechanical method (anaerobic decomposition and biogas production), composting (waste-derived fuel production) and thermal methods (mass incineration, pyrolysis and gasification) processes.

Several factors involve in choosing the effective process for waste recovery and energy production.

Of these factors, the people’s wealth, consumption patterns, economic activities, topographical and climatic conditions, seasonal changes, municipal waste generation per capita, waste material group analysis, humidity and solid waste concentrations, calorific values of the components of waste can be count.

The characterization of domestic municipal solid waste production after years of 2000s is determined within the frame work of these factors. The Turkish waste-to-energy potential is tried to be identified.

According to a “National Waste Management Strategy Document” of our country up to 2030 years; waste management targets, estimates changes in waste quantity and its characters are discussed.

In particular, the estimated values of waste deposition and gas generation respect to the landfill developments were evaluated.

In the chapters of this thesis where Gaziantep EKA’s recovery subject is given, the landfill gas amounts which is obtained from Sahinbey Lanfill Area is estimated using “Landfill Gas Emission Model” for the periods of [2010 to 2039] and [2039 to 2059].

The later period is going to be the shutdown years for this particular landfill area. The yearly variation of the energy amounts which will be created from the burning of waste gasses is given.

These values are calculated/estimated by using internal combustion engine methods.

Then, present and future perspectives were made for solid waste Gaziantep. Analysis of the energy production potential is estimated by making certain assumptions.

According to these estimates, from one ton of the original MSW, 113 m<sup>3</sup> of landfill gas can be obtained by calculation. However, due to the lack of data taken into account essential, considering the average values of the solid waste in Turkey, the results have been revised. As landfill gas production potential for the revised value of 170 m<sup>3</sup> per tonne it was used to store waste gas values.

The above-mentioned calculated with the help of LandGEM method, with the actual amount of electricity generation from landfill gas production with another production facility, which began in year 2010 are quite compatible.

In the study, the project planning stage and on completion, is shown in detail. In particular, the realistic figures on the cost of the project are used. The payback period is calculated and the profitability of the project.

These and other projects, and to local governments an arrow contribute. These benefits, cheap way to dispose of municipal solid waste creates environmental

problems, trade opportunities in the carbon market, and also greenhouse gases (methane) is useful in reducing.

Providing electrical energy from a renewable resource; significant contributions to environmental care, improvements can be made. Therefore, this type of project, in the feasibility stage, realistic data to perform calculations with the help of the event, of the feasible projects for other cities will be able to implement and will constitute the first step of such projects.

The data obtained with the approach (LandGEM), making the company the confirmation of the data, the project is important to hit the accepted value basis. However, as seen so far this election with the current results provide reasonably possible to obtain.

The energy obtained from urban solid waste, in particular, has a great importance in meeting the local energy needs.

Urban solid waste from energy production, with changing world conditions, then the developed countries, it has now been entered into the agenda of developing countries.

In terms of developing countries, the benefit of a major investment in this area is that the employment created. Turkey is also developing a consciousness about it. This issue turned into a national project, the waste analizlerinin seasons, depending on the quantity and quality made and periodically updated is important to establish a data bank. In addition, investors and related industries by encouraging the principal to be directed to this type of investment should be maintained as an economic as well as social responsibility projects.

The existing facilities for energy recovery from landfill gas, first and second stage are given regarding the feasibility of the project.

The feasibility for the investment costs including the gas collection system, energy equipment, construction activities, operating costs, re-payment period and profitability calculations.

The feasibility of this waste management facility is given with respect to the values of the current energy recovery potentials.

Those feasibility projects involve the cost calculations for a gas collection systems and installation of related equipment's and tools, pre-investment studies, management expenses, repayment plan and the probability studies.





# 1. GİRİŞ

## 1.1 Konunun Anlam ve Önemi

Yaşamsal faaliyetlerimizin doğal sonucu olarak ortaya çıkan kentsel katı atıkların bertaraf edilmesi sürdürülebilir kalkınma açısından son derece önem arz eden bir konudur.

Dünyayı ve çevremizi daha yaşanabilir hale getirmek, insan sağlığına zarar vermemek ve en fazla ekonomik katkıyı sağlamak, kentsel katı atıkların bertaraf edilmesi konusunda göz önünde bulundurulması gereken önemli hususlardır.

Bu bağlamda kentsel katı atıklardan enerji üretim teknolojileri dünyada önemle üzerinde durulan bir konudur.

Günümüzde katı atıkların bertaraf edilirken enerji potansiyellerinin değerlendirilmesi için farklı teknolojiler geliştirilmekte, mevcut teknolojiler iyileştirilmeye çalışılmaktadır.

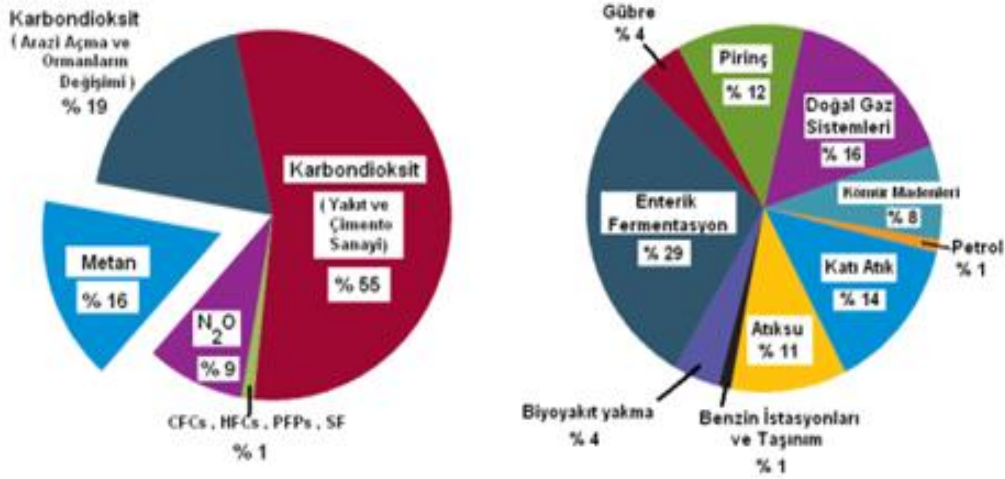
Kentsel katı atıklardan enerji üretiminde kullanılan teknolojileri düzenli depolama, yakma, gazlaştırma, anaerobik çürütme, olarak sıralamak mümkündür.

Fosil yakıtların kullanılması sonucu oluşan emisyonlar ve düzenli depolama sahalarında meydana gelen metan emisyonu önemli atmosferik kirleticiler arasındadır.

Yüksek sera gazı potansiyeli nedeniyle, metanın iklim değişikliklerine etkisi önemlidir.

Metanın atmosferdeki ömrü yaklaşık 10 yıl, CO<sub>2</sub>'in 100 yıl civarındadır. Metan, hem antropojenik hem de doğal kaynaklı olduğundan dünyadaki sera gazı emisyonunun % 16'sını oluşturmaktadır.

Global ölçekte metan gazının diğer sera gazları ile oransal karşılaştırması Şekil 1.1 'de verilmektedir [1].



**Şekil 1.1:** Dünyada sera gazı emisyonlarının dağılımı [1].

Metan emisyonunun azaltılmasına yönelik planlamalar, bu gazın sera gazı etkisinin de azaltılması anlamına gelmektedir. Metan gazının CO<sub>2</sub>'den 25 defa daha etkili olmasından dolayı atmosferdeki metan miktarının azaltılması sera gazlarını azaltmada doğrudan etkili olmaktadır. Metanın enerji amaçlı kullanılması ise ayrıca diğer fosil yakıtlı enerji kaynaklarının tüketilmesini azaltmakta veya engel olmaktadır.

Belediyelerin katı atık depolama sahalarında gaz oluşumu 30-50 senelik bir süreçte katı atıkların ayrışması sonucu meydana gelmekte ve sahanın kapatılmasından sonra da bu üretim devam etmektedir. Atmosfere verilen metan gazının azaltılarak enerjiye dönüştürülmesi uygulanabilir alternatif bir teknolojidir [2].

Metandan enerji elde edilmesinin, sera gazlarını azaltmasının yanı sıra, koku probleminin giderilmesi, depolama alanından çıkan gazın bitkilere zarar vermesinin önlenmesi, patlama riskinin azaltılması gibi faydaları da vardır.

“Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik” hükümlerine göre depo gazının mutlaka toplanması ve yakılması gerekmekte, fizibil olması halinde ise elektrik üretiminde kullanılması tavsiye edilmektedir [3].

## 1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada; önce; evsel atık ile ilgili temel bilgilerin ortaya konulması, yurtiçi ve dışındaki mevcut durumun incelenmesi, evsel atıktan birçok farklı teknoloji ile enerji elde etmekle ilgili termokimyasal metotların sınıflandırılması yapılmış, hâlihazırda

Türkiye’de uygulanan sistemin etkinliği değerlendirilmiştir. Söz konusu araştırmalar sırasında geçerli mevzuatın ve yönetim sisteminin durumu göz önünde bulundurulmuştur. Sonra; evsel katı atık depolama sahasından elde edilen, çöp gazından faydalanan bir tesiste elektrik üretilmesi ve şebekeye iletilmesi, proje yönetimi sistematiği çerçevesinde irdelenmektedir.

Tez konusu olan çalışmada; örnek olarak seçilen ve Gaziantep’te mevcut olan bir düzenli depolama sahasında faaliyette olan depo gazından enerji üreten tesis incelenmiştir. Bu çalışma, elde edilen tecrübeleri ortaya koyarak yeni planlanacak depo gazından enerji üreten tesislerinin daha verimli bir şekilde kurulmasına ve işletilmesine katkı sağlayacaktır.



## **2. ATIK YÖNETİMİ**

### **2.1 Atık Tanımı**

Atık, kullanılmış, artık istenmeyen ve çevre için zarar oluşturan her türlü maddedir.

Teknolojik ve sosyal gelişmelere bağlı olarak zaman içinde atıkların ortaya çıkışı değişkenlik göstermektedir.

2872 nolu Çevre Kanunu'nda "Atık" teriminin; "herhangi bir faaliyet sonucunda çevreye atılan veya bırakılan zararlı maddeleri" tanımlamaktadır [4].

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 2 Nisan 2015 tarihinde yayınlanan "Atık Yönetimi Yönetmeliği"nde atık için: "Üreticisi veya fiilen elinde bulunduran gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya bırakılan ya da atılması zorunlu olan herhangi bir madde veya materyal" tanımı verilmektedir.

"Belediye atıkları" için de: Yönetmeliğin ek-4'ünün 20 nolu bölümünde tanımlanan ve yönetiminden belediyenin sorumlu olduğu, evlerden kaynaklanan ya da içerik veya yapısal olarak benzer olan ticari, endüstriyel ve kurumsal atıklardır" tanımı yapılmaktadır [3].

### **2.2 Katı Atıklar**

#### **2.2.1 Katı atıkların tanımı ve özellikleri**

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın: "Atık Yönetimi Yönetmeliği'nde; atıkların tümünün bertarafı konusunda tarif ve sınırlamalar getirmiştir.

Belediye atıklarının yönetimi ile iklim, nüfus, atık miktarı, coğrafi koşullar, en uygun taşıma mesafesi göz önünde bulundurularak en geniş bölgenin faydalanabileceği şekilde bölgesel düzeyde sağlanması anlaşılmaktadır.

Belediye atıklarının hacminin azaltılması, kısmen enerji veya maddesel geri kazanımının sağlanması ve nihai bertarafı amacıyla çevre ile uyumlu fiziksel, kimyasal, biyolojik veya termal teknolojilerin kullanılması esastır.

Atığın düşük değerde veya değersiz oluşu çoğu kez karışık olması veya bileşiminin

bilinmemesi ile ilgilidir.

Atıkların toprağa, denizlere, göllere, akarsulara ve benzeri alıcı ortamlara dökülmesi, doğrudan dolgu yapılması ve depolanması suretiyle çevrenin kirletilmesi yasaktır.

Katı atıkların sınıflandırılması, son 20–30 yılda, içeriğinin değişmesiyle, oldukça değişmiştir. Örneğin; evsel katı atık içeriğinde; kömür külü yerine, plastik atık çoğalmıştır. Katı atıkların içeriği, toplumun ekonomik ve kültürel düzeyine ve mevsimlere bağlı olarak değişmekte ve örneğin; özellikle yaz aylarında katı atıklar içerisinde meyve ve sebze atıkları daha çok bulunmaktadır [5].

Katı atıklar genel olarak; evsel atıklar, iri ve hurda çöpler, bahçe atıkları, cadde süprüntüleri, sanayi atıkları, mezbaha ve ahır atıkları, enkaz ve toprak olmak üzere yediye ayrılabilir ve biyobozunur ve diğer katı atıklar olarak sınıflandırılabilir [6].

Biyobozunur atık: Park, bahçe ve evler ile lokantalar, satış noktaları, gıda üretim ve benzeri tesislerden kaynaklanan oksijenli veya oksijensiz ortamda bozunmaya uğrayabilen atıklarıdır [3].

Organik katı atıkların % 40'dan fazlası biyolojik yollarla kolay parçalanabilir organik maddelerden oluşmaktadır [7].

Biyo-bozunur atıklar, geri kazanılabilir atıklarla karıştırılmadan ikili toplama sistemiyle kaynağında ayrı toplanır ve ikili toplama sistemi kurulur.

Yerleşim yerlerinde karşılaşılan en büyük sorunlardan biri evsel ve endüstriyel katı atıklardır. Evsel atıklardan; mutfak atıkları, yemek atıkları organik, plastik ambalajlar, kül, ev eşyası kırıkları inorganiktir. Cadde atıklarından; pazaryeri atıkları, hayvan pisliği ve ağaç, yaprak ve dal atıkları organik, uçucu kül, toz ve cadde yüzeyi aşınmaları inorganiktir [8].

Evsel katı atıkların % 68'ini organik atıklar, kalan kısmını ise kâğıt, karton, tekstil, plastik, deri, metal, ağaç, cam ve kül gibi maddeler oluşturmaktadır [9].

### **2.2.2 Kaynaklarına göre katı atık**

Kaynakları bakımından ise katı atıklar şöylece gruplandırılabilir:

a) Evsel katı atıklar:

Evlerden veya ticari ve kurumsal nitelikli kuruluşlarından gelen (Lokantalardan, okullardan mağaza ve ofisler vb) evsel nitelikli katı organik ve inorganik atık ve

artıklardır. Bu tezde konu edilen evsel katı atık (EKA) prensip olarak bu tip katı atıklardan oluşmaktadır. Öte yandan, depolama sahasına dökülmekte olan evsel atıkların; karışık evsel atık olma ihtimali, yerleşim yerinin coğrafi konumu ve sosyo ekonomik yapısı ile ilgili olduğu kadar, depolama sahasını kontrol eden belediyenin, atık toplama, geri dönüştürme stratejilerinin etkinliği ile orantılıdır. Bu nedenle, depolama sahasına dökülen atıkların içerisinde, pazaryeri ve bahçe atıklarının, geri dönüşümü yapılmayan/kazanılamayan ambalaj atıkları, gazete dergi vb kâğıtları, plastik, metal ambalajların da olabileceği hesaba katılmaktadır.

b) İri Katı Atıklar: Hacmi ve boyutları bakımından özel işleme tabi tutulması gerekli mobilya ve ev gereçleri vb. atıklardır.

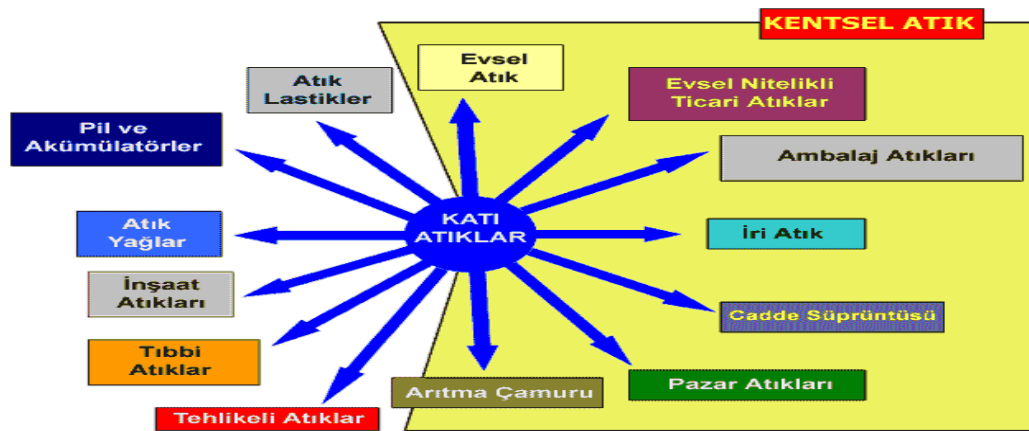
c) Endüstriyel ve İnşaat Katı Atıkları: İnşai ve endüstriyel faaliyetler sonucu ortaya çıkan atıklardır.

e) Belediye Faaliyetleri ile İlgili Atıklar: Sokak süprüntüleri, park bahçe ve plajlardan toplanan atıklar, araba hurdaları, hayvan ölüleri, su arıtma tesislerinden ortaya çıkan çamurlar bu özelliindedir.

f) Özel Atıklar: Uzaklaştırılması özel önem taşıyan atıklardır. Öncelikle radyoaktif atıklar, tehlikeli endüstriyel atıklar, pil ve akümülatörler ve hastane atıkları özel atıklar grubu içinde değerlendirilir.

g) Tarımsal Atıklar: Tarımsal işlevler (Ziraat, hayvancılık, ormancılık) sonucu oluşan atıklardır. [10]

KKA sınıflandırılması, genel ve ayrıntılı şekilde, Şekil 2.1 ve 2.2’de gösterilmiştir:



Şekil 2.1: Kentsel katı atıkların sınıflaması [11].



Şekil 2.2: Kentsel atıkların ayrıntılı dökümü [11].

### 2.3 Sürdürülebilir katı atık yönetimi

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın; Atık Yönetimi Yönetmeliği'ne göre Atık yönetimi: Atığın oluşumunun önlenmesi, kaynağında azaltılması, yeniden kullanılması, özelliğine ve türüne göre ayrılması, biriktirilmesi, toplanması, geçici depolanması, taşınması, ara depolanması, geri dönüşümü, enerji geri kazanımı dâhil geri kazanılması, bertarafı, bertaraf işlemleri sonrası izlenmesi, kontrolü ve denetimi faaliyetlerini" tanımlamaktadır [3].

Katı atıklar hem şehir yönetimleri için hem de sera gazı salınımı için önemli bir sorundur. Her bir kilogram atık, ister toplanıp çöp sahasına gönderilsin isterse de insineratörde yakılsın; sera gazı üretir. "Sürdürülebilir Katı Atık Yönetimi" yapmak ve bunun için de bir "eylem planı" geliştirme gereklidir.

Geliştirilecek eylem planları konusunda, yurtiçi ve dışında yapılmış olan çalışmalar ve edinilmiş olan tecrübeler dikkate alındığında, başarılı uygulamalar yapılabilmektedir. Eylem planlarında yer alan yeniden kullanım ve geri dönüşüm herhangi bir faaliyet sonucunda; atıktan yeni ürün elde edilmesinde kullanılan veya üretim sonucu başka maddelere dönüşebilen maddeler için "artık" tanımlaması yapılabilirken; katı atıklardan, geri kazanıldıktan sonra günümüz teknolojisinin tekrar geri kazanmaya müsaade etmediği kalan kısımlar atık kapsamına girmektedir [10].



### 2.3.1 Katı atık yönetiminin hiyerarşisi

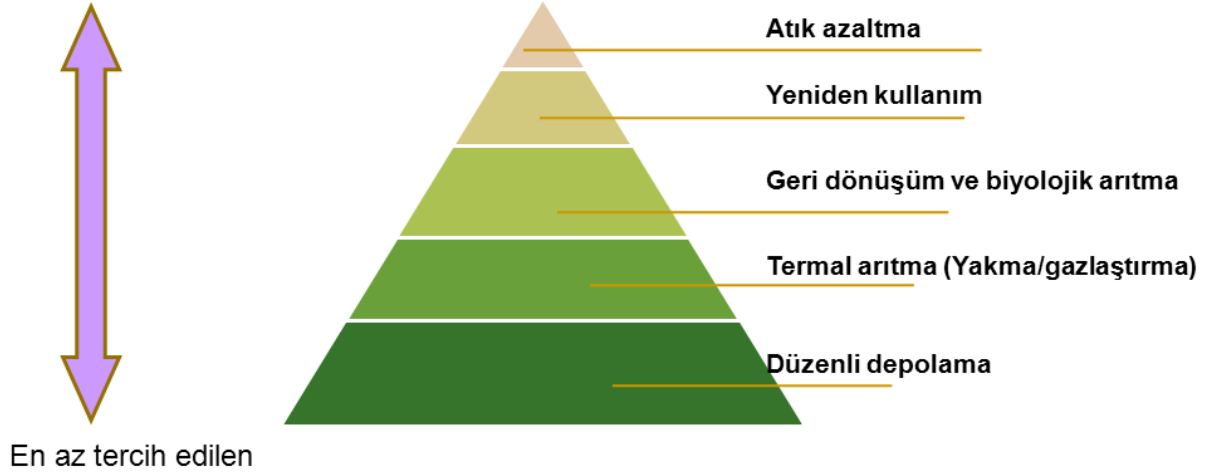
Katı atık yönetimi sistemi, aşağıdaki uygulama metotlarının hepsini veya bir kısmını içermektedir: [10]

- Katı atıkların kaynağında en aza indirilmesi
- Geri kazanım ve yeniden kullanma, kompostlama
- Enerji kazanımı için yakma ve benzeri termal yöntemler

Katı atıkların yönetim hiyerarşisi Şekil 2.3’de şematik olarak gösterilmektedir:

Depolama

En çok tercih edilen



Şekil 2.3: Katı atık yönetimi hiyerarşisi [10].

### 2.3.2 Katı atıkların minimizasyonu, bertarafı ve uzaklaştırma yöntemleri:

Katı Atık Yönetim Sistemleri; bölgesel planlama içermeli, esnek olmalı, ekonomik değer oluşturabilmelidir.

Katı atıkların kaynağında en aza indirilmesi; Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın: "Atık Yönetimi Yönetmeliği"ne göre, ürünlerin yeniden kullanılması veya kullanım ömürlerinin uzatılması ile atık miktarının azaltılması ile ürün üretiminde zararlı maddelerin azaltımı ve üretilen atığın çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin en aza indirilmesine ilişkin, herhangi bir madde ya da malzeme atık haline gelmeden önce alınacak tedbirleri almak katı atıkların önlenmesi olarak tarif edilmektedir [3].

Maddelerin yeniden kullanımında, maddelerin veya ürünlerin, daha atık üretilmeden

önlenmesini veya en aza indirilmesini sağlayacak tasarım, paketlenme ve üretim süreçlerindeki herhangi bir değişiklik şeklinde açıklanmaktadır.

Atıkların kaynağında azaltımı kirliliği önleyici yönüyle çevresel maliyetlerin azalması yönüyle ekonomik özellik taşımaktadır. Bu yönetimin başarıyla uygulanabilmesi için yapılması gerekenler:

- Tüketicileri bilinçlendirici eğitim programları
- Tüketicilerin atık uzaklaştırımı ile ilgili alışkanlıkların değiştirilmesi
- Üretici firmaların geri kazanımı özendirici üretim için teşviği

Bu, çevresel anlamda en önemli ve tercih edilen metottur ve göreceli olarak düşük maliyetlidir. Sakıncaları:

- Alışkanlıkların geçici veya sürekli değiştirme esasına dayanması çeşitli zorluklar doğurur.
- Bu yöntemle kazanılmış faydaların ölçümü karmaşık ve zor olabilir. Ancak uzun dönemde ve yasal düzenlemelerle gerçekleştirilebilir [10].

Yönetmelikte, bertaraf; ikincil amacı enerji geri kazanımı olsa dahi geri kazanım olarak kabul edilmeyen ve yönetmelik Ek-2/A'da yer alan işlemlerden herhangi biri" olarak tanımlanır.

Geri kazanım ise; piyasada ya da bir tesiste kullanılan maddelerin yerine ikame edilmek üzere, atıkların faydalı bir amaç için kullanıma hazır hale getirilmesinde yer alan ve yönetmelik ek-2/B'de listelenen işlemleri tarif etmektedir [3].

Bu çerçevede, bizim konumuz olan geri kazanım; tekrar kullanım ve geri dönüşüm kavramlarını da kapsayan; atıkların özelliklerinden yararlanarak içindeki bileşenleri fiziksel, kimyasal veya biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere veya enerjiye çevrilmesini anlatmaktadır.

Öncelikle katı atıklarda ön ayrıştırma yapılması faydalı ve gereklidir. Ön ayrıştırma sistemindeki ayrıştırma yöntemleri sayesinde, geri dönüşümde kullanılmak üzere, aşağıdaki ürünleri elde etmek mümkündür:

- Metaller ve metal içeren cihazlar, cam, taş, tuğla, beton, gibi malzemeler sistemde ayrıştırılarak farklı şekilde değerlendirilirler,
- Organik atıklar, kompost yapımı için kullanılabilir.
- Geri kazanıma tabi tutulanların dışında kalan kâğıt, folyo ve tekstil atıkları,

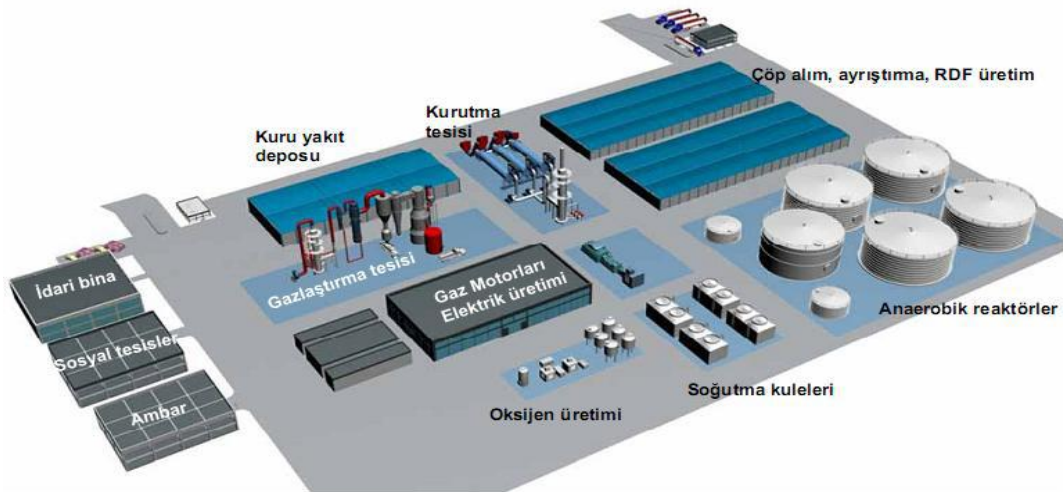
plastik kartonlar, mukavva, ağaç, tahta, odun, kauçuk, sert plastik, plastik kaplar, plastik şişeler uygun tanecik boyutunda kırıldıktan sonra sıkıştırılarak (pellet) gazlaştırma işlemi için hazır hale getirilirler.

- Kompostlama; organik katı atıkların oksijenli ortamda ayrıştırılmasıyla yüksek ve verimli toprak düzenleyicisi gübrenin ortaya çıkarılması işlemidir.

Enerji kazanım için termal yöntemler (yakma, gazlaştırma, piroliz) kullanılarak; buhar veya elektrik enerjisi elde etmek amacıyla kentsel katı atıkların kontrollü şekilde yakılarak bertaraf edilir. Bu yöntemle katı atıklar, hacimce %90, ağırlık bakımından %75 oranında azaltılabilir. Düzenli depolama ile depogazı elde edilerek ısı ve elektrik enerjisi elde edilebilir [10]. KKA yönetiminde bertarafında kullanılan yöntemler ve ürün çıktıları aşağıda Şekil 2.4’de, bu yöntemlerin uygulandığı örnek bir tesisin çizimi ise Şekil 2.5’de gösterilmektedir:



Şekil 2.4: Katı atık yönetimine kullanılan teknolojiler [10].



Şekil 2.5: Örnek bir entegre katı atık yönetimi tesisi [10].

### **2.3.3 Entegre katı atık yönetiminde sorumluluk:**

Entegre katı atık yönetiminde sorumluluk, örgütsel ve bireysel olarak tüm aktörlerindir. Başta merkezi yönetim, ilgili bakanlıklar, yerel yönetimler, iş çevreleri, çıkar grupları, meslek örgütleri, sivil toplum örgütleri ve bireyler hep birlikte sorumluluk sahibidir. Çevreye duyarlı programlar oluşturan ve destekleyen yönetimler ile çevreci programlara katılmak, alışageldikleri ve çevreci olmayan tüketim ve atıkların uzaklaştırımı alışkanlıklarını değiştirmek herkesin sorumluluğudur. [10]

### **2.3.4 Katı atık yönetimi ile ilgili sorunlar ve zorluklar:**

Evsel katı atıkların miktarının çok yüksek olması ve içeriğinin sanayileşmiş toplumlarda üretilen ürünlere bağlı olarak heterojen olması nedeniyle bertarafı zor ve karmaşık görülmektedir.

Evsel katı atıklar nüfusun yoğun olduğu yerlerde daha fazla üretilmeleri ve kaynaktan ayrılmamaları nedeniyle bertarafı zorlaşmaktadır [5].

Türkiye’de, günde, kişi başına yaklaşık 1 kg evsel katı atık üretilmektedir. Evsel katı atık miktarının yaklaşık % 50’sini organik atıklar, % 25’ini geri dönüşüme uygun maddeler ve % 25’lik kısmı değerlendirilemez atıklardan oluşmaktadır. Genellikle karışık olarak toplanan atıklar düzensiz olarak depolama alanlarına taşınmakta, burada değerlendirilebilir olanları çok basit ve sağlıksız şartlar altında, satılmak amacıyla ayrılmakta, kalan organik atıklar ve değerlendirilemeyen atıklar ise depolanmaktadır [12].

Düzensiz depolama sonucu yeraltı ve yüzey suları kirlenmekte, kötü kokulara, sera etkisine, yangınlara neden olmaktadır. Atıklar, sinek üremesi gibi problemler ortaya çıkararak burada beslenen kuş ve diğer hayvanlar bulaşıcı hastalıkların yayılmasına neden olmaktadır [13]. Katı atıkların içeriğinin farklı olması bazen parçalanma proseslerinde avantaj sağlamaktadır. Farklı kaynaklı organik atıkların birlikte çürütülmesinin yararları vardır [14].

### **2.3.5 Katı atıkların geri kazanımı**

Çevre kirliliğinin ana sebeplerinden biri, katı atıklardır. Katı atıkların özellikle toprağa zarar vermemesi için düzenli şekilde bertaraf edilmesi gerekmektedir. Önceki yıllarda katı atıkların bertaraf yöntemlerinden çevreye en az zarar veren

yöntemlerin araştırılması ve mevcut tesislerin geliştirilmesi üzerine çalışmalar yapılmaktaydı. Günümüzde ise, katı atıkların geri dönüşümü ve katı atıklardan enerji elde edilmesi çalışmaları önem kazanmaktadır.

Avrupa Birliği uyum yasaları ve Tübitak'ın 2023 yılına yönelik enerji vizyonu göz önünde bulundurularak, özellikle kırsal kesimlerde, enerji üretiminde metan gazı payının arttırılmasına yönelik, teşvik projeleri uygulanmaktadır [10].

- Çöp toplama alanlarından elde edilen depogazı ile elektrik ve ısı elde edilmesi,
- Geri dönüşüm tesislerinde, atıklardan elde edilen yakıtlardan elektrik elde edilmesi,
- Termokimyasal yollar yani; yakma, gazlaştırma ve piroliz metotları elektrik elde edilmesi
- Fermantasyon ve anaerobik çürütme (biyometanizasyon) metotları ile elde edilen gazlardan elektrik elde edilmesi

### **2.3.5.1 Termokimyasal yollar**

Sürdürülebilir atık yönetimi yatırımlarının artması, enerji geri kazanım ve çevresel etkiler sebebiyle, termal teknolojilere olan yatırım artmış ve özellikle de yeni çalışmalar gazlaştırma ve piroliz üzerine odaklanmıştır. Tüm bu sistemlerin uygulamasında ilk aşama katı atıkların ayrıştırılmasıdır.

Ayrıştırma tesisleri, gelişmiş ülkelerde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Ön ayrıştırma sistemi, evsel atıkların ve endüstriyel atıklarının ayrılabilen kısımlarının geri kazanılmasını, geri kalanın da yakma işlemine uygun katı yakıt briketleri haline getirilmesini kapsamaktadır.

Atıklar, genel olarak önce bir ön tasniften geçerek, çok kaba kısımlar depolama sahasına gönderilmek üzere ayrılırlar. Diğerleri, eğer evsel atıklar söz konusu ise; bir poşet açıcudan geçerek, demir içeren malzemeler, ön gözlem yapılarak, el ile ayrılabilir maddeler, kayar bant üzerinde ayrıştırılırlar.

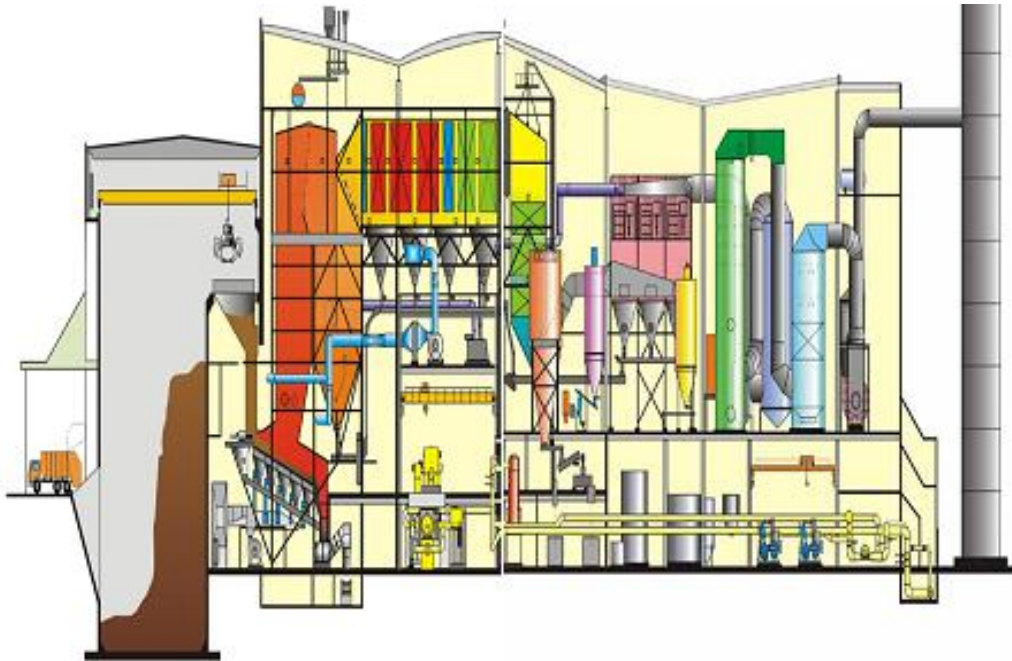
Sonra, ön kırıcıda kaba kırılma işlemi yapılır. Sonra, eleğe gelen malzemeler içerisinde organik içerikli olanlar kompost hattına ayrılır. Gerisi, içindeki ayrılacak malzemeleri bir ileri sınıflandırmaya tabi tutmak için balistik seperatörden geçirilir. Balistik seperatörde ayırma işlemi sırasında ayrılan malzemeler:

1. Küçük boyutlu, sert ve kübik şekilli malzemeler (Sert plastik, cam, çakıl, taş vb.) prosesin en başında, boyutuna ve cinsine göre ayrıştırılabilir. Böylelikle bunların, sonraki işlemlerde, ekipmana zarar vermesi önlenmiş olur).
2. Eleklerden geçen, belirli tanecik boyutundan daha küçük malzemeler (kalan organik malzemeler kompost tesisine ayrılırlar )
3. Düz ve yumuşak malzemeler pellet üretimine gönderilirler.

### 2.3.5.2 Doğrudan yakma

Dünya genelinde, atıktan enerji üretiminin yaklaşık % 90'ı yakma işlemi ile gerçekleştirilmektedir. Ancak, yüksek yatırım maliyeti, büyük karbon ayak izi ve CO<sub>2</sub> salınımı, yakma işleminin ayrıca yönetilmesi gereken kül artıkları ve baca gazı arıtımının yüksek işletme maliyeti sebebiyle tartışılmaktadır.

Atıktan enerji üretim tesislerinden çoğu, gerek geri dönüştürülemeyen kentsel katı atıkların, gerekse de bu yöntem için uygun görülen diğer endüstriyel veya ticari atıkların yakılması için tasarlanmıştır. Bu tesislerde aynı zamanda enerji geri kazanılır, yakma işleminde oluşan gazlar da temizlenir. KKA yakma tesisi örneği Şekil 2.4'de gösterilmektedir:



Şekil 2.6: Örnek bir entegre katı atık yakma tesisi [10].

Aşamaları:

1. Atık yakma
1. Yakma ızgarası, atıkları yakma odasının içinden geçirir. Böylece atıklar karıştırılıp tamamen yanar. Yanmayan malzemeler ise yakma ızgarasının sonunda taban külü olarak artakalır. Bu taban külü içindeki metal parçalar ve yapı malzemeleri alınarak geri dönüşüm döngüsüne dahil edilir. Böylece hammadde tasarrufuna önemli bir katkı sağlanmış olur.
2. Enerji geri kazanımı
3. Kazan, atıklarda saklı olan enerjinin % 80'inden fazlasının geri kazanılmasını sağlayarak atıkları buhar şeklinde kullanılabilir hale getirir.
4. Baca gazının temizlenmesi
5. Tesislerde uygulanan ileri teknoloji prosesleri sayesinde, atıkların içerdiği ve yakma işlemi sırasında baca gazına geçen tüm zararlı maddeler verimli, sürdürülebilir ve güvenilir bir şekilde elimine edilir.
4. Enerji kazanımı (Örneğin; türbin, ısı pompası)
6. Geri kazanılan enerjinin elektrik ve/veya ısı enerjisi (Örneğin; merkezi ısıtma ve soğutma, endüstriyel prosesler) olarak kullanılması mümkündür. Atıkların karbon nötr fraksiyonundan elde edildiği için enerjinin neredeyse yarısı yenilenebilir enerjidir [10].

### **2.3.5.3 Piroliz**

Piroliz, organik maddelerin oksijensiz ortamda ısıtılarak gaz, katı veya sıvı ürünlere dönüşmesi işlemidir. Organik maddeler, tamamen oksijensiz ortamda ve yüksek sıcaklıklarda (300 – 700 °C) bozularak, elde edilen sıvı ve gaz ürünlerden elektrik üretilir. Piroliz hava yokluğunda gerçekleşir ve gazlaştırmadaki gibi hava ile kontrollü bir yanma içermez. Böylece, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub> ve diğer yakıt gazları dışında bir emisyon üretilmez.

Pirolizin aşamaları: Atık hazırlama> Piroliz> İyileştirme> Elektrik üretimi

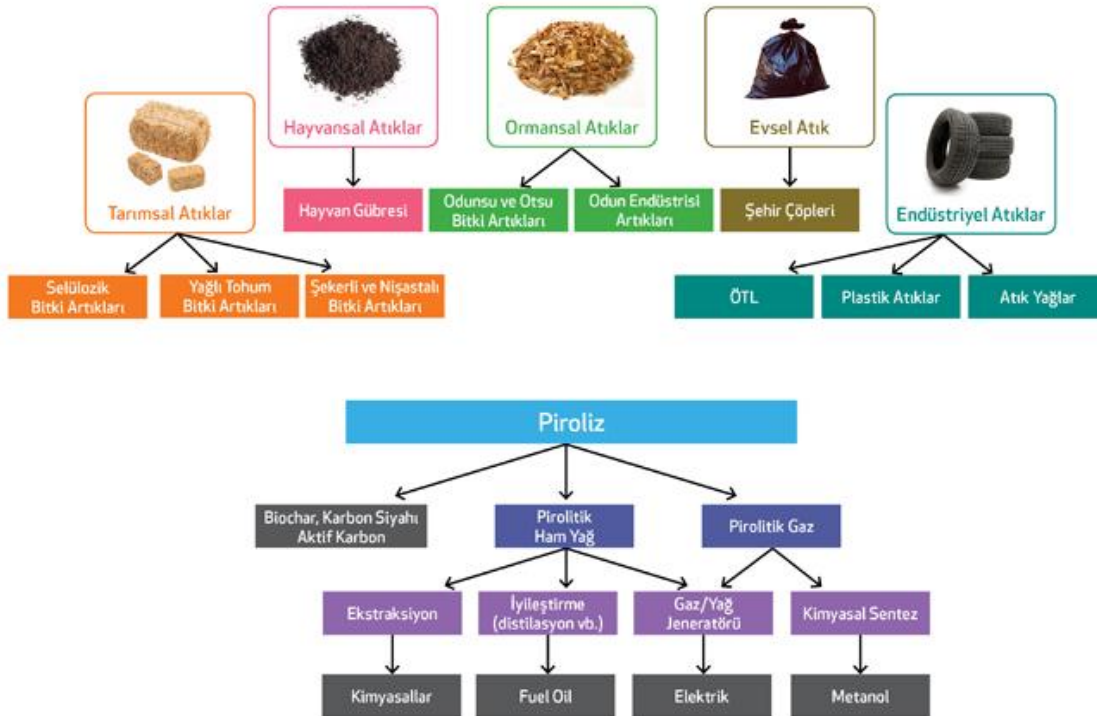
Elde edilen ürünler, karbon içeriği bakımından zengin olan katı ürünler ve yoğunlaşabilen veya gaz olarak alınan uçuculardır. Ürün miktarı, atık hammaddesine ve uygulanan koşullara göre farklılık gösterir. İşlem sonucu biriken katı ürünler ise;

karbonca zengin olup; sanayide ve tarımda kullanım alanları vardır.

Pirolizin avantajları:

- Yenilenebilir enerji hedeflerini karşılamaya uygun bir teknolojidir ve Kyoto taahhütlerini yerine getirmeye katkı sağlar.
- Proses parametrelerinin kontrolü ile çıktı, istenilen oranda değiştirilebilir ve atık hammaddesinin tümü katma değeri olan ürünlere dönüşür.
- Gaz/yağ motor veya türbinlerinde kullanılabilir ve elektrik üretebilecek, yüksek kalorifik değerde üretilir. Sistem, kendi ürettiği gaz ile ısıtılarak, işletme gideri düşürülür.
- Proseste kimyasal katkı maddesi kullanılmadığından; çevre dostu bir teknolojidir.
- Kirlilik kontrol üniteleri ve arıtma tesisleri yakmaya göre daha ucuzdur. Emisyon gazlarının hacmi daha azdır.
- Piroliz tesisleri inşası kolay modüler tesislerdir. Tesislerin sermaye yatırımı ve işletme maliyetleri yakma tesislerine oranla düşüktür.

Şekil 2.7’de, piroliz yöntemine hammadde teşkil eden malzemeler ve piroliz yönteminin çıktıları görülmektedir [10].



Şekil 2.7: Piroliz yöntemi akış şeması [10].



#### 2.3.5.4 Gazlaştırma

Gazlaştırma, karbon içeren katı veya sıvı bir malzemenin bir gazlaştırma ajanı ile yanabilir gaz ürünlere termo-kimyasal dönüşümüdür.

Gazlaştırma prosesinde, önce biyokütle kurutulur, yakıtın nemi buhara dönüştürülerek uzaklaştırılır. Birçok biyokütle kaynağı gazlaştırmaya uygun olmasına rağmen, gazlaştırmaya uygun olması için ideal olarak hammaddenin nem içeriği % 5 - 35 aralığında olmalıdır. Kuru biyokütle daha sonra 700 °C'nin üzerinde ısıtılarak gazlaştırılır.

Yüksek sıcaklık biyokütlenin kimyasal yapısını değiştirir ve gazlaştırma ajanı hammaddenin farklı heterojen reaksiyonlarla hızlı bir şekilde gaza dönüşmesini sağlar. Karbonca zengin sentetik gaz CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O, iz miktarda ağır hidrokarbonlar, gazlaştırma ajanındaki inert gazlar, küçük karbon granülleri, kül ve katran gibi çeşitli kirlilikler içerir.

Gaz, temizlendikten sonra kazanlarda, motorlarda, türbinlerde ısı ve güç üretilmek üzere kullanılmaktadır. Gazlaştırma tekniği ile biyokütleden, yüksek bir randımanla petrole çalışan güç ve ısı sağlayan tribünlerde kullanılacak gaz yakıt elde edilebilir.

Biyokütleden gazlaştırılma ile elde edilen temizlenmiş gaz yakıt ısı ve buhar üreten kazanlarda direk yakılabildiği gibi, gaz motorlarında % 20 - 30, basınçlı gazlaştırma tribünlerinde ise % 40 veya daha fazla verimlilikte elektrik üretimi yapılabilmektedir.

Gazlaştırma teknolojisinin amacı, üretim ve kullanım sırasında emisyonları azaltırken, yakıtın yoğunluğunu artırmaktır. Gazlaştırma, yakma ile kıyaslandığında, atık bertarafı için çevre dostu ve modern bir seçenektir, çünkü gaz temizlendiği için; NO<sub>x</sub> ve SO<sub>x</sub> gibi kirleticilerin salınım miktarı daha azdır. Üstelik gazlaştırma, yakmaya kıyasla daha kısıtlı oksijen miktarı sebebiyle daha düşük baca gazı hacmine sahiptir.

Katı yakıtın kullanımına göre gazlaştırıcılar sabit yatak, akışkan yatak ve entegre yatak şeklinde sınıflandırılabilir.

Katı yakıtlardan elde edilen fakirgaz türü, sentez gazı, syngaz, havagazı, şehirgazı isimleri verilen yanıcı gaz üretimi, gazlaşma olarak bilinen bir kimyasal işlemdir. Kapsamlı bir tanımlama ile gazlaştırmanın karbon ve hidrojen içerikli katı atığın uygun ısıtma değeri olan gaz ürüne dönüştürülmesi işlemidir.

Evsel ve endüstriyel katı atıkları gazlaştıran tesislere örnekler; İtalya, İsviçre, Japonya, Almanya, ABD vb.ülkelerde mevcuttur.

Endüstriyel katı atıklar uygun ısıl değere sahiplerse gazlaştırılabilirler. Katı atıklar ortalama olarak % 50 - 60 C, % 7 - 8 H, % 25-30 O, % 1 N, % 0,5 S içermektedir.

Gazlaştırma prosesi; 800-1300 °C arasında meydana gelir. Sıcaklığı, malzeme özelliklerine bağlıdır.

Singaz, yapay doğalgazın ingilizce kısaltılmışıdır (Synthetic Natural Gas-SNG). Değişik miktarlarda hidrojen ve karbonmonoksit içeren bir gaz karışımına verilen addır.

Singaz, anaerobik çürütme (biyometanizasyon) ile üretilen biyogazla karşılaştırıldığında daha yüksek kalorifik değere sahiptir ve gaz motorları ve tribünlerinde daha iyi yanar.

Bu gaz farklı oranlarda yanıcı komponent olarak metan, hidrojen ve karbonmonoksit ve bunların yanı sıra oksijen, azot ve su içerir.

Gazlaştırılacak katı atıkları, önce uygun tane boyutuna getirmek gerekir. Gazlaştırma işlemi birkaç basamakta oluşur:

Katı atıktaki suyun uzaklaştırılması, ön işlemdir. Genellikle % 10-15 su içeren katı atık; gazlaştırıcı içerisinde suyunu buhar fazına geçirir. Bu kuruma işleminden sonra piroliz, indirgenme, yanma ve benzeri reaksiyonlarına uğrar. İçerisinde % 35'den daha fazla su bulunan katı atık termokimyasal dönüşümle elektrik üretimi için uygun değildir. Gazlaştırma için % 8 - 15 arası nem oranı uygun olup, 3 - 5 cm arası parça boyutu, ideal olarak kabul edilir. Katı atık içerisindeki su, gazlaştırma reaksiyonlarından biri olan, su buharı reaksiyonuna gerekli olan su buharını üretmek üzere kullanılır ve bu reaksiyon oldukça önemlidir.

Gazlaştırma işleminin başlayabilmesi için katı atık içerisindeki karbon elementinin bir kısmı yakılarak, önce suyun buhar fazına geçmesi, sonra piroliz fazına ulaşması ve daha sonra da gazlaşma reaksiyon sıcaklıklarına yükselmesini sağlamaktadır. Gazlaştırıcı içerisinde oluşan reaksiyonlarını sırası ile aşağıdaki şekildedir:

Kuruma; suyun buharlaşması, piroliz, indirgeme (gazlaştırma), yanma reaksiyonları.

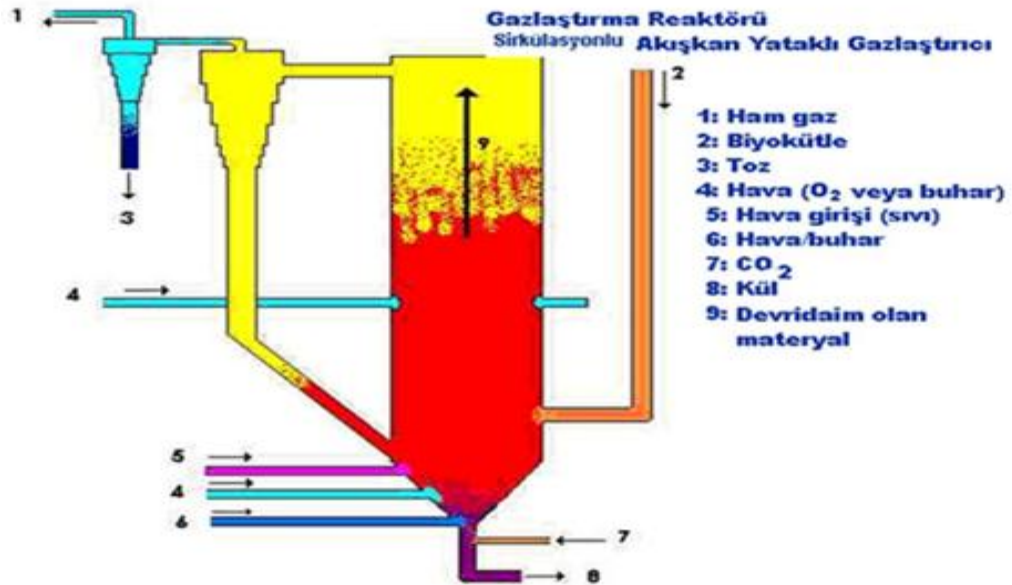
Gazlaştırma işleminin başlayabilmesi için katı atığın içerisindeki karbon elementinin bir kısmı yakılarak gazlaştırıcının ihtiyacı olan enerjinin elde edilmesi gerekir. Ön

yanma enerjisi, karbonsu maddeleri piroliz fazına ulaşmasını ve daha sonrada gazlaşma reaksiyon sıcaklıklarına yükselmesini sağlanmaktadır.

Üretilen syngaz, şehir gazına çok benzerdir ve elektrik üretiminde, kimya, gübre fabrikalarında kullanılabilir.

Singaz daha yüksek sıcaklıklarda yandığından, daha yüksek elektrik verimine sahiptir. Singaz, kojenerasyon tesislerinde buhar türbinleri ile elde edilen verimlerden daha yüksek bir verimde gaz türbinleri ya da motorlarında yanabilmektedir.

Gazlaştırma sonucu oluşan yan ürünler, genellikle, inert/tehlikesiz olup, stabilizasyon veya yol iyileştirme malzemesi gibi kullanılabilir. Girdi malzemenin % 80'i singaza dönüştürülür. Geleneksel kömür yakma gazlaştırması ile karşılaştırıldığında elektrik üretiminde birim enerji başına; % 50 daha az CO<sub>2</sub>, % 10 daha az NO<sub>x</sub> ve % 90 daha az SO<sub>x</sub> emisyon avantajı sağlar [10]. Şekil 2.8'de, akışkan yataklı reaktörüne ait işlem ve sistem şematik halde görülmektedir:



Şekil 2.8: Gazlaştırma yöntemi prensip şeması [10].

### 2.3.5.5 Depolama alanlarından depo gazı enerjisi elde edilmesi

Depo gazından enerji elde edilmesi aşağıdaki safhalardan meydana gelmektedir:

- Depo gazının toplanması: Gaz toplama bacaları, kuyuları ve boru hatları ile gazın toplanması,



kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bunlardan en yaygın olanı gaz motorları kullanılarak elektrik üretimi veya kojenerasyondur. Gaz türbinleri ancak 3 MW'ın üstünde kullanılabilir. Ayrıca gazın debisinin zamanla azalması nedeniyle birden fazla gaz motoru kullanılarak üretim yapılması daha yaygın bir uygulamadır. Böylece gaz debisi düştüğü zaman motorun başka bir sahaya taşınması mümkün olur. Buhar türbini, gaz debisinin 8 - 9 MW'lık sistemleri desteklediği büyük depolama sahalarında uygulanabilir. Buhar türbin sistemleri içten yanmalı motorlardan veya gaz türbinlerinden daha yüksek oranda kW başına maliyete sahiptirler. Bu yüzden pek tercih edilmemektedir. Mikrotürbin uygulaması henüz yaygın olarak kullanılmamaktadır. Depo gazı, önce neminin giderilmesi için bir ön arıtmadan geçirilir. Burada siklon separatorler, filtreler, gaz soğutucu ve ısı değiştiriciler kullanılarak depo gazının nemi ve safsızlıkları giderilir [3].

Yakma: Kentsel katı atıklar hacim azaltılması, istikrar, patojen mikroorganizma giderimi ve enerji elde etmek amacı ile yakılırlar. Yakma teknolojisinin en büyük avantajı ağırlıkça % 75, hacimce % 90 azalma sağlamasıdır. Dezavantajı ise yakma sonucu oluşan baca gazı emisyonlarının hava kirliliğine neden olmasıdır. Baca gazı arıtma sistemleri de maliyeti oldukça yükseltmektedir. Atıklardan yakarak enerji elde etmek için atığın kalorifik değerinin 8.000 – 9.000 kJ/kg olması gerekmektedir. Kentsel katı atıkları yakma sistemleri ön arıtma metodolojisine göre ikiye ayrılır:

- İşlenmemiş katı atık yakma sistemleri
- İşlenmiş katı atık yakma sistemleri

İşlenmemiş katı atık yakma sistemlerinde atık doğrudan fırında yakılır. Başlıca ürün buhar olup; doğrudan veya elektriğe, sıcak suya, soğutma suyuna dönüştürülerek kullanılır. Izgara fırınları, evsel atık için kullanılan en yaygın fırın tipidir. Izgara fırınlarının uygulama alanları oldukça geniştir. Hem kapasitesi < 1 ton/saatten daha düşük olan tesislerde, hem de 50 ton/saatten daha büyük tesislerde kullanılmaktadır.

İşlenmiş katı atığın, yakıt olarak, işlenmemiş katı atığa oranla avantajları vardır. Başlıca faydaları daha yüksek ve sabit kalorifik değer, fiziksel – kimyasal bileşimin homojen olması, transferinin daha kolay olması, yanma esnasında daha az hava fazlası gerektirmesi ve baca gazı emisyonlarının daha az olmasıdır. İşlenmiş katı atık genellikle akışkan yataklı yakma sistemlerinde yakılmaktadır. En basit formda bir akışkan yatak yakma sistemi kum yataklı dikey çelik bir silindir, genellikle refrakter

kaplamalı, destekleyici bir ızgara yüzey ve “tuyeres“ olarak bilinen hava enjeksiyon nozüllerinden oluşur. İşlenmiş atık için yaygın bir uygulama da çimento fabrikalarında ikincil yakıt olarak kullanılmasıdır. Böylece çimento fabrikalarının yakıt maliyeti düşürülmektedir. Giren atıkların kalorifik değerinin % 70'i ilâ % 80'i enerji olarak değerlendirilebilir, geri kalanı, fırının termik ışınları, cüruf ısı, yakılmayan malzeme ve baca gazının ısı kaybı olarak kaybedilir. İşlenmemiş veya işlenmiş katı atık yakılarak oluşan sıcak baca gazlarından iki şekilde enerji geri kazanımı mümkündür:

- Su duvarlı yanma odaları
- Atık ısı kazanları

Isı geri kazanım sistemlerinden sıcak su veya buhar üretilebilir. Sıcak su düşük sıcaklıkta endüstriyel ve lokal ısıtma amaçlı kullanılabilir. Buhar ise çok yönlüdür, ısıtma amaçlı kullanılabilceği gibi elektrik üretimi için de kullanılabilir [4], [7].

Endüstriyel kontamine atıkları doğrudan doğruya yakmaya çalışmak, sadece bir bertaraf yöntemidir. Elbette ki; yakma metodları, hiçbir şekilde, önemli kirleticilerin bertarafını sağlayamaz. Katı atıkların doğrudan yakılması ile bertarafı durumunda; sadece enerji kaynağı olarak ele alınmaması, çevre kirliliğine sebep olduğu da dikkate alınmalıdır. Civa, kadmiyum, krom gibi ağır metallerle, klorlu bileşikler, poliaromatik bileşikler, dioksan, furan, kükürt ve azot oksitleri gibi tehlikeli maddeler yakma işlemleri ile giderilemezler ve yakma işleminde, havaya karışma tehlikesi yaratırlar.

Düşük enerji yoğunluğuna sahip (~1.200–1.500 kcal/kg) katı atıklar, doğrudan yakıldığında, çok düşük yanma verimi sağlar ve hava kirliliği oluşmasına neden olur. Ülkemizin evsel katı atıklarının ortalama su içeriği; % 60 ısıl değeri ortalama 1.500 kcal/kg 'dir.

Gazlaştırma: Gazlaştırma terimi yakıtın stokiometrik hava miktarında daha az havayla yakıldığı kısmi bir yanma prosesini tarif eder. Gazlaştırma prosesi kentsel katı atıkların hacminin azaltılmasında ve enerji geri kazanımı için verimli bir tekniktir. Gazlaştırmanın yakmaya göre en büyük avantajı elektrik üretim veriminin daha iyi olmasıdır. Temel enerji üretimi ise yakmadan daha düşüktür. Gazlaştırma prosesinde atığın kısmi yanması sonucu CO, H<sub>2</sub> ve başta CH<sub>4</sub> olmak üzere bazı doymuş hidrokarbonlardan oluşan yanabilir bir gaz yakıt elde edilir. Elde edilen gaz

daha sonra içten yanmalı motor, gaz türbini ve boylerlerde yakılarak enerji üretilir.

Gazlaştırma sistemlerinde sadece işlenmiş katı atık kullanılmaktadır. Bu yüzden atıkların öncelikle ön arıtma prosesine tabi tutulmaları gerekir. [1]

Anaerobik Çürütme: Anaerobik çürütme çöpün organik kısmının oksijensiz ortamda biyolojik olarak bozunmasıdır. Prosesin başlıca ürünü yaklaşık % 64 CH<sub>4</sub> ve % 35 CO<sub>2</sub>'den oluşan biyogazdır. Geleneksel olarak, anaerobik çürütme prosesi içinde asılı katılar bulunan sıvı atıkların (çiftlik atıklar, atıksular gibi) arıtılmasında kullanılmaktaydı. Ancak daha sonra kentsel katı atıklar üzerinde yapılan çalışmalar sonucu bu proses kullanılarak atıklarda enerji elde edilmesinin ekonomik açıdan elverişli olabileceği görülmüştür.

Bir anaerobik çürütme işlemi, ön arıtma, anaerobik dönüşüm, son arıtma ve sızıntı suyu ve gazların arıtılması aşamalarından oluşur.

Anaerobik çürütme işlemi reaktörlerde gerçekleşir. Anaerobik çürütme atığın içerdiği katı miktarına göre kuru (yüksek katılı) ve ıslak (düşük katılı) prosesler olmak üzere ikiye ayrılır. Ayrıca kesikli-devamlı ve tek aşamalı-çok aşamalı olarak da sınıflandırılırlar.

Kuru proses: Kuru sistemlerde fermante olacak kütlenin katı atık miktarı %20–40 arasında değişmektedir. Sistemin iki önemli avantajı daha az suya gereksinim duyması ve daha yüksek gaz üretimidir. En büyük dezavantajı ise viskozitesi yüksek akımlar için güçlü pompalar özel olarak dizayn edilir. Bu pompaların maliyetleri oldukça yüksektir ve bakımı zordur.

Islak proses: İlk bakışta, ıslak sistem atıksu arıtma tesislerinde üretilen biokatıların anaerobik stabilizasyonu için yıllardır kullanılan teknolojiye benzerliği nedeniyle çekici görünmektedir. Islak sistemde fermante olacak kütlenin katı miktarı %15'ten daha azdır, bu değeri sağlamak için sisteme fazla miktarda su ilavesi yapılır. Islak sistemlerde klasik olarak tam karıştırmalı reaktör kullanılabilir.

Islak sistemlerde eklenen suyun sonucu olarak çok sulandırılmış çürümüş çamur oluşur, bu çamurun bertarafı için susuzlaştırılması gerekir. Susuzlaştırmadan gelen sıvı akımın da arıtılması gereklidir, bu durum sıvı sistemlerin en büyük dezavantajıdır. [16]

Kentsel atıklardan çeşitli bertaraf metotlarına göre ne miktarda elektrik enerjisi elde edilebileceği konusunda veriler Çizelge 2.1 de verilmektedir [10].

**Çizelge 2.1:** Bertaraf metoduna göre evsel katı atığın net enerji potansiyeli [10].

| Bertaraf Metodu    | Elektrik Enerjisi (MWh/ton MSW) |
|--------------------|---------------------------------|
| Doğrudan yakma     | 0,59                            |
| Gazlaştırma        | 0,66                            |
| Piroliz            | 0,66                            |
| Anaerobik Çürütücü | 0,25                            |
| İleri Piroliz      | 1- 1,2                          |

Otomobil lastiği, kontamine olmuş ağaç atığı, tehlikeli kimyasal maddeye bulanmış atık, katran, kontamine olmuş rafineri atığı, petrol atığı, kimyasal çözücü ve boya atığı, zehirli yağ, kimya ve ilaç endüstrisi atığı vb. tehlikeli endüstriyel katı atıklar, uygun gazlaştırıcılarda bertaraf edilebilir. Bu tip atıklar için gazlaştırma yöntemi ile hem bertaraf hem de enerji elde etmek mümkündür.

Katı atıklar; kimyasal içerik ve ısıl değer kapasiteleri olarak kıymetli orta kalite yakıt seviyesindedirler. Arıtma çamuru; karbon, hidrojen, azot, oksijen içerikleri ile evsel katı atık (EKA), katı atıktan hazırlanmış yakıt (RDF), biyokütle atıkları ve linyit ile birlikte karışım halinde gazlaştırılabilirler. Co-gazlaştırma denilen bu teknolojik uygulamalarla uzun yıllardır başarı ile enerji üretimi yapılabilmektedir. Özellikle ısıl kapasite değerleri ve kül erime sıcaklıkları birbirlerine yakın bu tür katı atık ve yakıtlar birlikte gazlaştırmaya uygundur. Isıl değerlerinin 3800 kcal/kg gibi oldukça uygun olması nedeni ile odun artıkları, benzeri biyokütle ve orta kalite linyit sıralamasının arasında kaldığından, kolaylıkla bu tür yakıtlarla gazlaştırılabilirler. [10] Çizelge 2.2’de doğrudan yakma ve gazlaştırma sistemleri arasındaki farklar görülmektedir:

**Çizelge 2.2:** Doğrudan yakma ve gazlaştırma arasındaki karşılaştırma [10].

| GAZLAŞTIRMA   | YAKMA  |
|---|--|
| Syngaz üretiminde sırasında emisyonlar yasal sınırların altındadır.   | Emisyonlar yüksek miktarda sera gazlarını, diğer kirleticileri, dioksin ve furanları içermektedir. |
| Kükürt H <sub>2</sub> S’e dönüştürülür.   | Kükürt SO <sub>2</sub> ’ye dönüştürülür.   |
| Kükürt yakalama: Fiziksel ve kimyasal çözücülerle.  | Baca gazı temizleyicileri, kazana kireç taşı enjeksiyonu ile.                                      |
| N <sub>2</sub> , syngaz içinde NH <sub>3</sub> ’e dönüşür, yakılınca düşük seviyede NO <sub>x</sub> üretilir. | Azot, NO <sub>x</sub> ’e dönüştürülür.   |
| NO <sub>x</sub> kontrolü mevcut düzenlemelerde gerekli değildir.  | NO <sub>x</sub> kontrolü gereklidir.   |
| C,CO içindeki syngaza dönüştürülür.   | C,CO <sub>2</sub> ’ye dönüştürülür.  |
| CO <sub>2</sub> kontrolü: Konsantr akımdan ön yanma ile giderim.  | CO <sub>2</sub> kontrolü: Konsantr akımda son yanma ile giderim.                                   |
| Katı atık, buhar çevrimi, proses için belli miktarda su ihtiyacı  | Buhar çevrimi soğutma suyu için çok fazla su ihtiyacı vardır.                                      |
| Katı atık ve biyokütle enerjisi bol yakıtla dönüştürülmesi  | Tüm girdinin ısıya çevrilmesi  |
| İlk maliyeti biraz fazla, ama uzun vadede daha verimlidir.  | İlk maliyet biraz ucuzdur, ancak, uzun vadede verim düşer.   |



## 2.4 Türkiye’de Evsel Katı Atık Yönetimi

Sadece İstanbul’da; 14.000 ton olmak üzere, Türkiye’de günde yaklaşık 60-70 bin ton çöp üretilmektedir.

2008 yılı için ~ 24,4 milyon ton şehir atığı hesaplanmıştır. Şehir atığının % 15-25’i ambalaj atığı, % 40-70’i organikdir.

Belediye atık istatistiklerine göre; 2010 yılında toplam 25 - 28 milyon ton kentsel katı atık toplanmış olup; toplananın yarısından fazlası (% 54,4) düzenli toplama sahalarına götürülürken % 43,5’i belediye çöplüklerine götürülmüştür.

Kompost tesislerinde bertaraf edilen atık oranı % 0,8 iken, toplam atığın % 1,3’ü diğer yöntemler ile bertaraf edilmiştir.

2010 yılı verilerine göre; Türkiye’de 52 düzenli KKA depolama alanı vardır. Depolama alanı kapasiteleri 423 milyon ton olup; bu alanlara 2010 yılında toplam 14.376.674 ton atık gelmiştir.

Kentsel katı atık depolama tesislerine getirilen atığın % 95’inden fazlası şehir atığı olup; % 4’ü, diğer sektörler tarafından getirilen atıkları, yakma ve kompost tesislerinden getirilen atıkları kapsamaktadır.

2010 yılında, ton kentsel katı atık depolama tesislerinde, 14.309.356 ton atık bertaraf edilmiş, 67.318 ton; satılmış veya hibe edilmiştir.

Belediyelerin, depoladığı atıkların miktarını, 2005’e nisbeten azaltma hedefleri: 2015’e kadar % 75; 2018’e kadar % 50, 2025’e kadar da % 35%’dir.

Türkiye’de 4 tip katı atık bertaraf tesisi bulunmaktadır:

- Düzenli depolama tesisi
- Yakma tesisi
- Kompost tesisi
- Sterilizasyon tesisi

Tübitak’ın 2023 yılı vizyonunda tarif edilen;

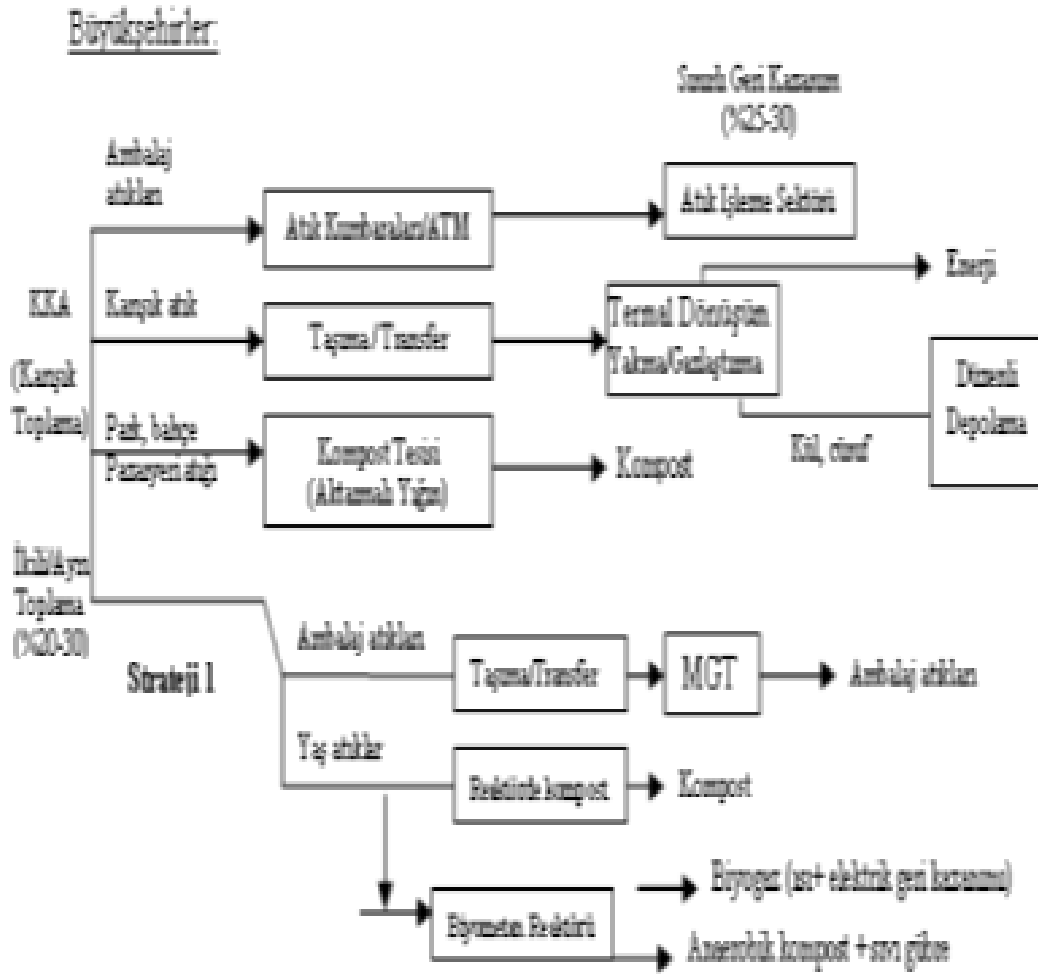
- Ulusal kaynaklara öncelik veren, bu kaynakların aranmasında ve istenen kaliteyle, güvenli ve ekonomik olarak üretiminde ileri teknolojileri kullanan ve geliştirebilen,
- Gereksinim duyduğu enerjiyi, güvenli, ekonomik, verimli ve çevreye duyarlı

teknolojilerle üreten, ileten, depolayan ve kullanan,

- Uluslararası enerji pazarında yarışabilecek enerji teknolojileri geliştirebilen ve uluslararası enerji yatırımlarında etkin rol alabilen,

bir ülke olmak hedefine ulaşmak amacıyla; atıktan enerji elde etmeye yönelik çalışmalar artırılmaktadır [15].

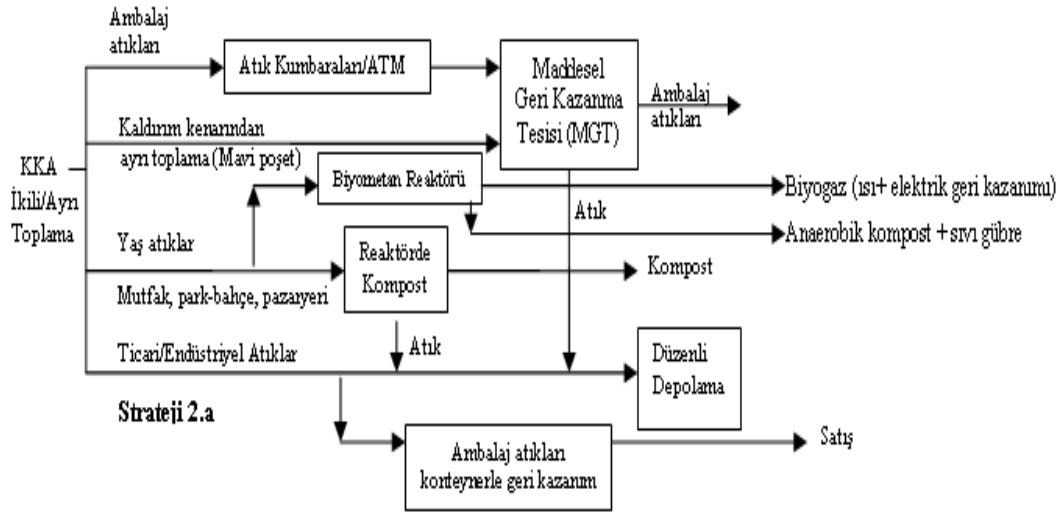
AB uyum çerçevesinde, Türkiye’de büyükşehir belediyelerinde ve küçük şehirler ile kırsal kesimde uygulanacak entegre katı atık yönetiminin şematik gösterimi, Şekil 2.10 ve 2.11’de verilmektedir.



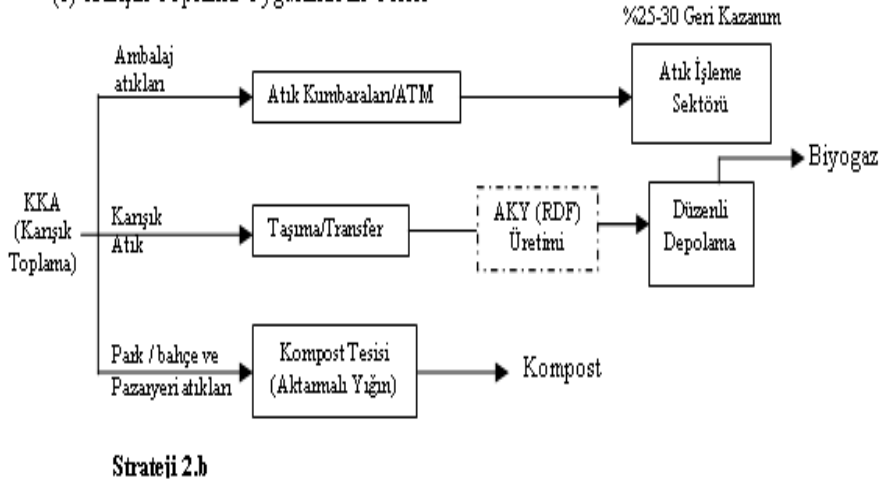
Şekil 2.10: Türkiye’de büyük şehirler entegre KKA yönetim şeması [15].

Diğer Şehirler:

(a) İkili Toplama Uygulanacak Yerler



(b) Karışık Toplama Uygulanacak Yerler



**Şekil 2.11:** Türkiye’de şehirler ve kırsal için entegre KKA yönetim şeması [15].

Çizelge 2.3’de görüleceği üzere; ülkemizdeki yaşam kalitesine bağlı olarak, evsel katı atıkların; % 60 - 65’ini organik atıklar, kalan kısmını ise kâğıt, karton, tekstil, plastik, deri, metal, ağaç, cam ve kül gibi maddeler oluşturmaktadır.

**Çizelge 2.3:** Türkiye’de evsel kaynaklı atık kompozisyonu, % [15].

| Atığın Bileşenleri             | Şehir Alanları | Kasaba Alanları | Kırsal Alanlar |
|--------------------------------|----------------|-----------------|----------------|
| Kağıt                          | 8              | 6               | 4              |
| Karton                         | 5              | 4               | 3              |
| Plastik                        | 10             | 8               | 5              |
| Metal                          | 4              | 3               | 2              |
| Yiyecek ve bahçe atığı         | 50             | 55              | 60             |
| Cam                            | 4              | 3               | 2              |
| Evsel tehlikeli atıklar        | 0,5            | 0,5             | 0,5            |
| Yanıcı olmayan kalıntı atıklar | 13             | 16              | 20             |
| Yanıcı kalıntı atıklar         | 5,5            | 4,5             | 3,5            |



### **3. KATI ATIK DEPOLAMA ALANLARI ve DEPO GAZI**

#### **3.1 Düzenli Depolama**

Atıkların arazide depolanması, atık bertaraf yöntemlerinin en eskisi ve en çok kullanılanıdır.

Katı atıkların araziye gelişigüzel atılması, sızıntı suyu ve oluşan gazın kontrolünün yapılmaması vahşi depolama olarak tanımlanmaktadır.

Düzenli depolama ise; basit olarak katı atıkların, sızdırmazlığı sağlanmış büyük alanlara dökülmesi, sıkıştırılması ve üzerinin örtülerek tabii biyolojik reaktör haline getirilmesi olarak tanımlanabilir. Düzenli depolamada sızıntı suyu, depolama alanı gaz emisyonları, çöplerin dağılımı ve koku kontrolünün kolaylaştırılması için sahanın mühendisliğinin yapılmış olması gerekmektedir.

Katı atıkların çevreye vereceği bu zararı önlemek için taban kaplaması, günlük örtü tabakası, üst kaplamalar, yüzeysel drenaj, sızıntı suyu drenajı ve depo gazı kontrol elemanlarının olması gerekir.

Depolama sahasında biriken kentsel katı atıkların bozunması sonucu, başlıca metan ve karbondioksitten meydana gelen depo gazı oluşur.

#### **3.2 Depo Gazı**

Depo gazı, katı atık depo alanlarından elde edilen gazdır. Çöp depolama alanındaki organik materyallerin çürümesi sonucu oluşan bu gazın toplanabilmesi için, depo mahallinin örtü tabakası ile kapatılmasının ardından, oluşan gazları teknolojik ekipman ile toplayarak ve istenen enerji türüne (ısı, mekanik, elektrik) çevirerek, ekonomik bir değer haline getirilmesi mümkündür.

Gazın % 50'sinden fazlası metandır. Metan gazının çevre için çok zararlı bir gaz olması, bu yöntemin önemini daha da arttırmaktadır. Metanın diğer gazlarla karşılaştırıldığında, atmosfere verdiği zararın 21 kat fazla olduğu hesaplanmıştır. Katı atık depolama alanları, dünyada oluşan metan emisyonlarının % 25'inden fazlasını teşkil etmektedir.

Çevreye yayılarak patlamalara, zehirlenmelere sebep olabilecek depo gazının yatay veya düşey gaz toplama sistemi ile toplanıp meşalelerde (Flare) yakılması veya enerji üretmek suretiyle değerlendirilmesi gerekir.

Depo gazının en önemli özelliği metan içeriğinden dolayı enerji değeridir. Ortalama alt kalorifik değer metre küp başına 19.750 kJ'dur. Depolama sahası kapatıldıktan sonra, uygun teknoloji kullanılarak depo gazından enerji elde etmek mümkündür.

1 milyon ton çöpün ayrışması sonucu yaklaşık 510 m<sup>3</sup> / gün depo gazı geri kazanılabilir. Bu da yaklaşık 800 kW elektrik üretimi için yeterlidir.

Depo gazından enerji üretim tesisinin ömrü 10 - 20 yıl arasında değişmektedir. Depolama sahası yaşlandıkça zaman içinde gaz oluşum hızı kademeli olarak düşer. Kümülatif gaz üretimi ise tepe noktaya ulaştıktan sonra stabil hale gelir.

Bir depo gazı geri kazanım projesi yapmadan önce mevcut ve gelecekteki potansiyel depo gazının miktarı isabetli tahmin edilmelidir. Toplanan gazın miktarı; dökülen atık miktarına, atığın özelliklerine, tesisin ve toplama sisteminin tasarımı gibi birçok faktöre bağlıdır.

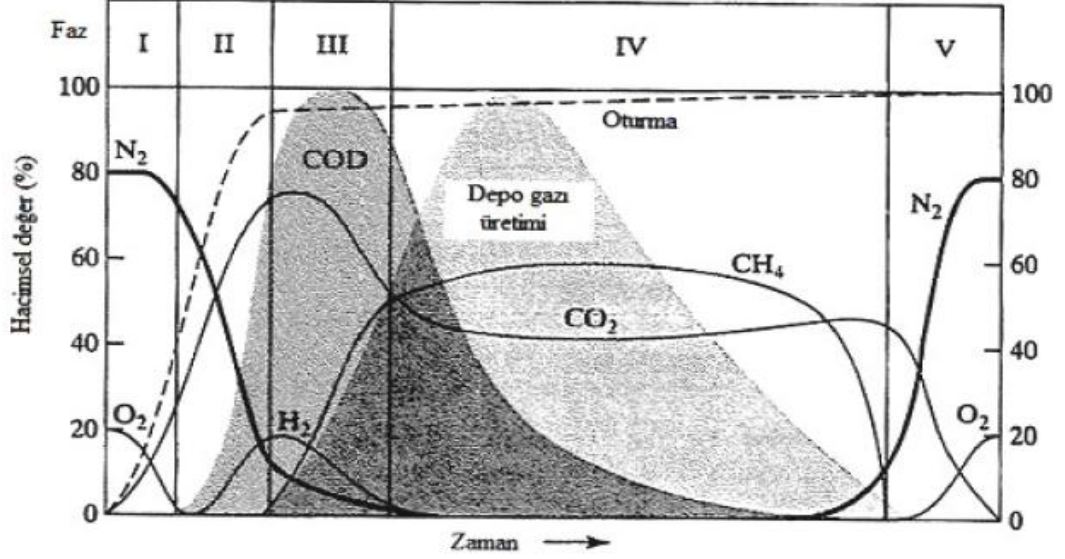
Mevcut gaz üretimini hesaplamak için en güvenilir metot, test kuyuları açmak ve bu kuyularda toplanan gazı ölçmektir. Bu yöntem çok pahalıdır ve ancak depo alanında büyük miktarlarda gaz üretilmesi için yeterince atık bulunması halinde bu yönteme başvurulur. Test kuyuları belirli zamanlarda sahadaki gaz üretim hızlarına dair gerçek veriler sağlamasına karşılık, matematiksel model hesapları sahadaki depolama esnasında ve kapatılmasından sonra gaz üretimine ilişkin veriler ortaya koymaktadır. Bu modeller tipik olarak depolama zamanı, depolanan atığın miktarı ve atıkların özellikleri gibi verilere ihtiyaç göstermektedir.

Model, CO<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> emisyonlarının aynı oranda olduğunu kabul etmektedir, yani depo gazı miktarının metan emisyonunun iki katı olduğu varsayılmaktadır.

Depo gazından enerji geri kazanımı için dört ana yol mevcuttur. Bunlar; direkt ısıtma, elektrik üretimi, kimyasal besleme stoğu ve boru hattı kalitesinde gaza saflaştırmadır. Depo gazının boru hattı kalitesinde gaza saflaştırılarak veya kimyasalların üretiminde kullanılması üzerinde çalışılan konulardır ancak yüksek maliyetleri sebebiyle henüz uygulama alanı bulamamışlardır. Çöp depolama sahaları, kapatıldıktan sonra bile 20 - 30 yıl boyunca gaz üretirler [16].

### 3.3 Depo gazı oluşumu

Katı atıkların düzenli depolama sahasına yerleştirilmesi ve birbirini izleyen beş faz şeklinde gelişir. Bu fazlar Şekil 3.1’de gösterilmiş olup, aşağıda ayrıntılı olarak ele alınmıştır:



Şekil 3.1: Depo gazlarının zamanla değişimi ve gaz oluşumu fazları [15].

1. İlk uyum fazı; 2. Geçiş fazı; 3. Asit fazı; 4. Metan fazı; 5. Olgunlaşma fazı

İlk Uyum Fazı: Katı atık sahasında depolama işlemi sırasında, biyobozunur organik maddeler aerobik koşullar altında mikrobiyolojik ayrışmaya maruz kalırlar.

Geçiş Fazı: Depo alanında anaerobik şartların oluşması ile birlikte nitrat ve sülfat, N<sub>2</sub> gazına ve H<sub>2</sub>S'e dönüştürülür.

Oksidasyon/redüksiyon potansiyeli, kompleks organik maddelerin organik asitlere ve diğer ara ürünlere dönüşmesi sırasında azalmaya devam eder. Sızıntı suyunun pH'sı, organik asitlerin oluşumu ve artan CO<sub>2</sub> konsantrasyonu nedeniyle düşmeye başlar.

Asit Fazı: İlk olarak, geçiş fazında beliren mikrobiyal aktiviteler, bu fazda, önemli miktarda oluşan organik asitler ve daha az miktardaki H<sub>2</sub> gazının etkisiyle hız kazanırlar. Bu faz üç aşamadan meydana gelir. İlk aşamada yüksek moleküllü bileşikler (yağlar, polisakkaritler, proteinler ve nükleik asitler) hidroliz edilerek mikroorganizmaların enerji ve karbon kaynağı olarak kullanabilecekleri basit elementlere dönüştürülürler. İkinci aşamada ise oluşan bu basit elementlerden mikrobiyal aktiviteler sonucu büyük miktarda asetik asit ve daha az miktarlarda

flvik ve kompleks organik asitler oluşur. CO<sub>2</sub> bu faz boyunca oluşan temel gazdır. Daha az miktarda hidrojen gazı üretilir. Bu reaksiyonlarda görev alan mikroorganizmalar genelde asit üreten bakteriler olarak tanımlanır. Oluşan bu organik asitler ve yüksek konsantrasyondaki CO<sub>2</sub>, depo alanında sızıntı suyunun pH'sını 5 ve altına düŐürürler. Sızıntı suyunun pH'sının düŐmesi asit fazı boyunca başta ağır metaller olmak üzere inorganik bileşiklerin sızıntı suyu içinde çözünür forma geçmesine neden olur.

Metan Fazı: Bu fazda, III. fazda oluşan asetik asit ile hidrojen gazını CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub>'ye dönüŐtüren mikroorganizmalar hakim duruma geçerler. Bu mikroorganizmalar 3. fazın sonunda geliŐmeye baŐlarlar ve 4. fazda etkin hale geçerler. Anaerobik olan bu mikroorganizmalar metan üreten mikroorganizmalar olarak adlandırılırlar. Bu fazda metan oluşumu hız kazanırken asit oluşum hızı gittikçe azalır.

Olgunlaşma Fazı: Depo gazı oluşum hızı bu fazda düşer. Zira çoğu nütrient, daha önceki fazlarda sızıntı suyu ile uzaklaŐtırılmıŐtır ve depo alanında kalan substratlar biyolojik olarak yavaŐ ayrıŐan yapıdadırlar. Başlıca depo gazı bileşenleri olan CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub> bu fazda tam olarak gelişir. Az miktarlarda N<sub>2</sub> ve O<sub>2</sub> gazı da görülür.

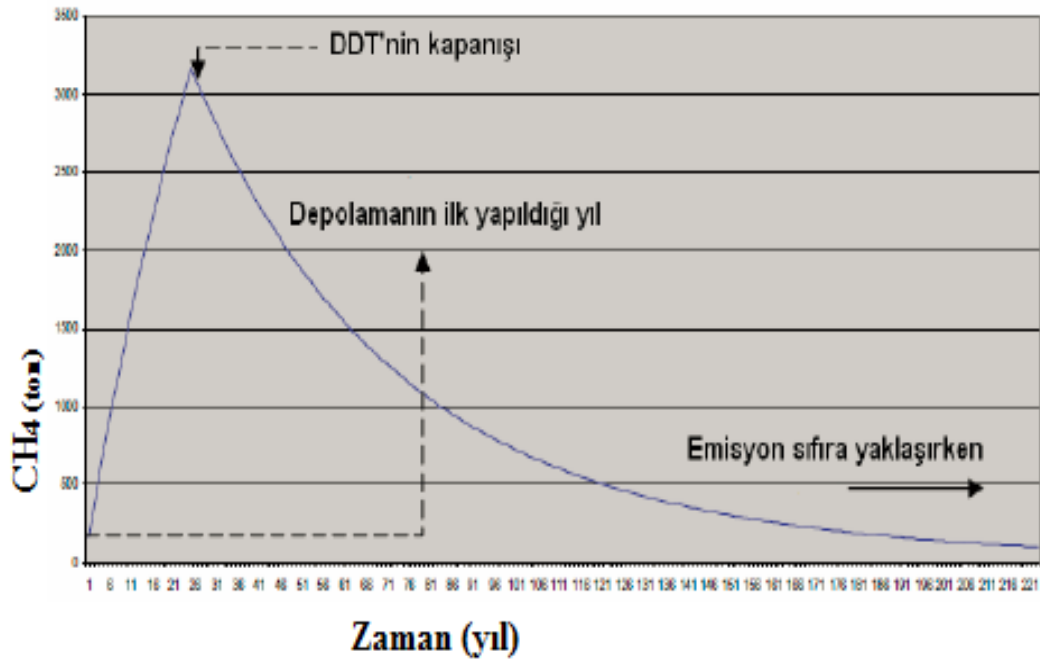
### **3.4 Depo gazı retimininin Zamanla Değişimi**

Depo gazı, katı atıklar bünyesinde gerçekleŐen fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik işlemler sonucu oluşur ve içerisindeki organik bileşenlerden dolayı, gaz üretimi prosesi mikrobiyolojik proseslerle kontrol edilir. Mikrobiyolojik prosesler çevresel koşullara hassas olduğundan, doğal ve insan kaynaklı birçok faktör mikroorganizma sayısını, türünü ve dolayısıyla depo gazı üretim hızını etkiler. Düzenli depolama alanlarında gerçekleştirilen kısa süreli depo gazı ekstraksiyon testleri, depolama sahasına yerleŐtirilen bir kg atık başına 0,05 ila 0,40 m<sup>3</sup> depo gazı üretimi olduğunu göstermiştir. Normal koşullarda gaz üretim hızı ilk 5 yılda tepe bir değere ulaŐır. Daha sonra azalmaya başlar, 25 yıl veya daha fazla bir süre zarfında azalmaya devam eder. Hızlı ve yavaŐ ayrıŐan organik maddelerin anaerobik olarak bozunmaları sonucu oluşan gazın zamanla tipik değişimi Şekil 3.2'de verilmiştir. Bu grafikten de görüldüğü gibi organik maddelerin ayrıŐma hızı zamanla gen Şeklinde bir gaz üretim modeli meydana getirir. Bu modele göre pik değer gaz oluŐmaya baŐladıktan sonraki ilk 5 yıl içinde görülmektedir. Üretilen toplam gaz miktarı bu üçgenin alanına eşittir [6].



### 3.5 Depo Gazı Bileşimi

Depo gazı, büyük miktarlarda ana gazlar ve daha az miktarlardaki eser gazlardan oluşur. Ana gazlar, katı atıklar içerisindeki organik maddelerin biyolojik olarak ayrışması sonucu oluşurlar. Eser haldeki gazlar çok düşük miktarlarda bile toksik olup halk sağlığı açısından tehlike arz ederler. Depo gazının metan bileşenine ait, depolama süresince ortaya çıkan değişim aşağıda Şekil 3.2’de görülmektedir:



Şekil 3.2: Gaz miktarının zamanla değişimi [6].

Katı atık depolama alanlarında bulunan eser haldeki bileşiklerin başlıcaları ve konsantrasyonları Çizelge 3.1 'de verilmiştir.

Çizelge 3. 1: Depo gazının içeriği ve oranları [17].

| ÜRÜN                              | %      |
|-----------------------------------|--------|
| CH4                               | 45-58  |
| CO2                               | 34-45  |
| N2                                | < 1-20 |
| O2                                | < 1-5  |
| H2                                | < 1-5  |
| Su buharı                         | < 1-5  |
| Eser elementler (VOC-siloksanlar) | < 1-3  |



## 4. DEPO GAZINI TOPLAMAK VE KULLANMAK İÇİN MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARI

### 4.1 Gaz Toplama Kuyuları

Gaz toplama, depolama sahasının belli bir bölümü kapatıldıktan sonra başlamaktadır.

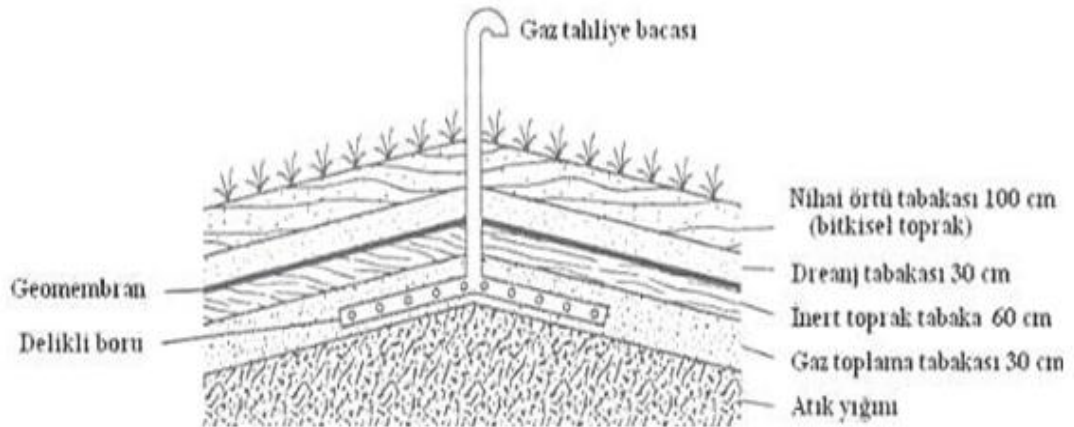
Depo gazı; pasif toplama/tahliye ve aktif gaz çekme metodları ile kontrol edilir.

Pasif sistemde depo gazı, tahliye kanalları (hendekleri) ile toplanır ve herhangi bir işleme tabi tutulmadan uygun noktalardaki gaz tahliye bacaları veya borularından atmosfere verilir.

Pasif gaz tahliye bacaları nihai örtü tabakasının 1~1,5 m altına kadar indirilir ya da düşey gaz toplama kuyularında benzer tarzda, dolgu yüksekliğinin üst % 75'lik kısmında gaz toplama/tahliye kuyusu tarzında teşkil edilir.

Pasif gaz tahliye bacaları/kuyuları için tipik aralık veya sayı  $7.500 \text{ m}^3$  atık depolama alanı hacmi başına 1 adet tahliye yapısı inşasıdır

Pasif gaz toplama bacaları Şekil 4.1'de belirtildiği üzere basitçe teşkil edilebilir [15].



Şekil 4.1: Depo gazı için tipik pasif gaz toplama sistemi [15].

Aktif sistemde, düşey ve yatay gaz toplama sistemleri kullanılmaktadır.

- Düşey sistemler, günümüzde en yaygın kullanım alanı bulan sistemlerdir.

- Yatay sistemler ise, gazın hemen geri kazanılmasının gerektiği depolama sahaları için uygundur (Örneğin; gaz yayılım problemine sahip depolama sahalarında)
- Hem yatay hem de düşey sistem kullanımında, her bir kuyu, gazı ana toplayıcıya götüren yatay borulara bağlanmıştır.

İdeal olarak toplama sistemi, işletmecinin gaz akışını izlemesine ve müdahale etmesine olanak verecek şekilde tasarlanmalıdır.

Aktif gaz toplama/çekme sisteminde, gaz toplama kuyuları bir boru şebekesi ile birbirine bağlanarak, depo gazı merkezi bir fan vasıtasıyla kısmi vakum altında çekilir.

Gazın toplanmasını sağlamak için, depolama sahalarında düşey veya yatay kuyular açılmaktadır.

Kuyular, yatay borular vasıtasıyla, blowerin negatif basınçla gazı topladığı merkezi bölgeye bağlanır.

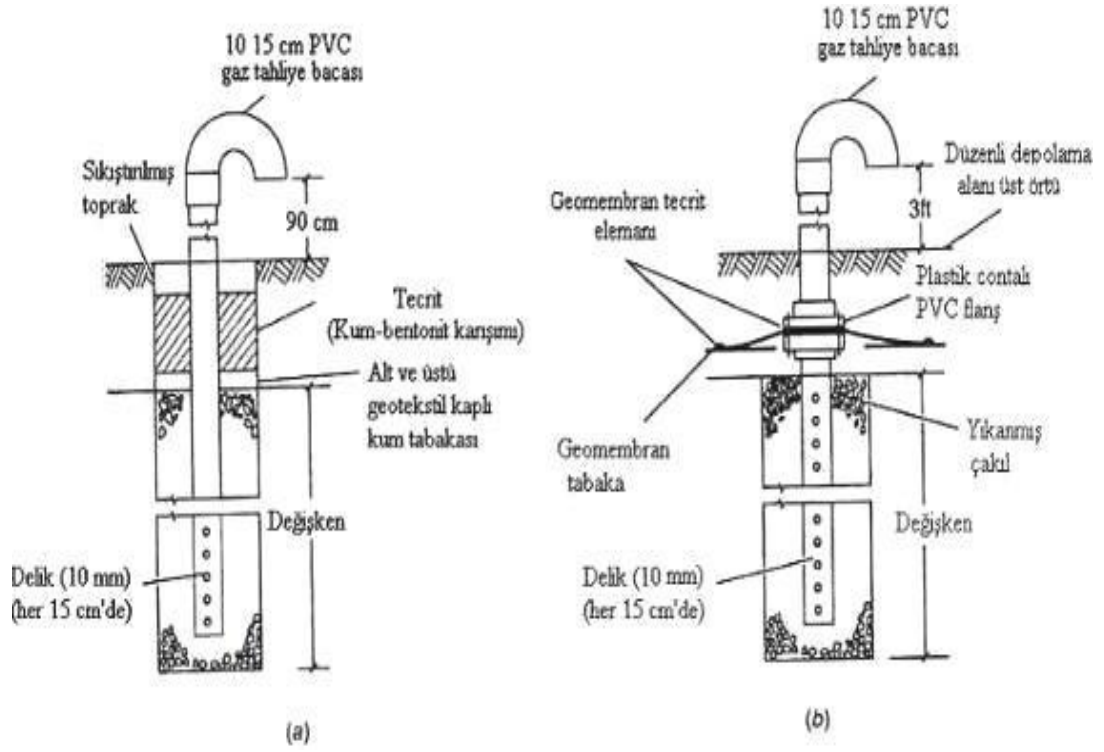
Tipik bir geri kazanım sistemi, genellikle yardımcı bir yakma (flare) sistemini de ihtiva etmelidir.

Gaz geri kazanım sistemi Şekil 4.2’de görüldüğü üzere aşağıdaki bileşenlerden oluşur:

- Atık içerisine yerleştirilmiş gaz kuyuları
- Kuyular ile emmeyi sağlayacak, pompa merkezini birleştirecek ana toplayıcı sistem
- Gaza ihtiyaç olmadığı durumlarda kullanılmak üzere, gazın yakılmasına imkan verecek yakma sistemi (gaz üretiminin gaz kullanımını aştığı durumlar için)

Kuyu başlıkları, uygulanan vakumun kontrolü ile gaz debisi, sıcaklık ve bileşiminin izlenmesine imkan veren ölçü ve kontrol düzenekleri ile donatılır.

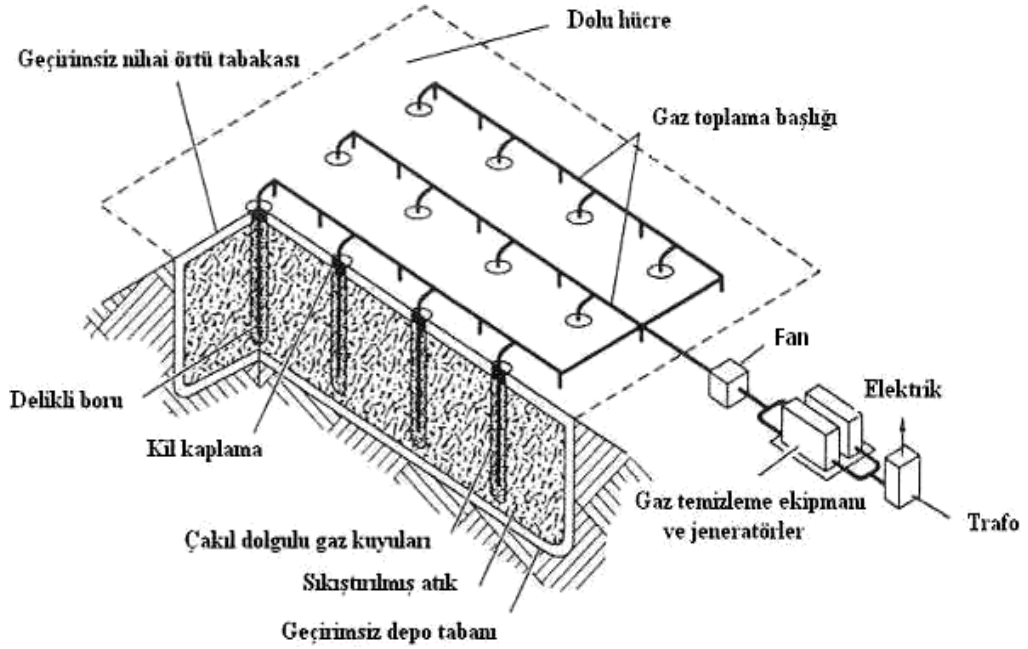
Kuyular arası mesafe, üretilen gaz debisine bağlıdır. Düşey gaz çekme kuyularının genel tasarım ve yapım kıstasları Çizelge 4.1’de özetlenmiştir [15].



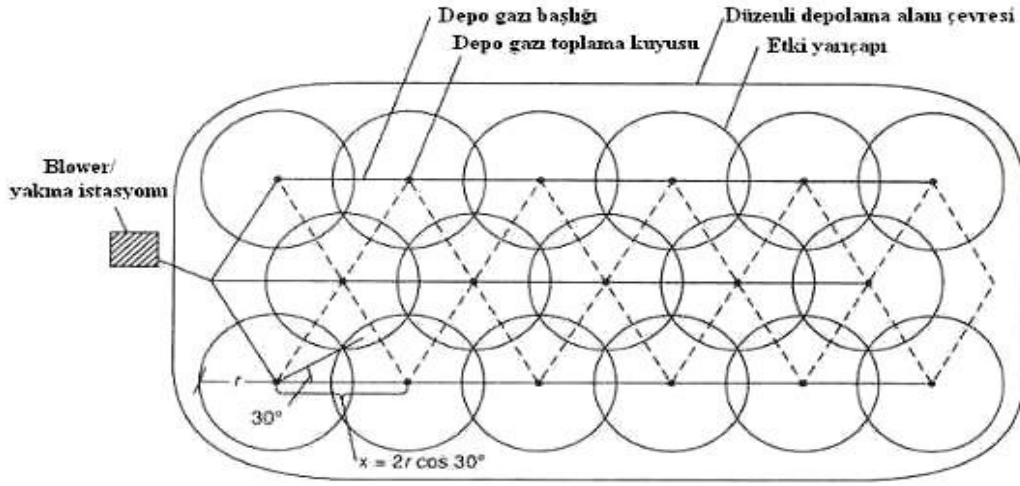
Şekil 4.2: Gaz tahliye bacası [15].

Depo gazı, merkezi bir blower (gaz emme körükleri) sistemi ile gaz toplama şebekesine uygulanacak vakum altında emilir.

Blower sistemi kapasitesi, çekilecek gaz debisine göre belirlenir. Aktif gaz çekme kuyuları, düşey veya yatay kuyular halinde teşkil edilebilir (Şekil 4.3 ve 4.4)



Şekil 4.3: Dikey kuyularla gaz toplama ve geri kazanma sistemi [15].



**Şekil 4.4:** Dikey gaz toplama sisteminin üstten görünümü ve etki çapları [15].

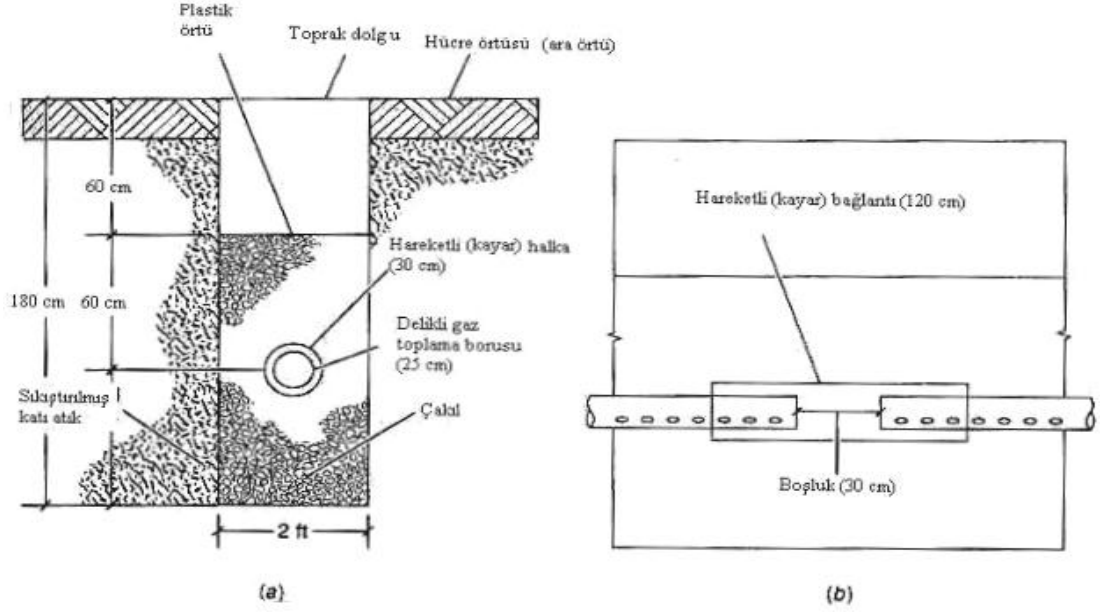
Depo gazının bileşimi ve ısıl değeri, gazdan enerji geri kazanma donanımının seçimi ve işletimini büyük oranda etkiler. İz organik maddeler ( $H_2S$  vb.) ile parçacık maddeler, korozyon ve aşınmaya yol açar.  $CO_2$ ,  $N_2$  ve su buharı ile çeşitli inert maddeler de gazın yanma verimini düşürür. Gaz bileşimi ve miktarının depo ömrü ile önemli ölçüde değişimler göstermesi de, ekipman seçimi, işletme ve bakım sürecini güçleştirir. [15] Düşey kuyular, burgu veya döner sondaj yöntemi ile açılırlar.

Gaz toplama sistemi, hidrolik kayıpları en aza indirmek üzere, uygun çap ve uzunlukta teşkil edilir. Maliyet optimizasyonu için, boru hattı maliyeti ile gaz çekme için sarf edilen enerji maliyeti toplamının en düşük kaldığı durum tespit edilerek ekonomik boru çapları bulunur [15]. Düşey gaz toplama sistemi inşası için tavsiye edilen kriterler Çizelge 4.1 de gösterilmektedir:

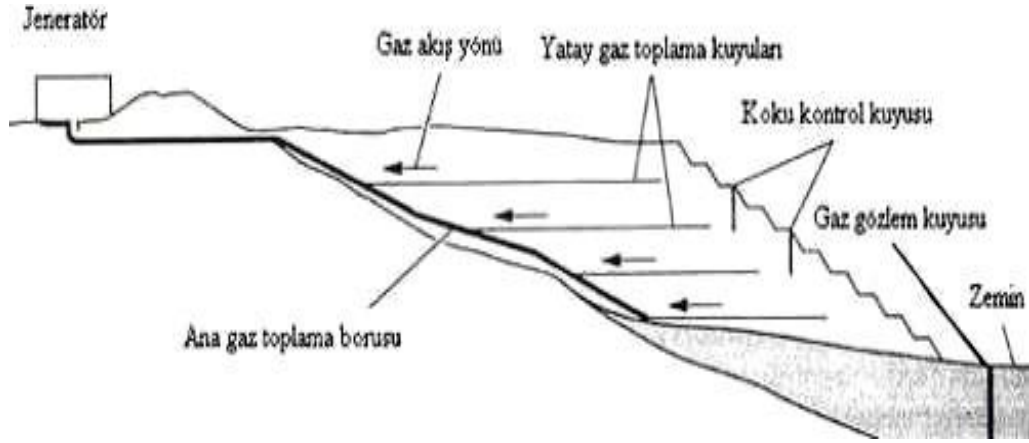
**Çizelge 4.1:** Düşey gaz toplama sistemi inşası için tavsiye edilen kriterler [15].

| Parametre                                 | Önerilen Kriterler  |
|---|---|
| Kuyu derinliği                            | Dolgu yüksekliğinin % 75'i veya sızıntı suyu seviyesi derinliği                     |
| Delikli kısım                             | Tabandaki 1/3 -2/3'lük kısım yüzeyden itibaren asgari 7i5 m veya sonradan başlamalı |
| Gaz borusu                                | Çapı: 7,5-10 cm PVC veya HDPE, teleskopik bağlantılı                                |
| Kuyular arası mesafe (merkezden itibaren) | Ana toplama sistemi: 60-150 m. Çevresel toplama sistemi: 30-75 m                    |
| Kuyu yoğunluğu                            | ~2.000-8.000 m <sup>2</sup> 'de bir adet  |
| Azami gaz toplama borusu eğimi            | % 3   |
| Kuyu (sondaj) çapı                        | 30-90 cm standard (en sık uygulanan: 60,75,90 cm)                                   |

Tipik yatay gaz toplama hendeği kesitleri, detaylı şekilde; Şekil 4.5 ve 4.6 'da gösterilmiştir:



Şekil 4.5: Yatay gaz toplama borusu detayı [15].



Şekil 4.6: Yatay gaz toplama sistemi planı [15].

#### 4.2 Yakma Sistemi (Flare)

Gaz, hava ile yanabilir bir karışım oluşturmakta ve yanmanın gerçekleşmesi için bir ateşlemeye ihtiyaç göstermektedir. Yakma sistemi, açık ya da kapalı olarak çalışmaktadır.

Enerji kazanım sistemlerinin çoğu, gerekli olduğu durumlarda fazla gazı uzaklaştırmak için yakma sistemine sahiptirler (Sistemi işletmeye alma ve kapatma, sistem iyileştirmeleri v.b). Yakma sistemi, gazın kullanılmadığı durumlarda doğrudan atmosfere verilmesini önlemek, emisyon kontrolü için kullanılmaktadır. Sisteminin, çevresel açıdan önemli boyutu, hidrokarbon bileşiklerin yok edilmesi ve yanmamış ürünlerin yaklaşık % 98 - 99,5 oranında verimle gidermesidir [15].

### **4.3 Gaz K r g  (Blower)**

Blower, gazı toplama kuyularından ana toplayıcıya götürecek negatif basıncı oluşturmaktadır. Gazı depolama sahasından çekecek blower'in boyutları, tipi ve sayıları gaz debisine bağlıdır. Gazın kullanım Őekline bağlı olarak, ilave bir gaz sıkıŐtırmasının yapılması gerekebilir. Bununla birlikte, sadece gazın çekilmesi için gerekli sıkıŐtırma miktarı genellikle çok k  kt r. Bunun sebebi de, sadece çok düşük miktarda negatif basınca ihtiyaç duyulmasıdır [15].

### **4.4 Gaz Türbinleri**

Gaz türbinleri, orta kalitede gazdan elektrik üretebilmektedirler. Gaz türbinlerinin ekonomik açıdan cazip olmaları için içten yanmalı motorlara göre daha yüksek miktarlarda gaz debilerine ihtiyaç vardır ve dolayısıyla büyük depolama sahalarda kullanım alanı bulabilmektedirler. 500 kW ile 10 MW arasında değişen kapasitelere sahiptirler. Oysa, depolama sahaları için uygun kapasite 2 - 4 MW arasında deėiŐir. Ayrıca, gaz türbinleri boşta çalışmada da; elektrik  retimiyile neredeyse aynı miktarda yakıt kullanmaktadırlar. Buna ilaveten, gazın türbine verilmeden önce sıkıştırılması gerekmektedir.

### **4.5 Depo Gazı Kullanım Teknolojileri**

Geri kazanılan gazın en kolay kullanımını bölgesel kullanımdır. Bu seçenek, gazın peŐpeŐa filtreler ve/veya kurutucular içeren bir boru hattı ile taŐınmasını gerektirir. Mümkün olduğu durumlarda, boru hattı ve işletme maliyetlerini azaltmak için tek noktada kullanım tercih edilmelidir.

Bu seçeneğin fizibilitesini değerlendirmek için, gazı potansiyel kullanıcılara taşıyacak boru hattının uzunluğu tahmin edilmelidir. 3 km.  zerindeki mesafeler maliyet-etkin bulunmamaktadır. Ayrıca, boru hattının inşa edilebileceği bir g zerg h yüksek maliyetlere çıkarabilmektedir [6].

#### **4.5.1 Depo gazı enerji projelerinin geliştirme basamakları**

Bir depo gazı enerji projesini geliştirmek için dokuz adımda genel bir fikir sahibi olunabilir. Bu adımların her biri hakkında açıklamalar aşağıda yer almaktadır.

İlk adım: Atık, depolama, iklim Őartlarını tespit etmek



Depolama enerji geri kazanım projesini desteklemek için yeterli metan üretmek ihtimalinin olup olmadığını tespit etmektir.

- Başlangıç şartı: Depolanan EKA en az 1 milyon ton içermekte midir?
- Depolanan tepenin 50 metre veya daha fazla bir derinliği var mı?
- Depolanan atığın üstü açık açık ya da yeni mi kapatılmıştır?
- Depolama sahası yıllık en az 64 cm yağış alıyor mu?
- Depolamanın tatmin edici miktarda depo gazı üretmek için yeterli organik içeriği var mı?

Bu kriterleri karşılayan düzenli depolama, bir depo gazı enerji projesini desteklemek için yeterli gaz üretmesi için yeterli kapasitede olması muhtemeldir.

Bunların “ideal koşullar” olduğunu not etmek önemlidir. Birçok başarılı depo gazı enerji projesi, daha küçük, daha eski ve daha çorak çöp alanlarında geliştirilmiştir..

Enerji geri kazanımı seçeneğinin uygulanabilir olduğu tespit edilirse, zaman içinde kazanılabilecek gaz miktarını tahmin etmek önemli hale gelecektir. “EPA”nın “LandGEM” yaklaşımı, depo gazı potansiyeli için daha ayrıntılı bir analiz sağlayabilmektedir.

Depo gazı üretimi için, EKA'nın organik içeriği önemli bir faktördür. Yüksek organik içerikli atık; daha depo gazı üretecektir. Örneğin: İnşaat ve yıkıntı atıklarının depolandığı bir alan, büyük miktarlarda depo gazı ve dolayısı ile de enerji üretmek için uygun değildir.

Adım 2: Projeyi ekonomik olarak değerlendirmek

Bir sonraki adım, elektrik, buhar, kazan yakıtı, aracın yakıt veya boru kalitesinde gaz gibi pazarlanabilir bir enerji ürün haline depo gazı dönüştürme detaylı bir ekonomik analizin yapmaktır. Teknolojiler çeşitli depo gazı değerini maksimize etmek için kullanılabilir. Belirli bir depolama için en iyi yapılandırma kullanılabilir bir enerji piyasasının varlığı, proje maliyetleri, potansiyel gelir kaynakları ve diğer teknik konular da dahil olmak üzere, bir dizi faktöre bağlıdır.

Adım 3: Proje yönetiminin tarzının belirlenmesi

Başarılı bir depo gazı enerji projesi uygulanması uygun proje yönetim yapısı belirlenmesi ile başlar. Örneğin, bir depo gazı enerji projesi yönetmek için seçenekler şunlardır:

- Yatırımcı projeyi geliştirir ve projenin içinde kalır.
- Depolama sahibi, dış destek ile (mali, inşai ve teknoloji, ekipman tedarikçisi, işletmeci ve servis-bakım vb) bir takım çalışmasına liderlik eder.

#### Adım 4: Sözleşme taslağının hazırlanması

Depo gazı enerji projesi ortaklıkları için bir sözleşmede resmiyet elde edilmelidir. Sözleşme ortağı, potansiyel emisyon azaltımı, enerji üretimi ve sosyal sorumluluk konusunda hak ve sorumluluk sahibi olarak sözleşmede yerini almalıdır.

Sözleşme aynı zamanda tasarım, kurulum ve işletme ve bakım dahil olmak üzere, her bir ortağın sorumlulukları kurar. Her sözleşme, projenin özel niteliğine bağlı olarak farklı olacaktır ve hedefleri ve sınırlamaları net olarak içermelidir.

#### Adım 5: Enerji satış sözleşmesi anlaşmasının yapılması (Yap-işlet sözleşme)

Proje sahibi ve işletmecisi arasında; müşteri fiyatına göre, teslim edilecek gaz veya güç miktarını da belirten bir enerji satış sözleşmesi koşulları müzakere edilir. Gelir, projenin kaynağını ve başarısını belirler. Bu nedenle, başarılı bir şekilde satış garantisi elde etmek, bu projeyi geliştirme sürecinde önemli bir kilometre taşıdır. Yap -işlet sözleşmesine teklif veren işletmeci fiyatlandırma yaparak, bir teklif paketi sunar. Sözleşme müzakere genellikle karmaşık bir süreç olduğu için, sahipleri ve talepler daha fazla bilgi ve rehberlik için bir uzmana danışmalıdır.

#### Adım 6: Güvenlik izinleri ve onayları adımı

Gerekli izinleri (çevre, yer seçimi ve diğerleri) alınması, yapım sürecinde önemli bir adımdır. İzin koşulları, genellikle, proje tasarımını etkileler ve ancak uygun izinler çıkınca kadar bir inşaat veya işletme başlayabilir. Bu süreç, 6 ile 18 ay (veya daha uzun) zaman alabilir.

Depo gazı enerji projeleri, depo gazı emisyonlarının kontrolü ve enerji dönüşüm ekipmanları hava emisyonlarının kontrolü ilgili resmi merkezi ve yerel düzenlemelere uymak zorundadır. Düzenleyici otoriteler ile tanışmak ve projenin yararları hakkında yerel yetkililere, komşuları ve kar amacı gütmeyen diğer kamu yararına gözetilen sivil toplum grupları Bilgilendirmek ve ikna etmek gerekir.

#### Adım 7: Finansman seçeneklerini değerlendirme

Bir depo gazı enerji proje finansmanı, depolama sahibinin ve yüklenicinin önündeki en önemli ve zorlu görevlerden biridir. Potansiyel finansman kaynakları; yatırım

şirketleri, bankalar, devlet tahvilleri, krediler dahil olmak üzere farklı çeşit ve özelliklerde mevcuttur. Finansman seçeneklerine ek olarak, yerli ve yabancı mali teşvikler de vardır.

Adım 8: Mühendislik, tedarik, inşaat ve servis bakım hizmetleri sözleşmesinin yapılması

Benzer projeleri hayata boyunca kazanılan kanıtlanmış deneyime sahip bir firma, depolama sahibinin çıkarına olabilir. depo gazı enerji projelerinin inşaatı ve işletmesi karmaşıktır. Bir sözleşme müzakere edilmeden önce, teklif sahibinin kullanacağı donanım tedarikçisi firmaları ile teknoloji, servis ve bakım konusunda titizlikle görüşülmelidir.

Adım 9: Projenin tesisi ve start-up

Uygulanması son aşaması ticari operasyonların başlangıcıdır. Bu aşama genellikle çevreyi ve resmi otoriteleri bilgilendiren törenler, kamu turları ve basın bültenleri ile anılmaktadır [18].

#### **4.5.2 Elektrik üretimi**

Elektrik sahada iç ihtiyaç için kullanılmak veya bölgesel elektrik şebekesine verilmek üzere üretilebilmektedir. Elektrik üretimi için çeşitli teknolojiler mevcuttur. Bunlardan en yaygın olanları, içten yanmalı motorlar ve gaz türbinlerdir

Elektrik üretimindeki yöntemin seçilmesinde, beklenen gaz debisi önem taşımaktadır. Gaz türbinleri, içten yanmalı motorlara göre daha yüksek gaz debilerine ihtiyaç göstermektedirler. Dolayısıyla, gaz türbinleri sadece büyük depolama sahalarında uygun görülmektedir. Ayrıca, gaz türbinleri nispeten daha sürekli çalışma ihtiyacı göstermekte ve dolayısıyla gün içindeki değişen elektrik yüklerini karşılamak için kapatılıp açılması uygun olmamaktadır. Sonuç olarak, gaz türbinleri elektrik şebekesini sürekli olarak besleyecek şekilde elektrik üretiminde kullanılmaktadır. İçten yanmalı motorlar, kolaylıkla açılıp kapatılabilmekte ve dolayısıyla kesikli güç ihtiyaçları için uygun görülmektedir.

##### **4.5.2.1 İçten yanmalı motorlar**

İçten yanmalı motorlar depo gazı uygulamalarında, kullanımı en yaygın dönüşüm teknolojileridir. Kapasiteleri 30 - 2000 kilowatt arasında değişen motorlar, depolama

sahalarında tipik olarak 700 kW-1,4 MW kapasitesindedir.

Bu motorlar kanıtlanmış ve maliyet-etkin teknolojilerdir. Özellikle düşük üretim kapasitelerine karşı esneklikleri, küçük depolama sahaları için, elektrik üretim seçeneği haline getirmiştir. Geri kazanım projesinin başlangıcında, birçok içten yanmalı motor, tedarik edilip gaz üretimi düştükçe devre dışı bırakılır veya alternatif kullanım alanlarına gönderilirler. Depolama sahası gazlarının bu tip motorlarda kullanımı, gazın bünyesindeki kirliliklerden dolayı korozyon problemine sebep olabilmektedir. Ayrıca, motorlar, depo gazında değişen hava/yakıt oranındaki salınımlara karşı daha az esnektirler. İçten yanmalı motorlarla gaz türbinlerin mukayesesi Çizelge 4.2’de verilmektedir [15].

**Çizelge 4.2:** Gaz türbinleri ile içten yanmalı motorların mukayesesi [15].

| Parametre                      | Gaz Türbini | İçten Yanmalı Motorlar |
|--------------------------------|-------------|------------------------|
| İstenen boyutta bulunabilirlik |             | Uygun                  |
| Yatırım maliyeti               |             | Uygun                  |
| İşletme-bakım maliyeti         | Uygun       |                        |
| Enerji verimi ve gelir         |             | Uygun                  |
| Toplam maliyet                 |             | Uygun                  |
| Korozyon dayanıklılığı         | Uygun       |                        |
| Hava emisyonları               | Uygun       |                        |
| Uzmanlık ve bakım ihtiyacı     |             | Uygun                  |
| İşletme karmaşıklığı           | Uygun       |                        |

#### 4.5.3 Boru hattına verme

Depo gazını boru hattına vermek, bölgesel kullanıcının bulunmaması durumunda uygun bir seçenek olabilmektedir. Yakında orta kalitede gaz taşıyan bir boru hattı bulunuyorsa, gazı vermeden önce gazı işlemek gerekmektedir

Boru hattına verme, gazın boru hattı basıncına kadar sıkıştırılmasını da gerekli kılmaktadır. Orta Kalite Gaz: Orta kalite gaz, depo gazının % 50 metan içeriğine sahip olmasıyla eşdeğerdir. Gaz verilmeden önce işlenmekte, böylece kuru hale gelmekte ve korozyon bileşenlerinden arındırılmaktadır. Bu seçeneğin cazipliğini etkileyen başlıca faktörler, gaz sıkıştırmanın derecesi ve boru hattına olan mesafedir. Yüksek Kalite Gaz: Yüksek kalite gaz için, geri kazanılan gazdaki karbondioksitin büyük kısmının ve eser elementlerin uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu da diğer kirleticilerin uzaklaştırılmasından daha zor ve dolayısıyla daha pahalı bir süreçtir.

Depo gazı kullanım seçeneklerinin teknik fizibilitelerinin özeti Çizelge 4.3’de verilmektedir [15].

**Çizelge 4.3:** Depo gazı kullanımı seçeneklerinin teknik fizibilitesi özeti [15].

| Şeçenekler  | Depolanmış asgari atık miktarı | Gaz kalitesi (min. CH <sub>4</sub> , %) | Uygulanabilirlik   |
|---|--------------------------------|---|--|
| <b>Bölgesel gaz kullanımı</b>                                       |                                |   |  |
| Sahada, endüstri tesisi, konut, ticari tesis için doğrudan kullanım | 1 milyon ton                   | % 35                                    | Saha dışında azami mesafe 3-4 km olmalıdır. Sahada yüksek enerji gerektiren tesislerde kullanılır.                             |
| <b>Elektrik üretimi</b>   |                                |   |  |
| İçten yanmalı motorlar  | 1,5 milyon ton                 | % 40                                    | Elektrik şebekesi gerekli, kullanıcı ekipmanı uygun olmalı, sahadaki yardımcı ekipman için kullanılabilir.                     |
| Gaz türbinleri  | 2 milyon ton                   | % 40                                    | Elektrik şebekesi gerekli, kullanıcı ekipmanı uygun olmalı, sahadaki yardımcı ekipman için kullanılabilir.                     |
| <b>Boru hattına verme</b>   |                                |   |  |
| Orta kalite gaz boru hattı  | 1 milyon ton                   | % 30-50                                 | Orta kalite gaz boru hattı şebekesi bulunmalı ve ilave gazı taşıyacak kapasitede olmalıdır.                                    |
| Yüksek kalite gaz boru hattı  | 1 milyon ton                   | % 95                                    | Özel arıtma şebekesi gerekmekte, yüksek kalite gaz boru hattı şebekesi bulunmalı ve ilave gazı taşıyacak kapasitede olmalıdır. |



## 5. LİTERATÜR ÖZETİ

Evsel katı atıkların bertarafında düzenli depolama tesislerinde depolanan atık miktarları ülkeden ülkeye değişmektedir [19].

Düzenli depolama ile atık bertarafı, basit ve ekonomik bir imkan sağlarken, sızıntı suyu üretimi ve sera gazı emisyonlarının da dahil olmak üzere çevresel etkilere sebep olur.

Gaz geri kazanım sistemleri sayesinde, düzenli depolama, bir yakıt kaynağı olarak metanı kullanma imkanı sağlar.

Yeniden bitkilendirme ve ayrıca bu yolla enerji üretimi için biyokütle kaynağı sağlamak, çevresel bozulmayı, azaltmak için geleneksel depolama sitelerinde uygulanmaktadır.

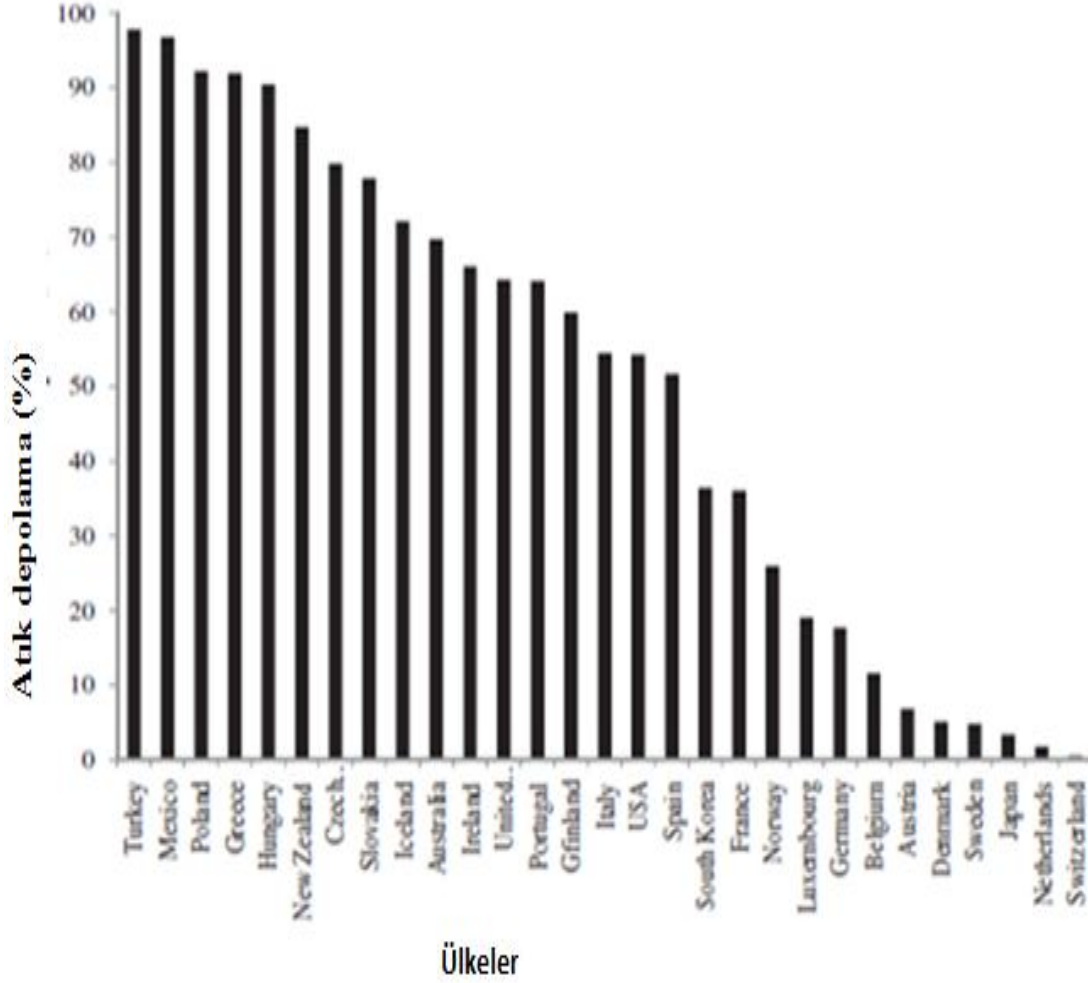
Enerji üretimi için depo gazının yakılması ile atmosfere CH<sub>4</sub> salınımını engelleyerek sera gazı emisyon azaltımına katkıda bulunur.

Depolama ile üretilen CH<sub>4</sub> ve biyokütle potansiyeline odaklanarak, farklı bir bakış sağlamakta, biyokütle enerji dönüşümünün çeşitli yöntemler fırsatlar ve enerji üretme imkânına işaret etmektedir.

Türkiye'de de eski atık depolama arazilerinin üstlerinin geçirimsiz bir örtü ile örtülerek nebati toprak serilmektedir.

Alanlar ağaçlandırılarak; kentlerin yeşil alan ihtiyacını karşılayacak ve yeşil oranını artıracak uygulamalar başarı ile yapılmaktadır.

Şekil 5.1'de görüldüğü üzere; Türkiye'de depolama tesislerine gönderilen atık oranının bu kadar yüksek olmasının sebebi, atık ayrımını ve geri kazanım oranlarının düşük olmasıdır.



**Şekil 5.1:** Çeşitli ülkelerde atık depolama alanlarında atık yüzdesi, 2009 [19].

Aşağıda, Çizelge 5.1’de de, 2009 yılı için, çeşitli ülkelerde atıktan elde edilebilecek enerjiye ait kestirimler gösterilmektedir.

Bu çizelgeden de görüleceği üzere Türkiye’de yüksek bir potansiyel mevcuttur. Atıkların, depolama alanlarında depolama oranı % 98 iken; yıllık elektrik talebinin yaklaşık % 1,12’sinin depo gazından üretilebileceği tahmin edilmektedir.

Bu değer, çizelgedeki diğer ülkelerle karşılaştırıldığında, Türkiye’nin diğerleri arasında; büyük bir potansiyele sahip olduğuna işaret edilmektedir [20].



**Çizelge 5.1:** Çeşitli ülkelerde depo gazından elektrik üretimi potansiyeli [19].

| Bölge     | Ülke       | Nüfus (milyon) | Düzenli depolanan atık, % | Metan üretimi (Gg/yıl) | Toplam metan üretimi | Toplam elektrik üretimi (GW/yıl) | Metandan üretilen topl. elek. oranı, % |
|-----------|------------|----------------|---------------------------|------------------------|----------------------|----------------------------------|--|
| Okyanusya | Avustralya | 17,46          | 69                        | 81,92                  | 1,35                 | 405                              | 0,16                                   |
|           | Y. Zelanda | 3,519          | 84                        | 20,06                  | 1,53                 | 99                               | 0,23                                   |
| Amerika   | ABD        | 238,7          | 54                        | 872,2                  | 3,34                 | 4314                             | 0,1                                    |
|           | Meksika    | 107,8          | 96                        | 696,5                  | 11,4                 | 3445                             | 1,32                                   |
|           | Brezilya   | 137,9          | 85                        | 788,8                  | 4,59                 | 3901                             | 0,84                                   |
| Avrupa    | İngiltere  | 54,02          | 64                        | 233,7                  | 7,46                 | 1156                             | 0,31                                   |
|           | İsviçre    | 3,563          | 0,5                       | 0,12                   | 0,05                 | 1                                | 0,0009                                 |
|           | Polonya    | 38,16          | 92                        | 236,7                  | 7,1                  | 1171                             | 0,77                                   |
|           | Yunanistan | 11,02          | 91                        | 67,49                  | 19,4                 | 334                              | 0,54                                   |
|           | Fransa     | 63             | 36                        | 152,6                  | 4,15                 | 755                              | 0,14                                   |
|           | Norveç     | 4,591          | 26                        | 8                      | 1                    | 40                               | 0,03                                   |
|           | Almanya    | 82,51          | 18                        | 98,27                  | 3,04                 | 486                              | 0,08                                   |
|           | Belçika    | 10,37          | 12                        | 8,1                    | 1,6                  | 40                               | 0,04                                   |
|           | Avusturya  | 8,171          | 6,8                       | 3,3                    | 0,81                 | 16                               | 0,02                                   |
|           | Danimarka  | 5,39           | 5,1                       | 1,85                   | 0,51                 | 9                                | 0,03                                   |
|           | İsveç      | 9,029          | 4,8                       | 2,92                   | 0,54                 | 14                               | 0,01                                   |
|           | Asya       | Japonya        | 103,9                     | 3,4                    | 23,77                | 1,22                             | 118                                    |
| G. Kore   |            | 38,7           | 36                        | 94,78                  | 6,23                 | 469                              | 0,11                                   |
| Türkiye   |            | 67,23          | 98                        | 442,4                  | 14,4                 | 2188                             | 1,12                                   |
| Hindistan |            | 1080           | 15                        | 1090                   | 3,92                 | 5392                             | 0,6                                    |
| Çin       |            | 1313           | 43                        | 3801                   | 5,99                 | 18801                            | 0,51                                   |

Aynı şekilde, geniş perspektiften bakılarak; biyokütle enerjisinin, farklı biyokütle kaynaklarına göre, elde edilebilen elektrik enerjisi potansiyeli incelenmiştir. Evsel katı atıkların, enerji bitkileri, hayvan gübresi ve kentsel atıksu arıtma çamuru, biyokütle kaynakları değerlendirilmiş, her kaynak için, ayrı ayrı biyogaz ve biyokütle enerjisi potansiyeli için hesaplamalar yapılmıştır. Atıklardan enerji dönüşümü için kullanılan yöntemler, Türkiye'nin, teknik ve ekonomik ve parametrelerine göre irdelenmelidir. Yapılan hesaplamalar sonucunda, incelenen kaynaklardan, biyogaz toplam birincil enerji değeri 2009 yılı için 188,21 TWh/yıl iken; değerlendirilen biyokütle kaynaklarının potansiyeline bağlı, toplam birincil enerji değeri 278,40 TWh/yıl olduğu elde edilmektedir. Yine yapılan hesaplamalar sonucunda, Türkiye'de evsel katı atıktan elde edilen potansiyeli yakma işlemini kullanarak atık bertaraf yönetim sistemi kullanılarak durumunda, 4,85 TWh/yıl olacağına işaret edilmektedir. Kentsel katı atıkların dönüştürülmesinde, atık ile ilgili değerleri yöresel olarak belirleyerek, depolama tesislerinden depo gazı elde edilmesi ile yakma işlemleri dikkatle karşılaştırılması ve uygun bir yöntem seçilmesi tartışılmalıdır [20].

Evsel atıkların metan üretim potansiyelleri ile ilgili bir diğer araştırmada, araştırmacılar tarafından Meksika'daki mevcut depolama tesisleri için bir model

geliştirilerek, bu modeli; başta enerji elde etmeyi ve sera gazı emisyonlarını azaltmakta kullanmaya ait öngörüler ortaya atılmıştır [21]. Biyogaz üretimini tahmin etmek için farklı modeller geliştirilmekle birlikte, seçilen bir model yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu modellerin çoğu iki parametreye dayalıdır:

Metan üretim oranı ( $k$ ) ve metan üretim potansiyeli ( $L_0$ ).

Bu parametreler herhangi bir tesiste biyogaz tahmini için geliştirilemez, "in situ" özellikleri göre modifiye edilmesi gerekir.

Araştırmanın amacı:

(a) in situ verilerinde ile  $k$  ve  $L_0$  sabitler değiştirmek ve

(b) modifiye sabitleri kullanarak bir Meksika şehrinde, düzenli depolama tesisinde açığa çıkacak biyogaz üretimini tahmin etmektir.  $k$  ve  $L_0$  parametreleri; depolama sahasının örtülü olması ve örtünün fonksiyonelliği, atığın yüksekliği, sızıntı suyunun sirkülasyonu ve atığa su eklenmesi, kireçi fosfat vb katı maddelerin eklenmesinden etkilenir. Aşağıdaki veriler modellere biyogaz değerlendirilmesinde kullanılmıştır:

- Atık karakterizasyonu çalışmaları,
- Biyogaz emisyonu testleri,
- Tesis özellikleri ve düzenli depolama işlemine ait gözlemler,
- Düzenli depolama sahaslarının yöneticileri ile görüşmeler,
- Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) modeli için çeşitli parametreleri

Değişik sabitleri kullanarak, yapılan biyogaz tahmini çalışmaları, „SCS Müşavir Mühendisler, Inc.“ tarafından „Sürüm 2.0 Meksika Depolama Gaz Modeli“ gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar üretilen atığın, yaklaşık % 70 oranında;  $k$  ve  $L_0$  hesaplanmasında kullanılan parametrelerin değerini etkilediğini göstermektedir.

In-situ özelliklerinde,  $k$  değerleri  $0,0482 \text{ yr}^{-1}$  ve  $L_0$   $94,457 \text{ m}^3/\text{t}$  elde edilmiştir.

Bu şekilde, elektrik enerjisi üretiminin; 2019 yılında 2,4 MW maksimum kapasiteye ulaşabileceği tahmin edilmektedir. Bu durumda, Ensenada'da kurulu kapasiteyi, yaklaşık 4,36 % oranında artırarak; 2.620.000 US\$ tasarruf ve 2009- 2025 yılları arasında yaklaşık 1,17 Mt  $\text{CO}_2$  azalışı sağlanabilmekte, çevre aydınlatma için gerekli olan elektrik enerjisinin, yaklaşık % 66 kaynağı bulunmuş olmaktadır.

Çizelge 5.2’de, depolama sahasındaki organik madde miktarının ve özelliklerinin aylara göre değişmesinin etkilediği gaz akış değerleri verilmiştir.

**Çizelge 5.2:** Ensenada Tesisi’ndeki ölçümlerin, aylara göre dağılımı [21].

| Ay    | Kuyu | Oran (%)        |                 |                |                | Sıcaklık<br>(°C) | Biyogaz<br>akışı (m <sup>3</sup> /h) | Isı potansiyeli<br>(kW) |
|-------|------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|------------------|--------------------------------------|-------------------------|
|       |      | CH <sub>4</sub> | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> |                  |                                      |                         |
| Eylül | 1    | 31,20           | 24,44           | 8,61           | 35,75          | 32,84            | 11,62                                | 37,29                   |
|       | 2    | 40,26           | 32,06           | 5,09           | 22,59          | 38,33            | 16,00                                | 66,57                   |
|       | 3    | 55,37           | 44,00           | 0,23           | 0,40           | 45,80            | 14,01                                | 81,14                   |
|       | 4    | 48,51           | 38,94           | 2,36           | 10,20          | 41,26            | 12,50                                | 60,87                   |
| Ekim  | 1    | 33,58           | 26,61           | 7,92           | 31,90          | 31,69            | 11,88                                | 41,88                   |
|       | 2    | 54,94           | 44,68           | 0,21           | 0,17           | 45,88            | 17,13                                | 98,52                   |
|       | 3    | 39,17           | 31,16           | 5,96           | 23,71          | 36,91            | 14,60                                | 59,57                   |
|       | 4    | 48,43           | 38,71           | 2,72           | 10,13          | 41,26            | 9,98                                 | 51,41                   |
| Kasım | 1    | 36,88           | 28,55           | 6,96           | 27,62          | 30,67            | 14,85                                | 56,33                   |
|       | 2    | 37,52           | 28,91           | 7,03           | 26,54          | 34,31            | 16,18                                | 63,67                   |
|       | 3    | 54,99           | 44,49           | 0,37           | 0,15           | 44,49            | 15,76                                | 90,55                   |
|       | 4    | 48,17           | 37,96           | 3,07           | 10,81          | 39,14            | 11,78                                | 58,44                   |

Çizelge 5.3’de de, aynı depolama sahası için çizelge 5.2’deki veriler doğrultusunda modifiye edilmesi gereken k (Metan üretim oranı 1/yıl) katsayıları verilmekte, Ensenada’da, sahadaki kuyularda yapılan ölçüm sonuçlarına göre k çarpanı revizyonu yapılmaktadır:

**Çizelge 5.3:** Ensenada’da, sahadaki ölçüme göre k çarpanı revizyonu [21].

| Atık kategorisi               | Atık oranı (%) | Bölge için öngörülen k<br>(yıl <sup>-1</sup> ) değeri | Modifiye edilen k değeri |
|-------------------------------|----------------|---|--------------------------|
| Gıda                          | 36,2           | 0,10  | 0,0362                   |
| Kağıt ve karton               | 11,4           | 0,02  | 0,0023                   |
| Bahçe atığı                   | 3,2            | 0,05  | 0,0016                   |
| Ağaç                          | 0,4            | 0,01  | 0,0000                   |
| Lastik, deri, kemik,<br>saman | 0,2            | 0,01  | 0,0000                   |
| Kumaş                         | 6,2            | 0,02  | 0,0012                   |
| Tuvalet kağıdı                | 10,7           | 0,05  | 0,0054                   |
| Diğer organik                 | 0,3            | 0,10  | 0,0003                   |
| Bebek bezleri                 | 5,8            | 0,10  | 0,0012                   |
| Metal                         | 2,6            |   |                          |
| İnşaat atıkları               | 0,7            |   |                          |
| Cam ve seramik                | 4,7            |   |                          |
| Plastik                       | 12,3           |   |                          |
| Diğer inorganik               | 5,3            |   |                          |
| k ağırlıklı ortalama          |                |   | 0,0482                   |

Yine aynı şekilde aşağıdaki çizelgede de “LandGEM” matematik modeli “versiyon 3.02”deki k ve L<sub>0</sub> değerlerinin genel kabulü olan: 0,05 yıl<sup>-1</sup> ve 170 m<sup>3</sup>/t değerlerine

karşılık, bu katsayıların, sahada yapılan ölçümlerle belirlenerek değiştirilmesi sonucunda, bölgenin iklim şartları ve organik atık özelliklerine göre daha doğru tahminler yapıldığı saptanmıştır.

Elde edilen değerler için ( $k = 0,482$ ,  $L_0 = 94,57$ ) elde edilecek enerji üretimi, sabit parametrelere göre; % 26 oranında daha fazla tahmin edilmektedir.

Çizelge 5.4’de, Sahada elde edilen  $k$  ve  $L_0$  değerlerine göre Ensenada’daki tahminlerin revize edilmesi ile kurulabilir kapasite belirlenmesi, böyle bir tesis için yapılan yaklaşımlarda nasıl iyileştirmeler yapıldığı bir örnek olması için listelenmektedir:

**Çizelge 5.4:** Yeni değerlere göre Ensenada’daki tahminlerin revize edilmesi [21].

| Yıl  | Tahmini Depogazı üretimi (m <sup>3</sup> /h) | Tahmini Depogazı İyileştirme (m <sup>3</sup> /h) | Azami Kurulabilir Santral Gücü (MW) |
|------|--|--|-------------------------------------|
| 2010 | 821  | 542  | 0,9                                 |
| 2011 | 963  | 636  | 1,1                                 |
| 2012 | 1107   | 731  | 1,2                                 |
| 2013 | 1254   | 828  | 1,4                                 |
| 2014 | 1404   | 927  | 1,5                                 |
| 2015 | 1558   | 1028   | 1,7                                 |
| 2016 | 1715   | 1132   | 1,9                                 |
| 2017 | 1876   | 1238   | 2,0                                 |
| 2018 | 2042   | 1348   | 2,2                                 |
| 2019 | 2213   | 1460   | 2,4                                 |
| 2020 | 2109   | 1392   | 2,3                                 |
| 2021 | 2009   | 1326   | 2,2                                 |
| 2022 | 1915   | 1264   | 2,1                                 |
| 2023 | 1825   | 1204   | 2,0                                 |
| 2024 | 1739   | 1148   | 1,9                                 |
| 2025 | 1657   | 1094   | 1,8                                 |

Santralin maksimum kapasite brüt ısı indeksi 10.800 Btu/kWh olduğu varsayılmaktadır.

Çizelge 5.5’de, elde edilen metan üretimi ile ilgili saha koşullarına göre düzeltme çarpanları listelenmektedir.

**Çizelge 5.5:** Metan için düzeltme katsayıları [21].

| Saha Koşulları     | Derinlik < 5 m | Derinlik > 5 m |
|--------------------|----------------|----------------|
| Saha Yönetimi Yok  | 0,4            | 0,8            |
| Saha Yönetimi Var  | 0,8            | 1              |
| Yarı-aerobik       | 0,4            | 0,5            |
| Şartlar Bilinmiyor | 0,4            | 0,8            |

Türkiye’nin 2023 vizyonunda, enerji talebine ve enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi ve iç kaynaklardan enerji elde edilmesi irdelenmiştir [22].

Türkiye enerjinin çoğunu ithal etmektedir.

Ancak, son zamanlarda yapılan öngörülerle, “Vizyon 2023” gündemine göre, 2023 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarından, elektrik talebinin % 30’unu üretmeyi planlamaktadır.

Belediyeler ülke çapında, her yıl, yaklaşık 25 milyon ton katı atık (KKA) oluşturmaktadır.

Sadece KKA, başlı başına çevreyi kirletmekle kalmayıp, taşıma, işleme ve depolama da bu kirliliğe katılmakta ayrıca değerli emek ve sermayeyi gerektirmektedir.

Bu bağlamda, bir sinerjik bir çözüm, KKA yönetimi ve elektrik enerjisi arzı arasında oluşturulabilir.

Bu çalışmada, ekonomi ve EKA’dan elde edilen elektrik üretiminin çevresel etkileri;

- Doğrudan yanma
- Biyogaz elde etme

metotlarına göre Türkiye’nin 81 şehrinde 2012 - 2023 yılları için detaylı olarak analiz edilerek gerçeğe yakın tahminler yapılmalıdır.

EKA’dan 2012 yılında, doğrudan yanma metodu ile 8.500 GWh elektrik elde edilebileceği tahmin edilmektedir.

Bu değer, 2023 yılında 9.700 GWh’e yükseleceği tahmin edilmektedir.

2012 yılında Türkiye'nin çöplüklerinden yayılan metan miktarının 3.100 milyon m<sup>3</sup> olacağı hesaplanmakta, eğer hiçbir çalışma yapılmazsa bu değer 2023 yılında 3.600 milyon m<sup>3</sup> ‘e çıkacağı tahmin edilmektedir.

2023 yılında, mevcut atık depolama sistemi ile biyo-reaktörlerde aracılığıyla, metan emisyonununun % 25’inin yakalanarak 2.900 GWh elektrik enerjisi elde edileceği yani Türkiye'nin yıllık elektrik ihtiyacının %0.5 karşılanacağı, tahmin edilmektedir

**Çizelge 5.6:** 2011 – 2023 yılları arasında Türkiye nüfusunun yıllık artışı [22].

| Yıl  | Yıllık nüfus artış hızı, % |
|------|----------------------------|
| 2011 | 0,128                      |
| 2012 | 0,125                      |
| 2013 | 0,118                      |
| 2014 | 0,117                      |
| 2015 | 0,114                      |
| 2016 | 0,111                      |
| 2017 | 0,108                      |
| 2018 | 0,102                      |
| 2019 | 0,099                      |
| 2020 | 0,097                      |
| 2021 | 0,094                      |
| 2022 | 0,091                      |
| 2023 | 0,083                      |

Aşağıdaki denklem (5.1), 2012 ile 2023 yılları arasında, Türk kentlerinin nüfusu tahmin etmek için kullanılmaktadır:

$$P_t = P_{t-1} \times e^{k_p t} \quad (5.1)$$

t hesaplanan yıldır,

$P_t$  tahmin yapılan t yılındaki nüfus

$P_{t-1}$  t yılından bir önceki yılın nüfusu

$k_p$  yıllık nüfus artış hızı sabiti

Bu çalışmada  $k_p$  değerleri, yukarıdaki Çizelge 5.6'den alınır.

Bu çizelge, Türk İstatistik Kurumu, “Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi” verilerine dayanarak düzenlenmiştir.

Çizelge 5.7’de, Çizelge 5.6’da bildirilen  $k_p$  değerlerinin, şehir bazında eşit olduğu varsayılarak Türkiye'nin bazı illeri ve Gaziantep için 2012-2023 yılları için nüfus tahmini gösterilmektedir:

**Çizelge 5.7:** Türkiye'nin bazı illeri 2012-2023 yılları için nüfus tahmini [22].

| Şehir          | Yıl        |            |            |
|----------------|------------|------------|------------|
|                | 2012       | 2018       | 2023       |
| Adana          | 2.138.654  | 2.286.853  | 2.395.464  |
| Adıyaman       | 606.076    | 648.075    | 678.854    |
| Afyonkarahisar | 715.432    | 765.009    | 801.341    |
| Ağrı           | 555.910    | 594.432    | 622.664    |
| Amasya         | 343.364    | 367.158    | 384.595    |
| Ankara         | 4.893.981  | 5.233.111  | 5.481.649  |
| Antalya        | 2.029.023  | 2.169.625  | 2.272.668  |
| Artvin         | 168.981    | 180.690    | 189.272    |
| Aydın          | 1.015.225  | 1.085.575  | 1.137.133  |
| Balıkesir      | 1.181.849  | 1.263.745  | 1.323.765  |
| Bilecik        | 231.156    | 247.174    | 258.913    |
| Bingöl         | 261.708    | 279.843    | 193.134    |
| Bitlis         | 337.191    | 360.557    | 377.681    |
| Bolu           | 278.157    | 297.432    | 311.558    |
| Burdur         | 265.501    | 283.899    | 297.382    |
| Bursa          | 2.672.255  | 2.857.430  | 2.993.139  |
| Çanakkale      | 502.962    | 537.815    | 563.358    |
| Çankırı        | 183.655    | 196.382    | 205.708    |
| Çorum          | 549.124    | 587.175    | 615.062    |
| Denizli        | 955.699    | 1.021.924  | 1.070.459  |
| Diyarbakır     | 1.568.134  | 1.676.799  | 1.756.435  |
| Edime          | 400.432    | 428.180    | 448.516    |
| Elazığ         | 566.806    | 606.083    | 634.868    |
| Erzincan       | 230.713    | 246.700    | 258.417    |
| Erzurum        | 788.791    | 843.451    | 883.509    |
| Eskişehir      | 784.175    | 838.515    | 878.338    |
| Gaziantep      | 1.744.341  | 1.865.216  | 1.953.802  |
| .....          | .....      | .....      | .....      |
| Toplam         | 75.611.975 | 80.851.542 | 84.691.451 |

Aşağıdaki denklem (5.2), 2012 ile 2023 yılları arasında, Türk kentlerinin KKA miktarını tahmin etmek için kullanılmaktadır:

$$EKA_t = EKA_{t-1} e^{k_{mt}} \quad (5.2)$$

Denklemden t yıl ilgi zamanıdır,

EKA t yılında ton cinsinden evsel katı atık tahminidir,

EKA<sub>t-1</sub> t yılından önceki yıl ton evsel katı atık

k<sub>m</sub> katı yıllık belediye olan

Denklemlerden faydalanılarak düzenlenen, 2012 – 2023 tarihleri arasında atık projeksiyonu aşağıda Çizelge 5.8’de görülebilir.

**Çizelge 5.8:**, Türkiye’de, bazı illerin belediyelerinin KKA üretim tahmini, ton [22].

| Şehir          | Yıl       |           |           |
|----------------|-----------|-----------|-----------|
|                | 2012      | 2018      | 2023      |
| Adana          | 847.003   | 905.697   | 948.711   |
| Adıyaman       | 137.392   | 146.913   | 153.890   |
| Afyonkarahisar | 253.583   | 271.155   | 284.033   |
| Ağrı           | 107.478   | 114.926   | 120.384   |
| Amasya         | 126.503   | 135.270   | 141.694   |
| Ankara         | 2.052.875 | 2.195.130 | 2.299.384 |
| Antalya        | 918.617   | 982.274   | 1.028.925 |
| Artvin         | 31.848    | 34.055    | 35.672    |
| Aydın          | 352.100   | 376.499   | 394.381   |
| Balıkesir      | 456.736   | 488.386   | 511.581   |
| Bilecik        | 74.719    | 79.896    | 83.691    |
| Bingöl         | 66.573    | 71.186    | 74.567    |
| Bitlis         | 69.256    | 74.055    | 77.572    |
| Bolu           | 94.177    | 100.703   | 105.486   |
| Burdur         | 73.936    | 79.060    | 82.814    |
| Bursa          | 879.623   | 940.577   | 985.248   |
| Çanakkale      | 158.484   | 169.467   | 177.515   |
| Çankırı        | 55.513    | 59.360    | 62.179    |
| Çorum          | 161.876   | 173.093   | 181.314   |
| Denizli        | 287.572   | 307.500   | 322.104   |
| Diyarbakır     | 389.899   | 416.917   | 436.718   |
| Edirne         | 199.049   | 212.842   | 222.951   |
| Elazığ         | 203.264   | 217.349   | 227.672   |
| Erzincan       | 85.594    | 91.526    | 95.873    |
| Erzurum        | 193.323   | 206.861   | 216.537   |
| Eskişehir      | 281.364   | 300.861   | 315.150   |
| Gaziantep      | 423.821   | 453.190   | 474.417   |

Türkiye’de, EKA’nın ortalama enerji içeriği ve kompozisyonu, illerin ekonomisi, mutfağı, coğrafi konumu ve geri dönüşüm eğilimine bağlı olarak çok değişkendir.

Literatürde, KKA kalorifik değerleri için tahminler vardır. Ancak, bunlar kestirme yöntemi ile alt kalorifik değeri, yüksek su veya nem içeriğini beyan etmektedir. Azapagic ve Perdan, dünyada, belediye katı atık yüksek ısıl değerlerinin 10 ve 30 MJ/kg arasında değişebildiğini bildirmektedir.

Bu nedenle, nem içeriğine bağlı olarak, alt ısıl değerleri veya belediye katı atık kalorifik değerleri 5 ile 20 MJ /kg arasında değişebilir.

Benzer şekilde, Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), EKA’nın, elektrik üretimi için asgari değerinin, 8 ve 12 MJ/kg arasında bir kalorifik değerde sahip olmasının şart olduğunu bildirilmektedir. Genellikle, kalorifik değer ve EKA’nın kompozisyonu



verileri, yetkilileri tarafından açıklanır. Bununla birlikte, mevcut literatür analizi, İstanbul, İzmir, Denizli ve Gümüşhane hariç, Türkiye'de kentlerin çoğunluğu için literatürde bu tür veriler için önemli bir bilgi eksikliği olduğunu göstermiştir.

2012 yılında, İstanbul'da belediye katı atık bileşiminin yaklaşık % 54 olarak kuru bazda organik olduğunu, kalorifik değerinin yaklaşık 6 MJ/kg ve ortalama nem içeriği % 62,41'dir. 2009 yılında, Denizli ilindeki katı atığın % 70 organik içeriği (kuru temelde), % 65 nem içeriği (kuru bazda) ve 5,2 MJ/kg ortalama kalori değeri sahip olduğunu 2009 yılında raporlandı. 2008 yılında, Gümüşhane'de evsel katı atığın, % 93 organik, % 77 nem içeriğinde ve yaklaşık 2,1 MJ/kg ortalama kalorifik değere sahip olduğunu bildirdi. Çizelge 5.9'da Türkiye'deki KKA için önemli parametreler verilmiştir:

**Çizelge 5.9:** Türkiye'de, KKA'nın kalorifik değeri, nem ve organik içeriği [22].

| Parametre                        | Değer aralığı |
|----------------------------------|---------------|
| Ortalama kalorifik değer (Mj/kg) | 2,0 - 6,0     |
| Nem oranı (%)                    | % 65 - % 80   |
| Organik içerik (% kuru baz)      | % 50 - % 95   |

“Dünya Bankası Teknik Rehberlik Raporu”na göre; KKA'dan, yakma yoluyla elektrik üretimi potansiyeli, 2012–2023 yılları arasında, il bazında; zorunlu ortalama alt ısı değeri 6 MJ/kg, bütün mevsimlerdeki yıllık ortalama en düşük kalorifik değer 7 MJ/kg, yıllık miktarının asgari atık miktarı 50.000 metrik ton olmalıdır.

Türkiye şehirlerinin çoğunluğu için, yanma yoluyla EKA'dan direkt enerji geri kazanımı, nem içeriğinin yüksek ve kalorifik değerinin düşük olması nedeniyle uygun bir seçenek gibi görünmemektedir.

Türkiye'de, evsel katı atık yakma yoluyla enerji geri kazanımı, doğal gaz veya kömür gibi bir yardımcı yakıtla birlikte ortak yakılarak sağlanabilir.

Elektrik üretimi için, evsel katı atıkların, kömür veya doğal gaz yakıtlı kazanlarda birlikte yakılması ile atıkları büyük miktarlarda ve hızlı tüketmek yoluyla, ekonomik ve çevresel faydalar elde etmek mümkün olabilir. Çizelge 5.9'da belirtilen değerler, şehirlerde yapılmış olan hesaplamalardan çıkarılmıştır.

Artvin, Gümüşhane, Hakkâri, Muş, Tunceli, Bayburt, Bartın, Ardahan, Iğdır, Yalova ve Kilis Belediye katı atık üretimi verisi yılda en az 50.000 ton'dur. Şehir bilgilerinde kalorifik değerlerle ilgili veriler olmadığından, Çizelge 5.9'de verilen kalorifik değer aralığı olan, 2,0 ila 6,0 MJ kullanılmakta, fosil yakıt ile eş-yakma

değeri üzerinden, şehir evsel katı atıklardan minimum ve maksimum elektrik üretim potansiyelleri hesaplanmaktadır.

EKA yakılarak elde edilecek elektrik enerjisi veriminin; % 20 olduğu varsayılmıştır.

Çalışmalar, İstanbul, Ankara ve İzmir'de, 2012 yılında, belediye katı atık yakma yoluyla elektrik üretim potansiyellerini sırasıyla yaklaşık 1.900, 650 ve 550 GWh değerinde olduğunu göstermektedir. Bunlar, ülkenin en yüksek tahmini üretim oranlarıdır. Aynı zamanda 2023 yılına, bu şehirlerde EKA gelen bu potansiyellerinin 2.200, 750 ve 650 GWh değerine kadar artabileceğini hesaplanmaktadır.

Ülke çapında 2012 yılında 8500 GWh olan yüksekselebilir belediyeye ait katı atıktan üretilen elektrik, 2023 yılında 9.700 GWh'e kadar çıkabilir. Böylece, ülke çapında belediye katı atığı yakma yoluyla yılda 900 milyon saat üretilmiş olur.

Üç büyük kentte, İstanbul, Ankara ve İzmir'de, yılda üretilen elektrik değeri de 220, 70 ve 60 milyon saat olur. Bu üç şehrin büyük nüfusu nedeniyle, bu sonuçlar zaten beklenmektedir. Ancak, 500.000 'den az nüfuslu şehirler için elektrik üretim oranlarının oldukça düşük olduğu hesaplanmıştır. Öte yandan, 2012 yılındaki tüketim talebine göre; Bingöl ve Şırnak illerinin elektrik ihtiyacının % 13'ü, Diyarbakır'ın da % 9'u, evsel katı atıkların, yanması yoluyla temin edilebilir.

Bu kentler, ülke ortalamasının altında GSYİH'ya sahip olmakla birlikte, elektrik tüketimleri düşük olduğundan, dolayısıyla ülkenin en yüksek "EKA tabanlı" elektrik arzı için iyi birer örnektir. Ankara ve İzmir'de, maksimum elektrik arz oranlarının sırasıyla % 6 ve % 3 olacağı tahmin edilmektedir. Projeksiyonlar, Türkiye'nin nüfus ve enerji tüketiminin artışı nedeni ile belediye katı atığından elektrik üretiminin payının zamanla azalacağını göstermektedir. İstanbul, Ankara ve İzmir'de, tahmini arz oranlarının, 2023 yılında, % 1-3 arasında olması beklenmektedir.

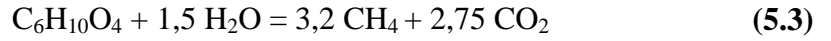
Her ne kadar, Türkiye'deki belediyelerde çöp miktarı oldukça yüksek olsa da; düşük kalorifik değeri ve yüksek nem içeriği nedeni ile bu çöplerin yakılarak elektrik elde edilmesi ile önemli ölçüde elektrik üretimi sağlanamayacağı kestirilmektedir. Buna ek olarak da, yakma işleminin kendisi de çevreyi kirletici emisyonlara neden olmakta, bu kirleticileri temizlemek oldukça önemli hale gelmektedir.

Bu değerlendirmelerin ışığında, EKA'dan enerji geri kazanımı için en iyi alternatifin, depolama ile metan üretimi olacağı kabul edilmektedir.

Türkiye'de 2012 ve 2023 arasında, EKA'dan eşzamanlı elektrik üretim potansiyeli ve tahmini biyogaz üretimi üstündeki yapılan teorik ve deneysel çalışmalar, ancak EKA'nın anaerobik tam biyolojik parçalanma ile kuru ton başına yaklaşık 200 m<sup>3</sup> metan üretilebileceğini göstermektedir. Endüstriyel anaerobik reaktörlerde, metan üretiminin oranı ise organik atıkların ton başına 40-80 m<sup>3</sup> arasında değişmektedir.

Depo gazı genellikle % 50 - % 65 metan ve % 35 - % 50 karbondioksit içermektedir.

EKA'nın organik içeriğinin anaerobik ayrışması esnasında oluşan azami metan miktarı; Denklem 5.3 ile tespit edilir:



Denklemde, C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>4</sub>, EKA organik bileşiklerin genel kapalı formülünü gösterir.

Türkiye'nin verilerine dayanarak tahmin edilen; 1 ton biyokütlenin; 190-250 kg veya 1,3-1,7 kmole arasında organik madde (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>4</sub>) ve yukarıdaki denkleme dayalı basit bir madde dengesi hesabı ile, tam bir reaksiyon halinde, EKA tonu başına; 4,2-5,5 kmol veya 67-88 kg metan elde edileceği ortaya çıkmaktadır. Türkiye'de, depolama alanlarında, standard sıcaklık ve basınçta, 1 kmol metan, ortalama 22,4 litreye eşittir ve ortalama 1 ton şehir atığı 94,0– 123,0 m<sup>3</sup> metan üretebilir.

İstanbul Odayeri'nde yapılan son çalışmalar; biri sızıntı suyu sirkülasyonu olan diğerinin sızıntı sirkülasyonu olmayan iki test hücresindeki çalışmada, ton başına nemli atık için metan üretimi oranları, 34,5 m<sup>3</sup> olduğu ölçülmüştür.

Böylece, atık sahasında, teoride varsayılan 123 m<sup>3</sup> metanın % 75'den fazlası kontrolsüz olarak atmosfere yayılacağını gösterir. 2012 yılında, yaklaşık 3.100 milyonm<sup>3</sup> metanın Türkiye'deki çöplüklerden yayıldığı tahmin edilmektedir. İstanbul, Ankara ve İzmir'de emisyon oranları: 700, 250, 200 milyonm<sup>3</sup>'dür.

2023 yılında, ülke çapında emisyon 3.500 milyon m<sup>3</sup>'e, İstanbul, Ankara ve İzmir'de: 800, 280 ve 240 milyon m<sup>3</sup>, ulaşacağı tahmin edilmektedir. Metanın, m<sup>3</sup> başına kalorifik değerinin yaklaşık 10 kWh olduğu, belediye katı atığından ton başına 94,0 - 123,0 m<sup>3</sup> metan açığa çıktığı, % 25 yakalama oranı ile yakalandığı, kombine ısı ve güç tesislerinde % 40 elektrik verimliliği ile değerlendirildiği varsayılmaktadır. Aşağıda Çizelge 5.10'de; Türkiye'de, illere göre depolanan EKA'nın ton başına, hesaplanan tahmini metan üretimi potansiyeli, milyon m<sup>3</sup> verilmektedir.

**Çizelge 5.10:** Bazı illerde EKA'nın ton başına tahmini metan üretimi, milyonm<sup>3</sup> [22].

| Şehir          | Yıl     |         |         |
|----------------|---------|---------|---------|
|                | 2012    | 2018    | 2023    |
| Adana          | 80-140  | 85-111  | 89-117  |
| Adıyaman       | 13-17   | 14-18   | 14-19   |
| Afyonkarahisar | 24-31   | 25-33   | 27-35   |
| Ağrı           | 10-13   | 11-14   | 11-15   |
| Amasya         | 12-16   | 13-17   | 13-17   |
| Ankara         | 193-253 | 206-270 | 216-283 |
| Antalya        | 86-113  | 92-121  | 97-127  |
| Artvin         | 3-4     | 3-4     | 3-4     |
| Aydın          | 33-43   | 35-46   | 37-49   |
| Balıkesir      | 43-56   | 46-60   | 48-63   |
| Bilecik        | 7-9     | 8-10    | 8-10    |
| Bingöl         | 6-8     | 7-9     | 7-9     |
| Bitlis         | 7-9     | 7-9     | 7-10    |
| Bolu           | 9-12    | 9-12    | 10-13   |
| Burdur         | 7-9     | 7-10    | 8-10    |
| Bursa          | 83-108  | 88-116  | 93-121  |
| Çanakkale      | 15-19   | 16-21   | 17-22   |
| Çankırı        | 5-7     | 6-7     | 6-8     |
| Çorum          | 15-20   | 16-21   | 17-22   |
| Denizli        | 27-35   | 29-38   | 30-40   |
| Diyarbakır     | 37-48   | 39-51   | 41-54   |
| Edirne         | 19-24   | 20-26   | 21-27   |
| Elazığ         | 19-25   | 20-27   | 21-28   |
| Erzincan       | 8-11    | 9-11    | 9-12    |
| Erzurum        | 18-24   | 19-25   | 20-27   |
| Eskişehir      | 26-35   | 28-37   | 30-39   |
| Gaziantep      | 40-52   | 43-56   | 45-58   |

Türkiye'de; özellikle Gaziantep civarındaki bazı illerde ve toplamda, 2012 ve 2023 yılları arasında, metan potansiyeli için % 25 yakalama oranı, % 40 elektrik verimliliği varsayımına göre hesaplanan tahmini elektrik üretim potansiyelleri, Çizelge 5.11'de görülebilir.

**Çizelge 5.11:** Bazı illerde, tahmini elektrik üretim potansiyeli, GWh [22].

| Şehir           | Yıl         |             |             |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|
|                 | 2012        | 2018        | 2023        |
| Adana           | 64-83       | 68-89       | 71-94       |
| Adıyaman        | 11-14       | 11-14       | 11-15       |
| Diyarbakır      | 30-38       | 31-41       | 33-43       |
| Elazığ          | 15-20       | 16-22       | 17-22       |
| Erzincan        | 6-9         | 7-9         | 7-10        |
| Erzurum         | 14-19       | 15-20       | 16-22       |
| Gaziantep       | 32-42       | 34-45       | 36-46       |
| Hatay           | 29-38       | 31-41       | 32-42       |
| Mersin          | 43-57       | 46-61       | 49-64       |
| Malatya         | 16-21       | 17-22       | 18-23       |
| Kahramanmaraş   | 20-26       | 21-28       | 22-29       |
| Mardin          | 11-15       | 12-16       | 13-17       |
| Şanlıurfa       | 24-31       | 26-34       | 27-35       |
| ....            | ....        | ....        | ....        |
| Türkiye Toplamı | 1.950-2.551 | 2.085-2.728 | 2.184-2.858 |

Bu çalışmada, Türkiye’de şehirlerin çöplüklere de EKA’dan doğrudan yakma ve metan gazı enejiyi yoluyla elektrik üretimi potansiyeli detaylı olarak tahmin edilmektedir. Sonuçlar hem ekonomik hem de çevresel açıdan büyük önem taşımakta ve evsel katı atıklardan enerji geri kazanımının yararını göstermektedir. Sonuç olarak, bu çalışma ayrıca biyogaz ve Türkiye'deki evsel katı atık yakma yatırımları ve hem akademik hem de ekonomik açıdan daha sonraki yıllarda çevresel etkilerin analizi için bir referans çalışma olarak kullanılabilir.



## **6. TÜRKİYE’DE DEPO GAZINDAN ENERJİ ÜRETİMİ VE GAZİANTEP ÖRNEĞİ**

### **6.1 Türkiye’de Depo Gazından Elektrik Üretimi**

EKA’dan, 2012 yılında, doğrudan yanma metodu ile 8.500 GWh elektrik elde edilebileceğinin tahmin edilmektedir. Bu değer, 2023 yılında 9.700 GWh’e yükseleceği tahmin edilmektedir.

Türkiye’de lisans almış biyokütle santralleri incelendiğinde ilk sırayı çöpten biyogaz üreten santrallerin aldığı görülmektedir. EPDK’dan lisans almış toplam 64 tesisin 23’ü çöp gazı tesisi olup; lisanslı kapasite 2013 yılı sonu itibariyle 173 MW’a ulaşmıştır. İşletmedeki kapasite yaklaşık 75 MWe’dir.

2012 yılında Türkiye'nin çöplüklerinden yayılan metan miktarının 3.100 milyon m<sup>3</sup> olacağı hesaplanmakta, eğer hiçbir çalışma yapılmazsa bu değer 2023 yılında 3.600 milyon m<sup>3</sup>e çıkacağı tahmin edilmektedir.

2023 yılına kadar, mevcut atık depolama sistemi ile biyoreaktörler aracılığıyla, metan emisyonunun % 25’inin yakalanarak 2.900 GWh elektrik enerjisi elde edileceği yani Türkiye'nin yıllık elektrik ihtiyacının % 0,5’inin karşılanacağı, tahmin edilmektedir. Oysa Çizelge 6.1 de görülen mevcut durum, bu kapasitenin çok altında tesise sahip olduğumuzu göstermektedir.

Depogazı tesislerinin 2013 sonu itibarı ile detaylı listesi aşağıda Çizelge 6.1 ‘de görülmektedir.

Türkiye’deki depogazı kurulu gücü göz önünde bulundurulduğunda kapasitenin tam kullanılmadığı ve gelişim potansiyelinin bulunduğu açıktır. Katı atık depolama alanlarının son 20 yıldaki hızlı gelişimi de bu alandaki potansiyele işaret etmektedir.

Hali hazırda çöpten elektrik üretimi büyük oranda belediyeler tarafından gerçekleştirilmektedir.

**Çizelge 6.1:** Türkiye’de depogazı tesislerinin listesi (2013 sonu) [33].

| No                                       | Durumu  | Tesisin Adı   | Lisans Kapasitesi | İşletme Kapasitesi |
|--|---------|---|-------------------|--------------------|
|  |         |   | MWe               | MWe                |
| 1  | Devrede | Gaziantep BB Şahinbey Depogazı Enerji Üretim Tesisi | 5,66              | 5,56               |
| 2  | Devrede | Her Enerji Kayseri Depogazı Enerji Üretim Tesisi    | 2,87              | 2,87               |
| 3  | Devrede | Kırıkkale Depogazı Enerji Üretim Tesisi             | 1,00              | 1,00               |
| 4  | Devrede | Aslım Konya Depogazı Enerji Üretim Tesisi           | 5,66              | 5,66               |
| 5  | Devrede | Kocaeli Depogazı Enerji Üretim Tesisi               | 2,26              | 1,20               |
| 6  | Devrede | İzaydaş Depogazı Enerji Üretim Tesisi               | 0,75              | 0,00               |
| 7  | Devrede | Odayeri Depogazı Enerji Üretim Tesisi               | 28,15             | 21,23              |
| 8  | Devrede | Kömürcüoda Depogazı Enerji Üretim Tesisi            | 14,15             | 5,80               |
| 9  | Devrede | Mamak Depogazı Enerji Üretim Tesisi                 | 36,00             | 25,43              |
| 10                                       | Devrede | Kemerburgaz Depogazı Enerji Üretim Tesisi           | 5,83              | 0,98               |
| 11                                       | Devrede | Ekolojik Enerji Ltd Şti Depogazı Enerji Tesisi      | 0,80              | 0,00               |
| 12                                       | Devrede | Bolu Depogazı Enerji Üretim Tesisi                  | 1,13              | 1,13               |
| 13                                       | Devrede | Kumkısık Depogazı Enerji Üretim Tesisi              | 0,64              | 0,64               |
| 14                                       | Devrede | Hasdal Depogazı Enerji Üretim Tesisi                | 4,02              | 4,02               |
| Depogazı enerji üretim tesisleri toplamı |         |   | 108,91            | 75,52              |

Pratik bir yaklaşımla, çöpgazı tesislerinde yaklaşık 1,2 MW’lık kurulu güç için, günlük yaklaşık 200 ton belediye atığı gerekmektedir.

6094 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kanunu 29.12.2010 ve yasanın revizyonuna göre; yenilenebilir enerjilerin teşvik edilmesi adına biyokütle/çöp gazından üretilen enerjinin garanti edilen satın alma fiyatı % 82 artarak 0,133 ABD\$/kWh olmuştur. Bu fiyatın uygulanmasıyla, birçok yatırıma başlanmıştır. Ayrıca, Türkiye Kalkınma Bankası, bu tesisleri kredilendirirken; karbon gelirini de göz önünde almaktadır.

## 6.2 Gaziantep’de Depo Gazından Elektrik Üretimi

Gaziantep Büyükşehir Belediyesi, yatırımcı, “CEV Enerji Üretim Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. (Türk – G. Kore ortak girişimi)” ile çöp sahasının 29 sene boyunca işletme hakkı sözleşmesini yapmıştır. CEV firması, ilk etapta 3.3 MWe’lik üretim lisansı almış, daha sonra bu lisans 2013’de genişletilerek 5,55 MWe seviyesine yükseltilmiştir.

Gaziantep’de depo gazından enerji elde etme projesi, karbon danışmanı olan Mavi Consultants tarafından Gold Standard altında bir gönüllü karbon azaltım projesi olarak geliştirilmiş olup; bu projenin karbon emisyon azaltımı; yılda 90,896 tonCO<sub>2</sub> olarak hesaplanmıştır.

Proje Türkiye’deki ilk atıktan enerji projelerinden biri olarak, öncü ve yenilikçi bir rol oynamaktadır. Projenin aşağıdaki etkileri yapması beklenmektedir:



Çöp sahasının örtülmesinin sonucu, görüntü kirliliği, kötü koku, halk sağlığı ve hijyene dair iyileştirmeler, metanın atmosfere kaçmasının engellenmesi, gazın enerji üretiminde değerlendirilerek yakılması, eşdeğer fosil yakıtların ikamesi; böylece dolaylı olarak global ısınmaya karşı savaşma, katı atıklarda bulunan çöp gazı birikimini minimuma indirerek çöp sahasında patlama ya da yangın riskinin azaltılması, yerel halkın istihdam edilmesi; böylece bölgede yaşam standardının artırılması ve yeni iş imkanları yaratılması. [24]

Uygulamaya konulan ‘Katı Atık Düzenli Depolama Alanının Rehabilitasyonu ve Elektrik Üretim Tesisi Projesi’ için imzalanan sözleşmenin ardından, 10 ay içinde tamamlanan tesis, 2010 yılında elektrik üretimine başlamıştır.

Tesis, çevre kirliliğini önlerken, çöpün enerjiye dönüşmesini sağlamakta, aynı zamanda küresel ısınmaya sebebiyet veren gazları ve bunların oluşturduğu kötü kokuları yok ederek çevre kirliliğini önlemesine katkıda bulunmaktadır.

“CEV Enerji”, ilçe belediyeler tarafından toplanan atıkları ücretsiz olarak, atıkları ve atıklardan elde edilecek enerjiyi kullanma hakkı karşılığında kabul etmektedir. Yüklenici ve belediye arasında yapılan anlaşmaya göre, Büyükşehir Belediyesi, çöp sahasındaki haklarını işletmeci firmaya devretmiş ve sadece atık yönetimi ve enerji üretimi konularında, denetleyen otorite konumunda kalmıştır.

Sözleşmesi, çöp sahası ve kabul edilen atıkla ilgili özel hakları, çöp gazının çöp sahasındaki bir tesiste elektrik üretilmesi ve şebekeye iletilmesi ve yakılmasını içermektedir.

Şekil 6.1’de, Türkiye’deki katı atıkların düzenli depolandığı alanlar ve bu alanlarda elektrik üretimi yapan tesisler; Gaziantep tesisi de dahil olmak üzere gösterilmektedir.



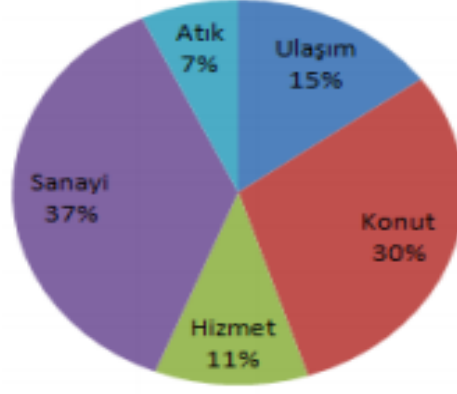
**Şekil 6.1:** Türkiye’de KKA depolama alanları ve elektrik üretim tesisleri [24].

Gaziantep Büyükşehir Belediyesi için Bölgesel İklim Değişikliği Eylem Planı’nı, ICE, Mavi Consultants ve Gaziantep Üniversitesi tarafından yürütülmüş, Fransız Kalkınma Ajansı (AFD) ve Gaziantep Büyükşehir Belediyesi tarafından finanse edilmiştir.

Çalışmanın sonuçları, Gaziantep Büyükşehir Belediyesi için Bölgesel İklim Değişikliği Eylem Planı’nın hazırlanmasında kullanılmıştır.

Sera Gazı Emisyonları Küresel GHG emisyon dengesi (bölgenin ve konutların faaliyetlerini göz önünde bulundurarak) 4,560 kton CO<sub>2</sub>e’ye eşittir ve kişi başına düşen miktar 3.52 ton CO<sub>2</sub>e dolaylarındadır.

Atık sektörü kaynaklı emisyonlar: Kişi başı 0,24 tonCO<sub>2</sub> dur. Şekil 6.2’de, Gaziantep yöresinde, sera gazı emisyonlarının dağılımı grafik şeklinde görülmektedir. [34]



**Şekil 6.2:** Gaziantep ilinde, sera gazı emisyonlarının dağılımı.

İklim Değişikliği Eylem Plan'ının hazırlanma amacı, Gaziantep ilinin mevcut görünümünü analiz edip değerlendirmek, yakın gelecekte ortaya çıkabilecek fırsat ve tehditlere hazırlanmak ve gerekli iklim değişikliğini dindirme ve iklim değişikliğine adaptasyon eylemlerini proaktif olarak ele almaktır.

Çevre Koruma ve Kontrol Daire Başkanlığı, İklim Değişikliği Eylem Planı'nı geliştirme çalışmasının ana ortaklarından. Bölüm, tehlikeli ve tıbbi atık ve hava kalitesi denetiminden sorumludur ve aynı zamanda belediye alanında kullanılan ambalaj atıkları ve bitkisel yağ konularını koordine etmektedir. Başkanlık, ayrıca, Parklar ve Bahçeler Müdürlüğü tarafından organik atıkların toplanmasını ve metan gazı üretimi için atık su tesislerine transferini koordine etmektedir.

Atık üretimi, atık su ve ilgili arıtmaları yılda yaklaşık 320 kton CO<sub>2</sub> salınım, kişi başına 0,25 ton CO<sub>2</sub> üretmektedir. Bu denge çöp sahasına gelen günlük girdiye bağlıdır. İşletmelerden ve evlerden gelen günlük ortalama 1,000 ton çöp gelmektedir. Bu miktar, Gaziantep'in toplam nüfusuyla ve Türkiye'de kişi başına ortalama atıkla (300-350 kg/yıl) uyumludur. Çöp sahasında gerçekleştirilen metanizasyon faaliyetlerinden kaynaklı emisyon azaltımları sera gazı dengesine dahil edilmemiştir. Hesaplanan değer çöp sahasındaki toplan salınımın % 10–15 azaltımıdır.

Çöp sahasında, metan geri kazanımının ve enerji verimliliğinin güçlendirilmesi, iklim eylem planında: "Çöp Sahasında Metan Geri Kazanımının Enerji Verimliliğinin Güçlendirilmesi" başlığı altında raporda yer almaktadır [24].

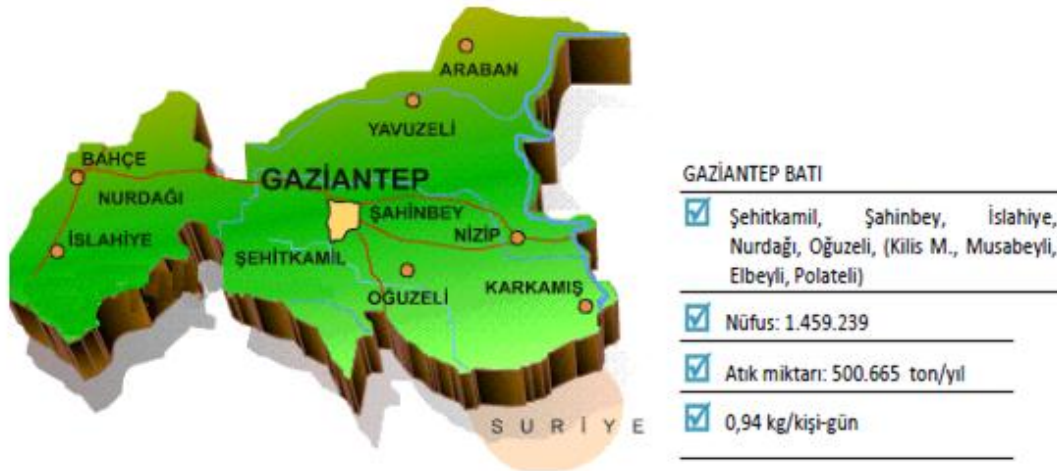
Şekil 6.3'de, Gaziantep Şahinbey'de yer alan depo gazından elektrik üretim tesisi görülmektedir.



Şekil 6.3: Gaziantep Şahinbey Elektrik Üretim Tesisi [24].

### 6.3 Gaziantep Kentsel Katı Atık Miktarı:

İlde, son 10 yıl içerisinde oluşan katı atık miktarı yaklaşık 2 kat artmıştır. Katı atıkların bertarafı amacıyla kullanılan “Mazmahor Düzenli Depo Sahası”nın 2046 yılına kadar hizmet vermesi planlanmakta olup bu amaçla 32,3 ha’lık bir alan ayrılmıştır. Bu alanda depo gazından enerji elde edilmesi ve depo sahası rehabilitasyonu işleri için herhangi bir bedel ödenmeyeceğinden 29 yılın sonunda belediyenin bu kalemden; 58 milyon USD kazanç sağlaması beklenmektedir. Şekil 6.4’de, Mazmahor sahasının taşınan atıklarla ilgili bilgi ve nerelerden toplandığı görülmektedir.



Şekil 6.4: Gaziantep Batı mücavir alanı bilgisi [25].

Gaziantep'te katı atıklar 1996 yılına kadar vahşi depolama yöntemiyle Beylerbeyi mevkiinde ve şehre yakın yerlerde depolanmıştır.

Daha sonra 1993 yılında GAP idaresinin finansman desteği sağlanarak Mazmahor Uzundere Mevkiinde Gaziantep Büyükşehir Belediyesi tarafından katı atık düzenli depolama sahası yapılmasına başlanmıştır, 2009'da özelleştirilmiştir. Yapılan bu düzenli depolama sahası ile birlikte katı atıklar şimdi 32,3 ha katı atık depolama alanı 10.000.000 m<sup>3</sup> katı atık depolayabilme kapasitesiyle 2046 yılına kadar Gaziantep'in ihtiyacına cevap verebilecek olan bu alanda depolanmaktadır.

2010 yılı itibari ile Gaziantep mücavir alanında toplanan atık miktarı aşağıdadır:

Gaziantep Batı: Nüfus: 1.459.239; atık miktarı: 500.665 ton/yıl; 0,94 kg/kişi-gün (Geri kazanım sonrasında bu miktar 438.000 tona düşmüştür.) Gaziantep Batı Kapsadığı yerleşim birimleri: Şehitkamil, Şahinbey, İslahiye, Nurdağı, Oğuzeli ve Kilis Merkez

Gaziantep Doğu: Nüfus: 181.210; atık miktarı: 62.173 ton/yıl; 0,94 kg/kişi-gün. Gaziantep Doğu Kapsadığı yerleşim birimleri : Araban, Yavuzeli, Nizip, Karkamış

1996-2008 yılları arasında Gaziantep'de düzenli depolama sahasında, aylara göre depolanan atık miktarları Çizelge 6.2'de verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, yıllara göre atık miktarlarında artış olduğu gözlenmiştir.

**Çizelge 6.2:** Gaziantep nüfusu ve düzenli depolanan KKA miktarları [27].

| Yıl           | Aylara göre toplanan miktar (ton/ay) x10 <sup>3</sup> |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | Yıllık Miktar<br>(ton/yıl) x10 <sup>3</sup> |
|---------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|
|               | 01  | 02   | 03   | 04   | 05   | 06   | 07   | 08   | 09   | 10   | 11   | 12   |   |
| <b>1996</b>   |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 129,3                                       |
| <b>1997</b>   | 9,5   | 11,3 | 15,0 | 17,6 | 11,3 | 10,6 | 12,2 | 13,7 | 13,9 | 14,7 | 13,2 | 16,0 | 158,9                                       |
| <b>1998</b>   | 15,6  | 14,2 | 15,8 | 14,3 | 13,1 | 13,2 | 14,8 | 16,0 | 15,1 | 14,4 | 14,7 | 18,3 | 179,5                                       |
| <b>1999</b>   | 16,3  | 16,9 | 18,7 | 15,2 | 14,5 | 14,9 | 14,9 | 17,5 | 16,5 | 15,6 | 16,1 | 19,5 | 196,7                                       |
| <b>2000</b>   | 19,1  | 19,1 | 19,4 | 16,2 | 16,3 | 15,0 | 15,8 | 18,2 | 17,8 | 17,0 | 16,2 | 21,4 | 211,5                                       |
| <b>2001</b>   | 20,2  | 17,5 | 19,2 | 14,0 | 14,0 | 13,7 | 14,8 | 17,2 | 16,5 | 16,0 | 17,2 | 19,2 | 199,4                                       |
| <b>2002</b>   | 20,2  | 17,5 | 15,8 | 18,0 | 17,0 | 17,0 | 19,8 | 21,4 | 19,8 | 19,0 | 17,4 | 21,6 | 224,4                                       |
| <b>2003</b>   | 23,1  | 17,8 | 24,1 | 16,6 | 15,6 | 16,1 | 19,5 | 19,6 | 21,2 | 20,3 | 20,9 | 25,9 | 240,9                                       |
| <b>2004</b>   | 26,9  | 25,6 | 23,0 | 19,1 | 18,9 | 19,9 | 21,2 | 22,8 | 23,0 | 21,9 | 23,9 | 28,9 | 275,2                                       |
| <b>2005</b>   | 28,1  | 24,1 | 25,6 | 22,8 | 21,0 | 22,4 | 17,6 | 28,9 | 15,0 | 29,4 | 29,7 | 30,7 | 295,4                                       |
| <b>2006</b>   | 34,7  | 30,8 | 29,8 | 26,6 | 27,8 | 26,3 | 28,7 | 33,6 | 30,9 | 30,4 | 31,5 | 34,0 | 365,0                                       |
| <b>2007</b>   | 31,8  | 31,6 | 30,9 | 27,9 | 29,3 | 30,5 | 33,3 | 32,7 | 32,6 | 30,6 | 30,7 | 40,0 | 381,9                                       |
| <b>2008</b>   | 37,1  | 35,5 | 31,3 | 24,4 | 24,0 | 27,3 | 28,3 | 30,7 | 31,6 | 27,3 | 26,6 | 30,7 | 354,9                                       |
| <b>Toplam</b> |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | <b>3.213</b>                                |

Katı atıklar heterojen bir yapıya sahiptir ve bölgeden bölgeye bileşimi farklılıklar göstermektedir.

Gaziantep’te 2006 yılında şehrin iki farklı bölgesinden alınan numunelerde ve 2008 yılında depo sahasına farklı bölgelerden gelen atıkların karışımıyla elde edilen numunelerde gerçekleştirilen madde grubu analizi sonuçları Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Bu çizelgede; katı atık bileşiminin bölgeden bölgeye ve analiz zamanına göre önemli değişiklikler gösterdiği açıkça görülebilmektedir.

**Çizelge 6.3:** Gaziantep katı atık bileşenleri (% Yaş ağırlık olarak) [27].

| Parametre        | Bölge 1    | Bölge 2    | YTÜ (2008) |
|------------------|------------|------------|------------|
| Kül ve diğerleri | 42,9       | 26,5       | 13,0       |
| Organik madde    | 30,4       | 52,9       | 49,0       |
| Kağıt            | 4,5        | 7,7        | 9,0        |
| Plastik          | 6,8        | 2,7        | 4,0        |
| Cam              | 12,1       | 2,1        | 5,0        |
| Tekstil          | 1,5        | 0,8        | 2,0        |
| Metal            | 1,5        | 0,4        | 1,0        |
| Ahşap            | 0,3        | 6,9        | 2,0        |
| Çocuk bezi       | ...        | ...        | 7,0        |
| Poşet            | ...        | ...        | 8,0        |
| <b>Toplam</b>    | <b>100</b> | <b>100</b> | <b>100</b> |

İlde atık yakma ve kompost tesisi bulunmamaktadır.

2008 yılında yapılan madde grubu analizi çalışmalarına ilave olarak katı atıkların su muhtevası, organik madde muhtevası, kül muhtevası, toplam organik karbon içeriği, toplam azot miktarı ve karbon/azot oranı gibi özellikleri de belirlenmiştir.

Gaziantep ili kentsel katı atıklarının özelliklerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar Çizelge 6.4’de verilmiştir:

**Çizelge 6.4:** Gaziantep katı atıklarının özellikleri [27].

| Parametre                             | Değer |
|---------------------------------------|-------|
| Nem muhtevası                         | 48    |
| Organik madde muhtevası (Yanabilen %) | 76    |
| Kül muhtevası (Yanmayan %)            | 24    |
| Toplam organik karbon (%)             | 27,8  |
| Azot (%)                              | 1,2   |
| C/N oranı                             | 23,2  |

Öte yandan, bölgedeki demografik ve sosyal yapı birbirine yakındır. Kahramanmaraş, Şanlıurfa, Malatya, Gaziantep, Erzincan, Malatya vb illerdeki atık incelemeleri sonuçları birbirine yakındır. Bu sayede, atık analizleri karşılaştırılabilir, eksik analizleri tamamlamakta yardım alınabilir ve atık bertarafı ile ilgili çalışmalar birbirine ışık tutabilir.

Bu çerçevede, en yeni ve detaylı analiz sonuçlarının elde edildiği Kahramanmaraş iline ait analizler temin edilmiş ve yapılan çalışmada yararlanılmıştır. Çizelge 6.5’de 2014 yılı verilerine göre Kahramanmaraş’ın, ve diğer çevre illerin çeşitli yıllara ait KKA karakterizasyonu verilmektedir:

**Çizelge 6.5:** Kahramanmaraş ve civar illerin çöp karakterizasyonu [28].

| Muhteva                       | Kahramanmaraş |       | Erzincan      | Ş.Urfa        | Malatya       |
|-------------------------------|---------------|-------|---------------|---------------|---------------|
|                               | Madde grubu % | Nem % | Madde grubu % | Madde grubu % | Madde grubu % |
| Kağıt ve karton               | 9,1           | 42    | 7,85          | 3,65          | 11            |
| Poşet                         | 7,1           | 32,34 |               |               |               |
| Plastikler                    | 2,1           | 23,28 | 5,05          | 4,25          | 6,6           |
| Organik maddeler              | 54,23         | 72,22 | 40            | 44,25         | 43            |
| Kauçuk ve deri atık           | 1,23          | 7,6   |               |               |               |
| Çocuk bezi ve hijyenik PED    | 8,5           | 73,11 |               |               |               |
| Tasnif dışı yanabilir atıklar | 3,34          | 31,33 | 15,35         | 18,2          | 9,2           |
| Tekstil atıkları              | 2,6           | 28,54 |               |               |               |
| Bahçe atıkları                | 0,16          | 29,24 | 0,45          | 0,85          | 2             |
| Ahşap                         | 0,16          | 17,21 |               |               |               |
| Tehlikeli maddeler ve pil     | 0,11          | 2,5   | 0             | 0             | 0,3           |
| Elektronik malzeme            | 0,21          | 1,23  | 0             | 0             | 0,5           |
| Ayrışamayan maddeler          | 8,6           | 19,28 | 22,4          | 24,5          | 23,7          |
| Demir içeren metallere        | 0,2           | 1,66  | 0,9           | 2,8           | 2,4           |
| Demir içermeyen metallere     | 0,24          | 1,38  |               |               |               |
| Cam                           | 2,12          | 2,87  | 8             | 1,5           | 1,3           |
| Toplam                        | 100           | ...   | 100           | 100           | 100           |

Kahramanmaraş KKA’ı için diğer bilgiler; yoğunluk, nem ve kalorifik değerler aşağıdadır:

- Yoğunluk, kg/m<sup>3</sup> : 294,45
- Ortalama su muhtevası : % 55,56
- Üst kalorifik değer, kcal/kg : 4.004
- Alt kalorifik değer, kcal/kg : 1.868

Gaziantep için elimizdeki en detaylı çalışma, büyükşehir belediyesinin kış ayını kapsayan ve Çizelge 6.6’de verilmiş olan aşağıdaki değerlerdir:

**Çizelge 6.6:** Gaziantep BB kış katı atık karakterizasyonu [26].

| Atık bileşeni        | Gelir seviyeleri |       |       |       |        |       |       |       | Topl. net kg | % Net |
|----------------------|------------------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|--------------|-------|
|                      | Düşük            |       | Orta  |       | Yüksek |       | Çarşı |       |              |       |
|                      | Brüt             | Net   | Brüt  | Net   | Brüt   | Net   | Brüt  | Net   |              |       |
| Mutfak               | 74,0             | 62,0  | 148,0 | 136,0 | 184,0  | 172,0 | 148,0 | 136,0 | 506,0        | 39,79 |
| Kağıt                | 20,0             | 8,0   | 26,0  | 14,0  | 16,0   | 4,0   | 40,0  | 28,0  | 54,0         | 4,25  |
| Karton               | 12,0             | 0,0   | 12,0  | 0,0   | 12,0   | 0,0   | 12,0  | 0,0   | 0,0          | 0,00  |
| Hacimli karton       | 12,0             | 0,0   | 12,0  | 0,0   | 22,0   | 10,0  | 12,0  | 0,0   | 10,0         | 0,79  |
| Plastik              | 46,0             | 34,0  | 68,0  | 56,0  | 56,0   | 44,0  | 70,0  | 58,0  | 192,0        | 15,10 |
| Cam                  | 18,0             | 6,0   | 16,0  | 4,0   | 16,0   | 4,0   | 20,0  | 8,0   | 22,0         | 1,73  |
| Metal                | 16,0             | 4,0   | 18,0  | 6,0   | 13,0   | 1,0   | 14,0  | 2,0   | 13,0         | 1,02  |
| Hacimli metal        | 12,0             | 0,0   | 12,0  | 0,0   | 12,0   | 0,0   | 12,0  | 0,0   | 0,0          | 0,00  |
| Elektrik-elektronik  | 12,0             | 0,0   | 12,0  | 0,0   | 12,0   | 0,0   | 12,0  | 0,0   | 0,0          | 0,00  |
| Tehlikeli            | 12,0             | 0,0   | 12,0  | 0,0   | 12,0   | 0,0   | 12,0  | 0,0   | 0,0          | 0,00  |
| Park ve bahçe        | 12,0             | 0,0   | 56,0  | 44,0  | 28,0   | 16,0  | 12,0  | 0,0   | 60,0         | 4,72  |
| Diğer yanabilen      | 54,0             | 42,0  | 12,0  | 0,0   | 12,5   | 0,5   | 26,0  | 14,0  | 56,5         | 4,44  |
| Diğer yanan hacimli  | 12,0             | 0,0   | 42,0  | 30,0  | 12,0   | 0,0   | 26,0  | 14,0  | 44,0         | 3,46  |
| Diğer yanmaz hacimli | 12,0             | 0,0   | 12,0  | 0,0   | 12,0   | 0,0   | 12,0  | 0,0   | 0,0          | 0,00  |
| Diğer                | 46,0             | 34,0  | 12,0  | 0,0   | 12,0   | 0,0   | 12,0  | 0,0   | 34,0         | 2,67  |
| Kül (Toz talaş, kum) | 152,0            | 140,0 | 148,0 | 136,0 | 16,1   | 4,1   | 12,0  | 0,0   | 280,1        | 22,03 |
| Toplam               |                  | 330,0 |       | 426,0 |        | 255,6 |       | 260,0 |              | 100,0 |

#### 6.4 Katı Atık Depo Sahalarında Oluşan Gaz Hesabı

Depo gazının en önemli özelliği, metan içeriğidir ve ortalama alt kalorifik değer  $m^3$  başına 19.750 kJoule civarındadır.

Depolama sahası kapatıldıktan sonra uygun teknoloji kullanılarak depo gazından enerji elde etmek mümkündür. Bir milyon ton çöpün ayrışması sonucu  $510 m^3/gün$  depo gazı geri kazanılabilir, yaklaşık 800 kW elektrik üretimi için yeterlidir. Depo gazından enerji üretim tesisinin ömrü 10-20 yıl arasında değişmektedir. Depolama sahası yaşlandıkça zaman içinde gaz oluşum hızı kademeli olarak düşer. Kümülatif gaz üretimi ise pik noktaya ulaştıktan sonra istikrarlı hale gelir. Bir depo gazı geri kazanım projesi yapmadan önce mevcut ve gelecekteki potansiyel depo gazının miktarı bilinmelidir. Toplanan gazın miktarı, dökülen atık miktarı, bu atıkların özellikleri, tesis ve toplama sisteminin tasarımı gibi birçok faktöre bağlıdır.



Mevcut gaz üretimini hesaplamak için en güvenilir metot, test kuyuları açmak ve bu kuyularda toplanan gazı ölçmektir. Bu yöntem çok pahalıdır ve ancak depo alanında büyük miktarlarda gaz üretilmesi için yeterince atık bulunması halinde bu yönteme başvurulur. Test kuyuları belirli zamanlarda sahadaki gaz üretim hızlarına dair gerçek veriler sağlanmasına karşılık, matematiksel model hesapları sahadaki depolama esnasında ve kapatılmasından sonra gaz üretimine ilişkin veriler ortaya koymaktadır.

Oluşacak depo gazının tümünün geri kazanılması mümkün değildir. Ortalama olarak oluşan gazın sahanın iyi bir şekilde kapatılması şartıyla % 60'ı ile % 90'ı geri kazanılabilir. Metan gazının elektrik enerjisi eşdeğeri 10 kWh/m<sup>3</sup>'tür. Depo gazının % 50'sinin metan olduğu kabulüyle, depo gazının enerji eşdeğeri 5 kWh/m<sup>3</sup> alınmıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucu gazın direkt ısıtma amaçlı veya gaz motorlu kojenerasyon tesisinde değerlendirilebileceği görülmüştür.

Matematik modeller tipik olarak depolama zamanı, depolanan atığın miktarı ve atıkların özellikleri gibi verilere ihtiyaç göstermektedir. Katı atık depo sahalarında oluşan gazın belirlenmesiyle ilgili birçok model geliştirilmiştir [16].

#### **6.4.1 LandGEM modeli ile tahmin**

Sabit veya yıldan yıla değişkenlik gösteren miktarlarda KKA depolanan sahalarda oluşan gazın belirlenmesiyle ilgili modellerden biri de; EPA'nın (Environmental Protection Agency) geliştirdiği LandGEM (depo gazı emisyon modeli) dir.

Modelde depo gazı oluşma hızı birinci derece bozunma denkleminde dayanmaktadır. "LandGEM Depolama Gazı Emisyonları Modeli, Versiyon 2.0", depolama gazı potansiyelinin hesaplanması amacıyla geliştirilen bir programdır. Modelin çalıştırılabilmesi için şu özel bilgilere ihtiyaç vardır [18]:

- Depolanan yıllık atık miktarı veya depolama alanında bulunan toplam atık miktarı,
- Metan oluşum hızı (k),
- Metan üretim potansiyeli (L<sub>0</sub>),
- Depolama sahasının açılış ve kapanış yılları veya depolama sahasının kullanım yılı,

Modelde kullanılan denklem 6.1, esas olarak aşağıdaki ifadeyi esas almaktadır:

$$Q_t = 2.L_0.m_0.(e^{-kt_c} - e^{-kt}) \quad (5.3)$$

$Q_t$ : t yılda üretilmesi beklenen gaz miktarını, (m<sup>3</sup>/yıl)

$L_0$ : Depolanan kentsel katı atığın metan üretim potansiyeli (140-180 m<sup>3</sup>CH<sub>4</sub>/ton KKA)

$m_0$ : Depolanan yıllık ortalama atık miktarı (ton/yıl)

$k$ : Metan üretim hızı sabiti, yıl<sup>-1</sup>. (yağışlı bölgelerde 0,1-0,53; orta derece yağışlı bölgelerde 0,05-0,15; kuru bölgelerde 0,02-0,1 seçilmesi tavsiye edilmektedir.)

$t_c$ : depo kapatıldıktan sonraki süre, yıl

$t$ : İlk atık depolanmaya başlamasından sonra geçen süre, yıl

Aktif depolama alanları için  $t_c=0$  and  $e^{-k.t_c}=1$  ve yukarıdaki formül denklem 6.2 ile ifade edilir:

$$Q_t = 2 . L_0 . m_0 . ( 1 - e^{-k.t} ) \quad (6.2)$$

Kapatılmış depolama alanları için ise denklem 6.3 geçerlidir:

$$Q_t = 2 . L_0 . m_0 . ( e^{-k.t_a} - 1 ) . e^{-k.t} \quad (6.3)$$

$t_a$ : depolamanın aktif operasyon zaman periyodu, yıl

#### 6.4.2 Tabasaran ve Rettenberg modeli ile tahmin

TOC'nin biyobozunur kısmı aşağıdaki denklem 6.4 ve 6.5 ile hesaplanır:

$$TOC_{BP,T} = C_0 - C = C_0 - C . e^{-ket} = C_0 . ( 1 - e^{-ket} ) \quad (6.4)$$

$$G_t = G_e . ( 1 - 10^{-kt} ) . M_t \quad (6.5)$$

veya  $G_e$ , ilk eşitlikte değiştiğinde denklem 6.6 ile hesap yapılmaktadır:

$$G_t = 1,868.C_{org}.(0,014 \theta + 0,28).( 1 - 10^{-kt} ).M_t \quad (6.6)$$

$G_t$ : t yıl süresinde toplam depo gazı üretim, m<sup>3</sup>

$k$ : metan üretim oranı katsayısı, yıl<sup>-1</sup>

$t$ : atık depolama başladığından itibaren zaman periyodu, yıl

$M_t$ : t yıl boyunca depolama sahasına kabul edilen atık miktarı, ton/yıl

$C_{org}$ : TOC depolanan EKA miktarı (170 - 200 kg/ton)

$\theta$ : atığın içindeki sıcaklık, 30 - 35 °C

Bu metotta, k sembolünün 0,025 ile 0,05 arasında bir değer seçilmesi tercih edilir. Tecrübeyle belirlenen, tam hazırlanmış bir depolama alanında k sabitinin 0,035 ile 0,04 yıl<sup>-1</sup> arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

$Q_t$ , herhangi bir t yılındaki gaz miktarı, m<sup>3</sup>/yıl olarak denklem 6.7 ile bulunur:

$$Q_t = G_{t,n} - G_{t,n-1} = G_e \cdot ((10^{-k} - 1) / 10^{k \cdot t}) \cdot M_t \quad (6.7)$$

### 6.4.3 IPCC modeli ile tahmin

Bu model, belli biyolojik bozunma oranlarına (biyogaz dönüşüm) atık bileşimine dayalıdır. Hesap, ülkeyi, katı atığı ve bertaraf tesislerinin türünü göz önüne alarak çeşitli emisyonların hesaplanması veya bölgeye özgü atık kompozisyonu ve iklim bilgisi ile kullanılabilir. Modeli, detaylı verilere sahip ülkelerde, özgün değerlerle işletmek mümkündür. Katı atık bertarafı sırasında açığa çıkan metan emisyonlarının başka yaklaşım metotları ile sonuçlar açısından bir doğrulama yaparak, katı atık bertarafı için daha sağlıklı bölgesel verileri ortaya koymak amacı ile kullanılabilir. Depolama sahalarındaki metan emisyonu, mekana ve zaman bağlı değişkenlik gösterir. Belirsizlikleri azaltmak için farklı metodların kullanılması ve karşılaştırma yapılarak verilerin kalitesinin artırılması için çalışmalar sürmektedir [15].

## 6.5 Gaziantep Şahinbey Tesisi İçin Hesaplamalar

### 6.5.1 Nüfus ve atık hesaplamaları

Gaziantep B.B. tarafından, tesise ait fizibilite raporuna esas olan ve tesisin işletmeye açıldığı tarih olan 2010 yılında, atığın depolandığı “Mazmahor Düzenli Atık Depolama Sahası”nı ilgilendiren Gaziantep Batı Bölgesi nüfusu için; 1.459.239 kişi ve 2010 yılı için sahada depolanan atık miktarının; toplam 438.000 ton verisinden hareket edilmiştir. Hesaplamalar yapılırken; yıllık nüfus artış hızı yaklaşık % 2, bölgede nüfus başına yıllık 0,3 ton olan atık miktarı da hesaba katılarak; yıllara göre nüfus başına atık miktarı hesaplanmıştır. 6.8 denklemi ile hesaplanmaktadır:

$$\text{Nüfus artışı kestirimi} = \text{Bir önceki yılın nüfusu} \cdot (1 + \text{Nüfus artış hızı} (\sim \% 2))^t \quad (6.8)$$

Tesisin ihaleye esas olan işletme süresi olan 29 yıl için (2010-2039) Çizelge 6.7'deki hesaplamalar yapılmıştır:

**Çizelge 6.7:** Gaziantep Batı Bölgesi yıllık nüfus ve atık miktarı değişimi.

| Yıl  | Nüfus     | Atık miktarı (ton) |
|------|-----------|--------------------|
| 2010 | 1.459.239 | 438.000            |
| 2011 | 1.488.424 | 446.527            |
| 2012 | 1.518.192 | 455.458            |
| 2013 | 1.548.556 | 464.567            |
| 2014 | 1.579.527 | 473.858            |
| 2015 | 1.611.118 | 483.335            |
| 2016 | 1.643.340 | 493.002            |
| 2017 | 1.676.207 | 502.862            |
| 2018 | 1.709.731 | 512.919            |
| 2019 | 1.743.926 | 523.178            |
| 2020 | 1.778.804 | 533.641            |
| 2021 | 1.814.380 | 544.314            |
| 2022 | 1.850.668 | 555.200            |
| 2023 | 1.887.681 | 566.304            |
| 2024 | 1.925.435 | 577.630            |
| 2025 | 1.963.944 | 589.183            |
| 2026 | 2.003.222 | 600.967            |
| 2027 | 2.043.287 | 612.986            |
| 2028 | 2.084.153 | 625.246            |
| 2029 | 2.125.836 | 637.751            |
| 2030 | 2.168.352 | 650.506            |
| 2031 | 2.211.719 | 663.516            |
| 2032 | 2.255.954 | 676.786            |
| 2033 | 2.301.073 | 690.322            |
| 2034 | 2.347.094 | 704.128            |
| 2035 | 2.394.036 | 718.211            |
| 2036 | 2.441.917 | 732.575            |
| 2037 | 2.490.755 | 747.227            |
| 2038 | 2.540.570 | 762.171            |
| 2039 | 2.591.382 | 777.415            |

### 6.5.2 Kütle dengesi hesabı yaklaşımı

Hesaplamalardaki amaç; Gaziantep çöpünün kapalı formülünün elde edilmesi ve bu formüle göre depo gazı üretim potansiyelinin hesaplanmasıdır. Bu hesabı yaparken, bölgesel olarak, mevsime, zaman ve atığa ait ayrıntılı analizlerin olmaması veya yapılan analizlerin eksik, kısmi veya sadece belli bir zaman aralığına ait olması nedeni ile ayrıntılı ve daha doğru sonuç elde edebilmek için; literatürdeki, daha güvenilir referanslara başvurulmuş, verilerden yararlanılmıştır. Bu konudaki hesapların en önemli kaynaklarından biri, atıkları daha küçük alt gruplara ayırarak değerlendirildiği; Çizelge 6.8' dir [29].

**Çizelge 6.8: Atıkların ayrıntılı analizleri [29].**

| Atık Cinsi  | a                       | b         | c                   | d              | e               | f      | g    | h   | i    | j   | k    | l    | m(1)  | n(2) | o(3)  | p(4) | r(5) | s(6) |
|-------------|-------------------------|-----------|---------------------|----------------|-----------------|--------|------|-----|------|-----|------|------|-------|------|-------|------|------|------|
|             | Islak<br>ağırlık,<br>kg | Nem,<br>% | Kuru<br>ağırlık, kg | Uçucu<br>madde | Sabit<br>Karbon | Yanmaz | C    | H   | O    | N   | S    | Kül  | C     | H    | O     | N    | S    | Kül  |
| Organik     |                         |           |                     |                |                 |        |      |     |      |     |      |      |       |      |       |      |      |      |
| Gıda        | 9                       | 70,0      | 2,7                 | 21,4           | 3,6             | 5      | 48   | 6,4 | 37,6 | 2,6 | 0,4  | 5    | 1,296 | 0,17 | 1,02  | 0,07 | 0,01 | 0,14 |
| Kağıt       | 34                      | 5,9       | 32                  | 81,1           | 11,5            | 6      | 43,5 | 6   | 44   | 0,3 | 0,2  | 6    | 13,92 | 1,92 | 14,08 | 0,10 | 0,06 | 1,92 |
| Karton      | 6                       | 5,0       | 5,7                 | 77,5           | 12,3            | 5      | 44   | 5,9 | 44,6 | 0,3 | 0,2  | 5    | 2,508 | 0,34 | 2,54  | 0,02 | 0,01 | 0,29 |
| Plastik     | 7                       | 1,4       | 6,9                 | 95,8           | 2               | 10     | 60   | 7,2 | 22,8 |     |      | 10   | 4,14  | 0,50 | 1,57  | 0,00 | 0,00 | 0,69 |
| Tekstil     | 2                       | 10,0      | 1,8                 | 66             | 17,5            | 2,5    | 55   | 6,6 | 31,2 | 4,6 | 0,15 | 2,5  | 0,99  | 0,12 | 0,56  | 0,08 | 0,00 | 0,05 |
| Lastik      | 0,5                     | 0,0       | 0,5                 | 83,9           | 4,9             | 10     | 78   | 10  |      | 2   |      | 10   | 0,39  | 0,05 | 0,00  | 0,01 | 0,00 | 0,05 |
| Deri        | 0,5                     | 20,0      | 0,4                 | 68,5           | 12,5            | 10     | 60   | 8   | 11,6 | 10  | 0,4  | 10   | 0,24  | 0,03 | 0,05  | 0,04 | 0,00 | 0,04 |
| Bahçe       | 18,5                    | 64,9      | 6,5                 | 30             | 9,5             | 4,5    | 47,8 | 6   | 38   | 3,4 | 0,3  | 4,5  | 3,107 | 0,39 | 2,47  | 0,22 | 0,02 | 0,29 |
| Ağaç        | 2                       | 20,0      | 1,6                 | 68,1           | 11,3            | 1,5    | 49,5 | 6   | 42,7 | 0,2 | 0,1  | 1,5  | 0,792 | 0,10 | 0,68  | 0,00 | 0,00 | 0,02 |
| Toplam      | 79,5                    |           | 58,1                |                |                 |        |      |     |      |     |      |      | 27,38 | 3,61 | 22,97 | 0,54 | 0,11 | 3,48 |
| İnorganik   |                         |           |                     |                |                 |        |      |     |      |     |      |      |       |      |       |      |      |      |
| Cam         | 8                       | 2         | 7,84                |                |                 | 98     | 0,5  | 0,1 | 0,4  | 0,1 |      | 98,9 |       |      |       |      |      |      |
| Metal kutu  | 6                       | 3         | 5,82                |                |                 | 91     | 4,5  | 0,6 | 4,3  | 0,1 |      | 90,5 |       |      |       |      |      |      |
| Aliminyum   | 0,5                     | 2         | 0,49                |                |                 | 91     | 4,5  | 0,6 | 4,3  | 0,1 |      | 90,5 |       |      |       |      |      |      |
| Diğer metal | 3                       | 3         | 2,91                |                |                 | 91     | 4,5  | 0,6 | 4,3  | 0,1 |      | 90,5 |       |      |       |      |      |      |
| Kir, kül vb | 3                       | 8         | 2,76                |                |                 | 70     | 26,3 | 3   | 2    | 0,5 | 0,2  | 68   |       |      |       |      |      |      |
| Toplam      | 20,5                    |           | 19,82               |                |                 |        |      |     |      |     |      |      |       |      |       |      |      |      |

Çizelgedeki 6.8'deki işlemler aşağıda gösterilmektedir:

m(1):  $m=c.h/100$ , n(2):  $n=c.g/100$ , o(3):  $o=c.i/100$ , p(4):  $p=c.j/100$ , r(5):  $r=c.k/100$ , s(6):  $s= c.l/100$ .

Çizelge 6.8'den yararlanılarak ve Kahramanmaraş KKA karakteristik değerleri üstünde yapılmış olan işlemlerle ile Gaziantep çöpü ile ilgili olarak edilen sonuçlar Çizelge 6.9'de verilmektedir:

**Çizelge 6.9:** Gaziantep evsel atıkları yaklaşık (proximate) analizi sonuçları.

| Atık Bileşenleri             | a<br>Orijinal | b(1)<br>Nem, % | c(2)<br>Kül, % | d(3)<br>Nem, kg | e(4)<br>Nemsiz, kg | f(5)<br>Kül, kg | g(6)<br>Nemsiz ve külsüz, kg |
|------------------------------|---------------|----------------|----------------|-----------------|--------------------|-----------------|------------------------------|
| Organik                      |               |                |                |                 |                    |                 |                              |
| <b>Kağıt ve Karton</b>       | <b>13,9</b>   | <b>42</b>      | <b>12</b>      | <b>5,8</b>      | <b>8,1</b>         | <b>1,0</b>      | <b>7,09</b>                  |
| <b>Plastik</b>               | <b>11,4</b>   | <b>30</b>      | <b>10</b>      | <b>3,4</b>      | <b>8,0</b>         | <b>0,8</b>      | <b>7,18</b>                  |
| <b>Organik madde</b>         | <b>48</b>     | <b>72</b>      | <b>10</b>      | <b>34,6</b>     | <b>13,4</b>        | <b>1,3</b>      | <b>12,10</b>                 |
| <b>Kauçuk, deri</b>          | <b>1</b>      | <b>8</b>       | <b>10</b>      | <b>0,1</b>      | <b>0,9</b>         | <b>0,1</b>      | <b>0,83</b>                  |
| <b>Tekstil</b>               | <b>2,7</b>    | <b>28</b>      | <b>5</b>       | <b>0,8</b>      | <b>1,9</b>         | <b>0,1</b>      | <b>1,85</b>                  |
| <b>Bahçe</b>                 | <b>4</b>      | <b>25</b>      | <b>10</b>      | <b>1,0</b>      | <b>3,0</b>         | <b>0,3</b>      | <b>2,70</b>                  |
| <b>Toplam</b>                | <b>81</b>     |                |                | <b>45,7</b>     | <b>35,3</b>        | <b>3,6</b>      | <b>31,75</b>                 |
| İnorganik                    |               |                |                |                 |                    |                 |                              |
| <b>Yanmayan, taş, toprak</b> | <b>13</b>     | <b>20</b>      | <b>80</b>      | <b>2,6</b>      | <b>10,4</b>        | <b>10,4</b>     |                              |
| <b>Metal, Cam vb.</b>        | <b>6</b>      | <b>5</b>       | <b>95</b>      | <b>0,3</b>      | <b>5,7</b>         | <b>5,7</b>      |                              |
| <b>G.Toplam</b>              | <b>100</b>    |                |                | <b>48,6</b>     |                    | <b>19,7</b>     | <b>31,75</b>                 |

Çizelge 6.9'daki işlemler aşağıda gösterilmektedir:

b(1): Çizelge 6.5 Kahramanmaraş KKA karakteristik değerleri, c(2): Çizelge 6.8'in değerleri [38], d(3):  $d = a.b/100$ , e(4):  $e = a.(1-b/100)$ , f(5):  $f = e.c/100$ , g(6): Çizelge 6.5'de verilen 100 kg K. Maraş atığından nem ve kül uzaklaştırılarak depogazı üretimine esas alınacak miktar  $g = e-f$

Çizelge 6.10'da, Gaziantep bölgesinde toplanan katı atıklara ait veriler Çizelge 6.8 ve 6.9'dan yararlanarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 6.10:** Gaziantep evsel katı atık kompozisyonu.

|  | a           | c            | c            | d(1)          | e(2)          | f(3)          | g(4)          | h                 | i             | J             | k            | l           | m            | n              | o(5)          |
|--|-------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------------|---------------|---------------|--------------|-------------|--------------|----------------|---------------|
|  |             |              | Kuru bazda   |               |               |               |               | Külsüz kuru bazda |               |               |              |             |              |                |               |
|  |             | Nem %        | Kül %        | Nemsiz        | Nem           | Nemsiz +      | Kül           | C                 | H             | O             | N            | S           | Cl           | Isıl           | Isıl değer,   |
|  |             |              |              |               |               | külsüz        |               |                   |               |               |              |             |              | değer,         | KCal/Kg       |
|  |             |              |              |               |               |               |               |                   |               |               |              |             |              | KJ/Kg          |               |
| Yanabilir  |             |              |              |               |               |               |               |                   |               |               |              |             |              |                |               |
| <b>Gıda</b>  | <b>48</b>   | <b>72,2</b>  | <b>20,98</b> | <b>13,344</b> | <b>34,656</b> | <b>10,544</b> | <b>2,800</b>  | <b>47,22</b>      | <b>7,04</b>   | <b>41,15</b>  | <b>3,86</b>  | <b>0,49</b> | <b>1,06</b>  | <b>15.386</b>  | <b>3.676</b>  |
| <b>Kağıt-<br/>karton</b>                                 | <b>16</b>   | <b>42</b>    | <b>12,2</b>  | <b>9,280</b>  | <b>6,720</b>  | <b>8,148</b>  | <b>1,132</b>  | <b>45,62</b>      | <b>6,01</b>   | <b>47,78</b>  | <b>0,34</b>  | <b>0,22</b> | <b>0,28</b>  | <b>15.894</b>  | <b>3.797</b>  |
| <b>Tekstil</b>   | <b>2</b>    | <b>28,54</b> | <b>3,56</b>  | <b>1,429</b>  | <b>0,571</b>  | <b>1,378</b>  | <b>0,051</b>  | <b>54,08</b>      | <b>5,84</b>   | <b>38,09</b>  | <b>1,7</b>   | <b>0,22</b> | <b>0,36</b>  | <b>20.162</b>  | <b>4.817</b>  |
| <b>Klorsuz plastik</b>                                   | <b>11</b>   | <b>30</b>    | <b>0,48</b>  | <b>7,700</b>  | <b>3,300</b>  | <b>7,663</b>  | <b>0,037</b>  | <b>86,22</b>      | <b>12,97</b>  | <b>0,73</b>   | <b>0,08</b>  | <b>0,05</b> | <b>0</b>     | <b>43.448</b>  | <b>10.379</b> |
| <b>PVC</b>   |             |              | <b>4,18</b>  | <b>0,000</b>  | <b>0,000</b>  | <b>0,000</b>  | <b>0,000</b>  | <b>40,59</b>      | <b>5</b>      | <b>0,59</b>   | <b>0,08</b>  | <b>0,2</b>  | <b>53,33</b> | <b>45.779</b>  | <b>10.936</b> |
| <b>Ahşap,<br/>bahçe</b>                                  | <b>3</b>    | <b>23</b>    | <b>6,84</b>  | <b>2,310</b>  | <b>0,690</b>  | <b>2,152</b>  | <b>0,158</b>  | <b>50,33</b>      | <b>8,7</b>    | <b>45</b>     | <b>4,74</b>  | <b>0,62</b> | <b>2,2</b>   | <b>19.461</b>  | <b>4.649</b>  |
| <b>Lastik</b>  | <b>1</b>    | <b>8</b>     | <b>10</b>    | <b>0,920</b>  | <b>0,080</b>  | <b>0,828</b>  | <b>0,092</b>  | <b>84,52</b>      | <b>8,62</b>   | <b>4,31</b>   | <b>0,86</b>  | <b>1,56</b> | <b>1,62</b>  | <b>29.789</b>  | <b>7.116</b>  |
| <b>Yanabilir<br/>toplam</b>                              |             |              |              | <b>34,983</b> | <b>46,737</b> | <b>77,450</b> | <b>4,27</b>   | <b>408,58</b>     | <b>462,76</b> | <b>640,41</b> | <b>11,66</b> | <b>3,36</b> | <b>58,85</b> | <b>189.919</b> | <b>45.370</b> |
| <b>Yanmaz</b>  | <b>13</b>   | <b>23</b>    | <b>70</b>    | <b>10,010</b> | <b>2,990</b>  | <b>3,003</b>  | <b>7,007</b>  | <b>2,5</b>        | <b>0,35</b>   | <b>2,4</b>    | <b>0,1</b>   | <b>0</b>    |              |                |               |
| <b>Metal,<br/>elk-elekt,<br/>tehlikeli<br/>madde vb.</b> | <b>6,32</b> | <b>8</b>     | <b>70</b>    | <b>5,814</b>  | <b>0,506</b>  | <b>1,744</b>  | <b>4,070</b>  | <b>26,3</b>       | <b>3</b>      | <b>2</b>      | <b>0,5</b>   | <b>0,2</b>  |              |                |               |
| <b>Yanmaz toplam</b>                                     |             |              |              | <b>15,824</b> | <b>3,496</b>  | <b>3,747</b>  | <b>11,077</b> | <b>28,8</b>       | <b>3,35</b>   | <b>4,4</b>    | <b>0,6</b>   | <b>0,2</b>  |              |                |               |

Çizelgedeki 6.10'daki işlemler aşağıda gösterilmektedir:

d(1):  $d = a.(1-b/100)$ , e(2):  $e = a.(b/100)$ , f(3):  $f = d.(1-c/100)$ , g(4):  $g = d.(c/100)$ ,  
o(5):  $o = n/4,186$

Çizelge 6.10'den yararlanılarak Gaziantep çöpünün elementel analizi ile elde edilen sonuçlar Çizelge 6.11'de verilmektedir:

**Çizelge 6.11: Gaziantep evsel atıkları elementel analizi sonuçları.**

| Sütün No:                | Elementel Bileşenler, % |       |      |       |      |      |       | Nemsiz ve Külsüz Org. Atık Elementel Bileşenler, kg |      |       |      |      |
|--------------------------|-------------------------|-------|------|-------|------|------|-------|---|------|-------|------|------|
|                          | a(1)                    | b(2)  | c(2) | d(2)  | e(2) | f(2) | g(2)  | h(3)  | i(4) | j(5)  | k(6) | l(7) |
| Nemsiz ve külsüz atık,kg | C                       | H     | O    | N     | S    | Cl   | C     | H   | O    | N     | S    |      |
| Kağıt Karton             | 7,09                    | 47,22 | 7,04 | 41,15 | 3,86 | 0,49 | 1,06  | 3,35  | 0,50 | 2,92  | 0,27 | 0,03 |
| Plastik                  | 7,18                    | 45,62 | 6,01 | 47,78 | 0,34 | 0,22 | 0,28  | 3,28  | 0,43 | 3,43  | 0,02 | 0,02 |
| Organik madde            | 12,10                   | 54,08 | 5,84 | 38,09 | 1,70 | 0,22 | 0,36  | 6,54  | 0,71 | 4,61  | 0,21 | 0,03 |
| Kauçuk, deri             | 0,83                    | 86,22 | 12,9 | 0,73  | 0,08 | 0,05 | 0,00  | 0,71  | 0,11 | 0,01  | 0,00 | 0,00 |
|                          |                         |       | 7    |       |      |      |       |   |      |       |      |      |
| Tekstil                  | 1,85                    | 40,59 | 5,00 | 0,59  | 0,08 | 0,20 | 53,33 | 0,75  | 0,09 | 0,01  | 0,00 | 0,00 |
| Bahçe                    | 2,70                    | 50,33 | 8,70 | 45,00 | 4,74 | 0,62 | 2,20  | 1,36  | 0,23 | 1,22  | 0,13 | 0,02 |
| Toplam (8)               | 31,75                   |       |      |       |      |      |       | 15,99   | 2,07 | 12,19 | 0,63 | 0,10 |
| <b>İnorganikler</b>      |                         |       |      |       |      |      |       |   |      |       |      |      |
| Yanmayan, taş toprak     | 10,40                   | 26,30 | 3,00 | 2,00  | 0,50 | 0,20 | 0,00  | 2,74  | 0,31 | 0,21  | 0,05 | 0,02 |
| Metal,cam                | 5,70                    | 2,50  | 0,35 | 2,40  | 0,10 | 0,00 | 0,00  | 0,14  | 0,02 | 0,14  | 0,01 | 0,00 |
| Toplam (8)               |                         |       |      |       |      |      |       | 18,87   | 2,40 | 12,54 | 0,69 | 0,12 |

Çizelgedeki 6.10'daki işlemler aşağıda gösterilmektedir:

a (1): 100 kg K. Maraş atığından nem ve kül uzaklaştırılarak depogazı üretimine esas alınacak miktar, b,c,d,e,f,g (2) Çizelge 6.9 Gaziantep atıklarından, h(3):  $h = a.b/100$ , i(4):  $i = a.c/100$ , j(5):  $j = a.d/100$ , k(6):  $k = a.e/100$ , l(7):  $l = a.f/100$ , (8):100 kg atık içerisindeki miktarlar

Çizelge 6.12'da verilmekte olan hesaplamalardaki amaç; Gaziantep çöpünün kapalı formülünün elde edilmesi ve bu formüle göre depo gazı üretim potansiyelinin hesaplanmasıdır. Kapalı formülde N=1 için S ihmal edilirken; S=1 için ise N ihmal edilmektedir. Uygulamada yapılan hesaplarda ise; N=1 olan kapalı formül esas alınmaktadır.

Nemsiz organik atığın bünyesinde suyu ayrı bir bileşen olarak tutup hesap yaparken, nemli atıkta ise, hidrojen ve oksijeni suyun bünyesinden alıp kendi elementlerine eklemekteyiz.



**Çizelge 6.12:** Gaziantep katı atık bileşenleri için atom sayılarına göre sonuçlar.

| Ele-<br>ment | a                   | b                  | c        | d(1)          | e(2)  | f(3)     | g(4)    | h(5)     | i(6)      |
|--------------|---------------------|--------------------|----------|---------------|-------|----------|---------|----------|-----------|
|              | Nemsiz              | Sulu               | Atom     | Atom sayıları |       | N=1 için |         | S=1 için |           |
|              | organik<br>, kg (7) | organik,<br>kg (8) | ağırlığı | Nemsiz        | Nemli | Nemsiz   | Nemli   | Nemsiz   | Nemli     |
| C            | 18,9                | 18,9               | 12       | 1,572         | 1,573 | 31,823   | 31,826  | 423,447  | 423,489   |
| H            | 2,4                 | 7,5                | 1        | 2,404         | 7,482 | 48,657   | 151,428 | 647,442  | 2.014,934 |
| O            | 12,5                | 53,2               | 16       | 0,783         | 3,322 | 15,856   | 67,242  | 210,988  | 894,734   |
| N            | 0,7                 | 0,7                | 14       | 0,049         | 0,049 | 1,000    | 1,000   | 13,306   | 13,306    |
| S            | 0,1                 | 0,1                | 32       | 0,004         | 0,004 |          |         | 1,000    | 1,000     |
| H2O          | 45,7                |                    |          |               |       |          |         |          |           |

Çizelgedeki 6.10'daki işlemler aşağıda gösterilmektedir:

d(1):  $d = a/c$ , e(2):  $e = b/c$ , f(3):  $f = d/d(N)$ , g(4):  $g = e/e(N)$ , h(5):  $h = d/d(S)$ , i(6):  $i = e/e(S)$ , (7) Nemsiz ve Külsüz Org. Atık Elementel Bileşenler, kg tablosundan, (8) H ve O için  $b = a + \text{elementin atom ağırlığı} * a$  (sütununda H2O değeri karşılığı) / suyun atom ağırlığı:

Nemsiz organik atığın bünyesinde suyu ayrı bir bileşen olarak tutup hesap yaparken, nemli atıkta ise, hidrojen ve oksijeni suyun bünyesinden alıp kendi elementlerine (hidrojene ve oksijene) eklemekteyiz.

Çizelge'den hesaplanan Gaziantep çöpünün kapalı formülleri aşağıdadır:

N=1 kabul edilerek, nemsiz atıkta:  $C_{32}H_{49}O_{16}N$  nemli atık için:  $C_{32}H_{151}O_{67}N$

S=1 kabul edilerek, nemsiz atıkta:  $C_{423}H_{647}O_{211}N_{13}S$ , nemli atıkta:  $C_{423}H_{2015}O_{895}N_{13}S$

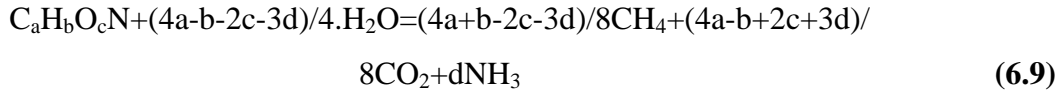
Gaziantep EKA bileşenleri için atom sayılarına göre sonuçlar ve kapalı formül özeti Çizelge 6.13'de görülmektedir.

**Çizelge 6.13:** Gaziantep EKA formülleri.

|                  | N=1 için                       |       | S=1 için                        |       |
|------------------|--------------------------------|-------|---------------------------------|-------|
|                  | Nemsiz                         | Nemli | Nemsiz                          | Nemli |
| C                | 32                             | 32    | 423                             | 423   |
| H                | 49                             | 151   | 647                             | 2015  |
| O                | 16                             | 67    | 211                             | 895   |
| N                | 1                              | 1     | 13                              | 13    |
| S                |                                |       | 1                               | 1     |
| <b>Formüller</b> |                                |       |                                 |       |
|                  | Nemsiz                         |       | Nemli                           |       |
| N = 1 için       | $C_{32}H_{49}O_{16}N$          |       | $C_{32}H_{151}O_{67}N$          |       |
| S = 1 için       | $C_{423}H_{647}O_{211}N_{13}S$ |       | $C_{423}H_{2015}O_{895}N_{13}S$ |       |

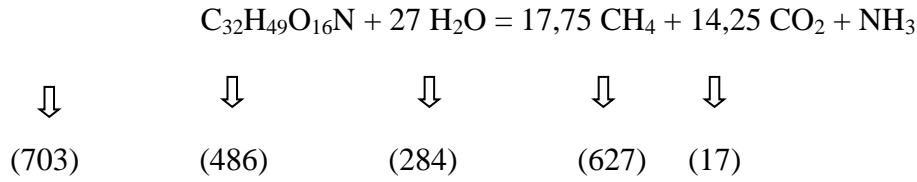
a) Gaziantep evsel atıkları için kabul edilen bileşime göre 100 kg evsel atıktan nemsiz olarak 35,3 kg organik kısım elde edilmektedir. Bu kısmın da ortalama 3,6 kg kül içerdiği bilindiğine göre 31,7 kg ayrışabilen nemsiz ve külsüz madde metan üretiminde kullanılabilir.

b) Teorik olarak evsel atıklardan anaerobik koşullarda metan üretimi için reaksiyon denklem 6.9 ile hesaplanır [29]:



denklemlerle hesaplanabilir (organik bileşenlerin %100 oranında ayrıştıkları kabulü ile).

Gaziantep bölgesi evsel atıkları için katı atık bileşenleri yardımıyla hesaplanan formül (susuz durum için ve sülfürlü bileşenler hariç tutulduğunda) denklem 6.9'dan aşağıdaki sonuç bulunur:



hesaplanır.

Metan üretimi:

$$(284/703) \cdot (31,7 \text{ kg}) = 12,80 \text{ kg metan}$$

Karbondioksit üretimi:

$$(627/703) \cdot (31,7 \text{ kg}) = 28,27 \text{ kg}$$

d) Gazların hacimlerinin bulunması: 25 °C ve 1 atm basınç için

Metanın kmol sayısı:

$$12,80 \text{ kg metan} / 16 \text{ kg/mol metan} = 0,8 \text{ kmol metan}$$

Metanın hacmi:

$$(0,8 \text{ kmol}) \times (0,08206) \times (273+25) = 19,56 \text{ m}^3 \text{ metan}$$

CO<sub>2</sub> kmol sayısı:

$$(28,27 \text{ kg CO}_2) / (44 \text{ kg} / \text{kmol CO}_2) = 0,6425 \text{ kmol CO}_2$$

Karbon dioksit hacmi:

$$(0,6425 \text{ kmol}) (0,08206) \cdot (273+25) = 15,72 \text{ m}^3\text{CO}_2$$

e) Depo gazı içindeki metan ve karbondioksit oranları:

$$(0,8 \text{ kmol metan}) / (0,8 \text{ kmol} + 0,6425 \text{ kmol}) \times 100 = \% 55,46 \text{ metan}$$

$$(0,6425 \text{ kmolmetan}) / (0,8 \text{ kmol} + 0,6425 \text{ kmol}) \cdot 100 = \% 44,54 \text{ CO}_2$$

f) Birim evsel organik katı atık kilogramı başına metan üretimi

$$(19,56 \text{ m}^3\text{metan} + 15,72 \text{ m}^3\text{CO}_2) / 31,7 \text{ kg} = 1,113 \text{ m}^3\text{depo gazı/kgorganik atık}$$

100 kg nemsiz katı başına depo gazı üretimi ise:

$$(19,56 \text{ m}^3\text{metan} + 15,72 \text{ m}^3\text{CO}_2) / 100 \text{ kg} = 0,353 \text{ m}^3\text{depo gazı/kg nemsiz organik katı atık}$$

1 ton nemsiz katı atık için depo gazı miktarı:

$$(0,353 \text{ m}^3\text{depo gazı/kg nemsiz katı atık}) \cdot (1000 \text{ kg/ton}) = 353 \text{ m}^3\text{depo gazı /ton nemsiz organik katı atık}$$

1 ton orijinal evsel katı atık için depo gazı miktarı

1 ton nemsiz organik evsel atık  $1/0,317 = 3,15$  ton orijinal evsel atıktan elde edilmektedir. Buna göre:

$$353 \text{ m}^3\text{depo gazı} / 3,15 \text{ tonorijinal evsel katı atık} = 112,8 \text{ m}^3\text{depo gazı /ton orijinal evsel katı atık.}$$

Orijinal evsel atık için, KKA analizindeki belirsizlikler de dikkate alınarak 150-170  $\text{m}^3$  depo gazı/ ton orijinal evsel katı atık değeri benimsenebilir.

### **6.5.3 LandGEM modeli ile tahmin sonuçları**

Bu çalışmada düzenli depolama sahalarından elde edilecek yıllık gaz miktarının tahmini için, EPA'nın 2005 yılında yayımlanan ve Excel programı ile oluşturulan Bölüm 5.4.1'de tarif edilen modeli kullanılmıştır. Modelin kullanılabilmesi için, öncelikle, yukarıda "Bölüm 5.5.1; Çizelge 6.7 Gaziantep Batı Bölgesi yıllık nüfus ve atık miktarı değişimi"nde hesaplanan nüfus ve atık projeksiyonları ile model girdilerinin oluşturması gerekmektedir. Atık miktarları, modelde yıllık atık oluşum değeri verilerek de hesaplanmaktadır. [18]

EPA depo gazı tahmin modeli ile yaptığımız hesaplamada;

$L_0 = 140 - 180 \text{ m}^3 \text{ gaz/ton KKA}$ ,  $k=0,003-0,4 \text{ yıl}^{-1}$  değerleri alınmaktadır.

EPA depo gazı tahmin modeline göre yaptığımız çalışmaya esas olan hesapta, Gaziantep'teki kuru iklim koşulları nedeni ile  $k$  değeri; 0,015 seçilmiş,  $L_0$  ise;  $170 \text{ m}^3 \text{/ton}$  alınmıştır.

Literatür taramalarında da görüleceği üzere; atık ve depolama koşulları üzerinde yapılan çalışmalarda,  $k$  ve  $L_0$  parametrelerinin değeri, yaklaşık % 70 oranında etkilenmektedir. [19]

Atık ile ilgili detaylı ve zamana yayılmış saha analizlerin yokluğu, nedeni ile  $L_0$  için anılan sitedeki tavsiye edilen değer alınmıştır.

EPA modeli için aşağıdaki denklem 6.10 kullanılmıştır:

$$Q = \sum_{i=1}^n 2.k..M_i.k.L_0.e^{-ki} \quad (6.10)$$

$Q_t$ : t. yılda üretilmesi gereken gaz miktarını,  $\text{m}^3 \text{/yıl}$

$L_0$ : depolanan atığın metan üretim potansiyelini,  $\text{m}^3 \text{/tonKKA}$

$M_i$ : i. yılda depolanan atık miktarını,  $\text{ton/yıl}$

$k$ : metan üretim hızı katsayısını,  $\text{yıl}^{-1}$

$t_i$ : t. Yılda depolanan  $M_i$  kütleli atığın yaşı, yıl

$t$ : atık depolama tesisi yaşı, yıl

$i$ :  $M_i$  kütleli atığın depolandığı zamanı, yıl

Örnek hesap:

1. Yıldaki gaz miktarı

$$Q_1 = 2 \cdot 0,05 \text{ yıl}^{-1} \cdot 170 \text{ m}^3 \text{/ton} \cdot 438.000 \cdot e^{-0,05 \cdot 1} = 7,082 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{/yıl}$$

2. yıldaki gaz miktarı

$$Q_2 = 2 \cdot 0,05 \text{ yıl}^{-1} \cdot 170 \text{ m}^3 \text{/ton} \cdot 447.000 \cdot e^{-0,05 \cdot 1} + 2 \cdot 0,05 \text{ yıl}^{-1} \cdot 170 \text{ m}^3 \text{/ton} \cdot 438.000 \cdot e^{-0,05 \cdot 2} = 13,96 \cdot 10^6 \text{ m}^3 \text{/yıl}$$

Depo gazının tipik metan bileşeni 45 - 58 değeri arasında değişmekte olup; herhangi

bir yılda üretilen gaz miktarının yaklaşık % 50'sinin metan olduğu esas alınmıştır. Bu durumda:  $Q_{CH_4}$ :  $Q_t/2$  olarak kabul edilmektedir Ayrıca, sahada metan gazı yakalama kapasitesinin, tesisten tesise % 60 ile % 90 arasında değiştiği kabul edilerek depogazının gazın % 50'sinin metan olduğu kabul edildikten sonra bu gazın da % 60 kapasitede yakalandığı varsayılmıştır [30].

Depo gazını içten yanmalı motorlarda yakarak enerji üretimine ilişkin basit hesaplar için veriler:

Metan gazının ısı değeri:  $39,73 \text{ MJ/m}^3$  ( $9500 \text{ kCal/m}^3$ )

İçten yanmalı motorlarda ısı enerjinin elektrik enerjine dönüştürme verimi: % 20 kabul edilmiştir.

Buna göre saniyede  $1 \text{ m}^3$  depo gazı içten yanmalı motorlarda kullanıldığında üreteceğimiz ısı enerjisi miktarı:

$$39,73 \text{ MJ/m}^3 \text{CH}_4 \cdot 1 \text{ m}^3 \text{ depo gazı/s} \cdot 0,5 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{m}^3 \text{ depo gazı} = 19,87 \text{ MJ/s}$$

Elektrik üretimi:

$$\text{Isıl enerjisi} \cdot 0,20 = (19,87 \text{ MJ/s}) \cdot (0,20) = 3,97 \text{ MJ/s} = 3,97 \text{ MW}$$

Bu motor günde 24 saat ve yılda 365 gün çalışıldığında üretilen elektrik enerjisi miktarı:

$$3,97 \text{ MW} \cdot 24 \text{ saat/gün} \times 365 \text{ gün/yıl} = 34.777 \text{ MWh}$$

Örnek: 1 ton evsel katı atıktan  $200 \text{ m}^3$  depo gazı yani  $100 \text{ m}^3$  metan gazı elde edildiğini kabul edelim.

Yılda 100.000 ton evsel atık depolanan bir düzenli depolama tesisinden:

$$100.000 \text{ tonevsel katı atık/yıl} \cdot 100 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{ton evsel atık} = 10.10^6 \text{ m}^3 \text{metan/yıl}$$

Saatlik  $\text{CH}_4$  debisi (depo gazının % 100'ünün toplandığı ve enerji üretiminde kullanıldığı varsayıldığında)

$$10.10^6 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{yıl} \cdot \text{yıl}/(365 \text{ gün} \cdot 24 \text{ saat}) = 1.141,6 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{saat}$$

veya

$$1.141,6 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{saat} \cdot (\text{saat}/3600 \text{ s}) = 0,317 \text{ m}^3 \text{CH}_4/\text{s}$$

Isıl Enerji eşdeğeri:

$$(0,317 \text{ m}^3 \text{ metan/s}) \cdot (39,73 \text{ MJ/m}^3 \text{ metan}) = 12,6 \text{ MJ/s} = 12,6 \text{ MW} = 12.600 \text{ kW}$$

Elektrik enerjisi eşdeğeri:

$$(12,6 \text{ MW ısı enerjisi}) \cdot (0,2 \text{ MW elektrik/MW ısı enerjisi}) = 2,52 \text{ MW elektrik enerjisi}$$

Bu içten yanmalı motorun; yılda 24 saat ve 365 iş günü çalıştığı kabulü ile toplam yıllık enerji üretimi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

$$(2,52 \text{ MW}) \cdot (24 \text{ saat/gün}) \cdot (365 \text{ gün/yıl}) = 22.075 \text{ MWh}$$

Gerçek Durum: Düzenli depolama sahalarında, iyi kurulmuş bir tesiste teorik olarak üretilen depo gazının asgari % 60'ının gaz toplama kuyularından emilerek içten yanmalı motorlara getirildiği kabul edilirse yukarıda hesaplanan değer [30]:

$$19.354 \text{ MWh} \cdot 0,60 \text{ m}^3 \text{ toplanan metan/m}^3 \text{ teorik metan) = 11.612 MWh}$$

eder.

Bu çalışmada; elektrik üretimi hesabında, m<sup>3</sup> metan gazı başına 2,17 kWh net enerji üretildiği kabul edilmiştir.

Atık – gaz miktarı ile ilgili hesaplamalarda, sahada düzenli atık depolanmasının 1997 yılı başında başladığı göz önüne alınmıştır. Bu tarihten 2010 yılına kadar olan veriler çizelge 6.3'den alınmıştır. 1997-2010 tarihleri arasındaki depogazı verilerinin hesaplanan değerleri, tesisin üretime geçtiği Çizelge 6.14'e; 2010 tarihinden itibaren kümülatif değer olarak eklenmiştir. Tesis, 2010 yılının 10. ayında işletmeye açılmış olduğundan 2010 yılına ait satış, gider ve kazanç hesaplaması iki ay için yapılmıştır. İlk etapta her biri yaklaşık 1,1 MW olan üç ünitenin, sahadan elde edilen metan gazı miktarına bağlı olarak; tamamının, 2014 yılından itibaren de; ikinci etapta yer alan ünitelerle birlikte 5,55 MW lisans değerine ulaşan 5 ünitenin tamamının da tam kapasite devrede olduğu hesaplamalarda gözönüne alınmıştır. Yapılan öngöründe; yatırımcı için, yatırım bedeli 2017 yılı içerisinde yani işletmeye alınışının sekizinci yıl içerisinde tamamlandığı, tesisin, yaklaşık olarak, dokuzuncu yıldan itibaren kazanca geçeceği hesaplanmaktadır.

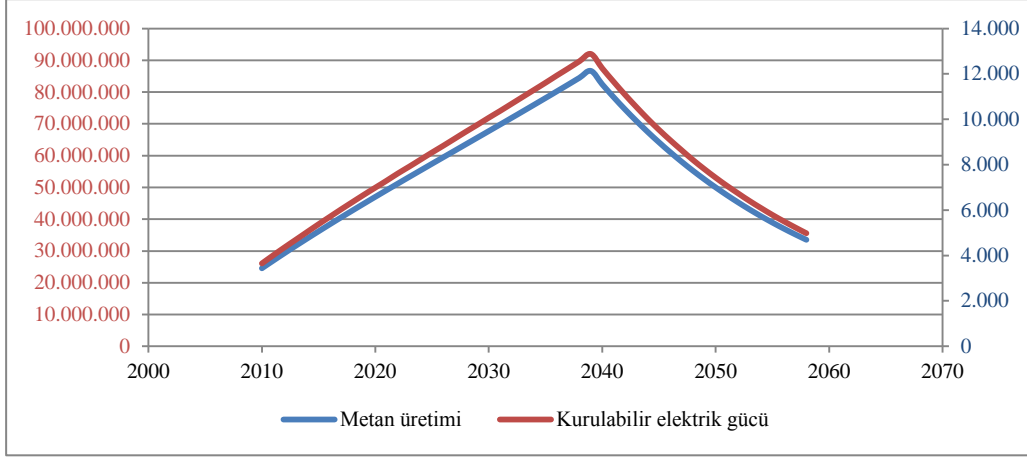
Sahada, 1,1 MW kapasitesindeki 6. ünite, diğer ünitelerin herhangi bir periyodik bakım ya da arızası durumunda, çalışmayan ünitenin görevini tamamiyle yüklenecek yedek ünite olarak kullanılabilir.

Elektrik üretimi hesabında,  $m^3$  metan gazı başına 2,17 kWh net enerji üretildiği kabul edilerek; yıllık kümülatif metan üretimleri ( $Q_tCH_4$ ), önce (24 x 365) ile bölünerek  $m^3$ /saat biriminden yazılmış, sonra birim kW enerji eşdeğeri (2,17) ile çarpılarak saatte üretilen net kW değeri elde edilmiştir. Bu değer bizim tesis için kurulu güç hesabımıza esas teşkil etmektedir. Çizelge 6.16'dan görülebileceği üzere 2010 yılının 11 ve 12. ayları için kapasite değeri 3,65 MW görülmekte, ancak kurulu güç 3,3 MW olduğundan üretim ve satış kurulu güce yani 3,3 MWh esasına göre yapılmıştır.

Üretilen enerjinin devlet destekli resmi alım bedeli olan 0,133 ABD\$ ile çarpılmadan önce; elde edilen elektriğin yaklaşık % 15'inin tesisi iç ihtiyacında kullanıldığı göz önüne alınmıştır. Öte yandan, böyle bir tesisin yatırım bedelinin ~ % 2 kadarı işletme ve bakım için ayrılmaktadır. Kalan bedelin % 50'sinin; Gaziantep Büyükşehir Belediyesi ile yapılan kar paylaşımına ve yatırımcının depolama sahasında yapması gereken hizmetlerine harcandığı kabul edilerek; bakiye % 50 bedel kar ve geri ödeme olarak değerlendirildiğinde, kaba bir hesapla tesisin yatırım bedeli olan ~12.675.000 ABD\$'nı yine yaklaşık sekiz sene içerisinde geri kazandığı ve bundan sonraki dönemde de, 2039 daki sözleşmesinin sonuna ve depolama sahasının kapanışına kadar, tam kapasite çalışması halinde; kar elde edeceği öngörülmektedir. Sahada yapılan hesaplamalar, sözleşme sonrasında işverene kalan tesisten de; asgari 20 yıl daha enerji elde edilebileceğini göstermektedir.

Hesap sonuçları Ek Abölümünde; Çizelge A.1,2,3,4'de görülmektedir. Çizelge A.3'de, depolama devam ederken 2010 ile 2039 yılları arasındaki elektrik enerjisi üretimi ve tesisin yatırım geri ödemesi ve kazancı, Çizelge A.4'de, aynı şekilde, sahaya atık depolamasının tamamlanmasından sonra; 2040 ile 2058 yılları arasında depolama sahasındaki metan gazından elektrik üretimini göstermektedir. Atık kabulü tamamlanıktan sonra bile; tesis lisans iznine göre tam kapasite çalışmaya devam edebilmektedir. Yapılmış olan bu öngörüler, sahada, tasarım kriterlerine göre hesaplanmış verimlilikte çalışıldığı şartlarda geçerlidir.

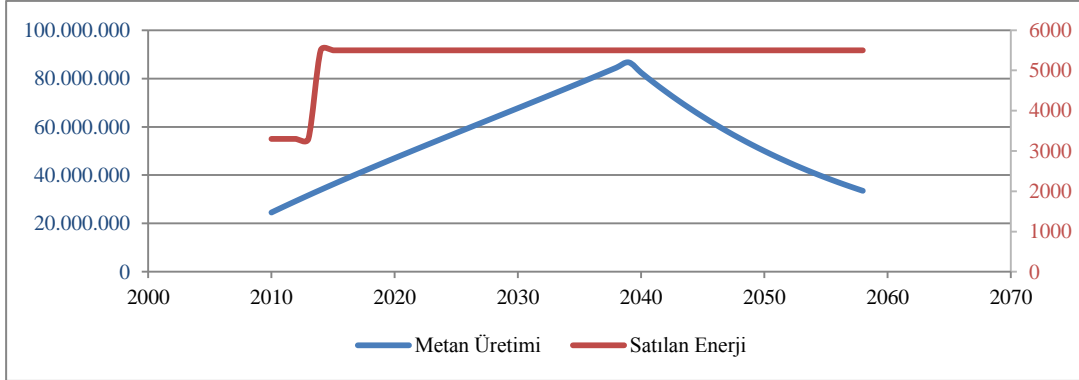
Aşağıda; Şekil 6.6 da; Çizelge A.1,2,3,4' deki tablolara ait grafikler gösterilmektedir. Gafiğin sağ tarafı kWh cinsinden elektrik üretimi kapasitesini, sol tarafta ise depogazının metan bileşeni  $m^3$ /yıl biriminden üretim değeri yer almaktadır. Grafikten görüleceği üzere; sahaya atık kabulünün ve depolamanın sonlandırıldığı 2039 yılından itibaren gaz üretimi ve elektrik üretimi potansiyeli keskin şekilde düşmektedir.



**Şekil 6.5:** Gaziantep Şahinbey enerji üretim tesisi enerji-metan üretim grafiği.

Aşağıda Şekil 6.7'de; Çizelge A.1,2,3,4'deki tablolara ait enerji satış-metan üretim grafikleri gösterilmektedir.

Grafiğin sağ tarafı kWh cinsinden elektrik satışı potansiyelini, sol tarafta ise depogazının metan bileşeninin m<sup>3</sup>/yıl biriminden üretim değeri yer almaktadır. Grafikten görüleceği üzere; ilk etapta üç ünitesi ile devreye alınan tesisat, daha sonra iki ünitenin de devreye girmesi ile çalışmaya konu olan 2058 sonuna kadar tam kapasite hizmet verebilecek depo gazı potansiyeline sahip bir depolama alanında hizmet verebilmesi öngörülmektedir.



**Şekil 6.6:** Gaziantep Şahinbey enerji üretim tesisi enerji satışı-metan üretim grafiği.

## 6.6 Projenin Gerçekleşmesinde Proje Yönetimi Uygulamaları

Çöp toplama sahalarında enerji elde edilmesi konusunda bir proje geliştirirken esas alınacak adımlar: Sahanın analizi, fizibilite raporunun hazırlanması, projelerin hazırlanması, finansman bulunması, enerji lisansının alınması, yapım ve işletimdir

Proje Yönetim Uygulama Standartları çerçevesinde, Tesisin (Gaziantep Çöp



Gazından Enerji Tesisi); “Tasarla ve Uygula (Design&Built)” esasına göre inşasının uygulama projelerinin oluşturulmasından ve onayından sonra öngörülen süre, maliyet ve kalite çerçevesinde tamamlanmasını gerçekleştirilmiştir.

Proje Yönetim Uygulama Standartları doğrultusunda sizlere sunacağımız hizmetler üç ana süreç altında değerlendirilmiştir.

- Teklif Hazırlanması
- İhale Aşaması
- Uygulama, Test devreye aalma İşletme Hizmetleri

### **6.6.1 Teklif bedelinin belirlenmesi**

Teklif dosyası hazırlanması sürecinde; İdarenin (Gaziantep Büyükşehir Belediyesi) hazırlamış olduğu fizibilite, sözleşme taslağı, idari ve teknik şartnamelerine uygun olarak; Yüklenici ofisinde oluşturulan proje ekibi çalışmaları konsept çalışmasının yapılmasıyla başlamıştır.

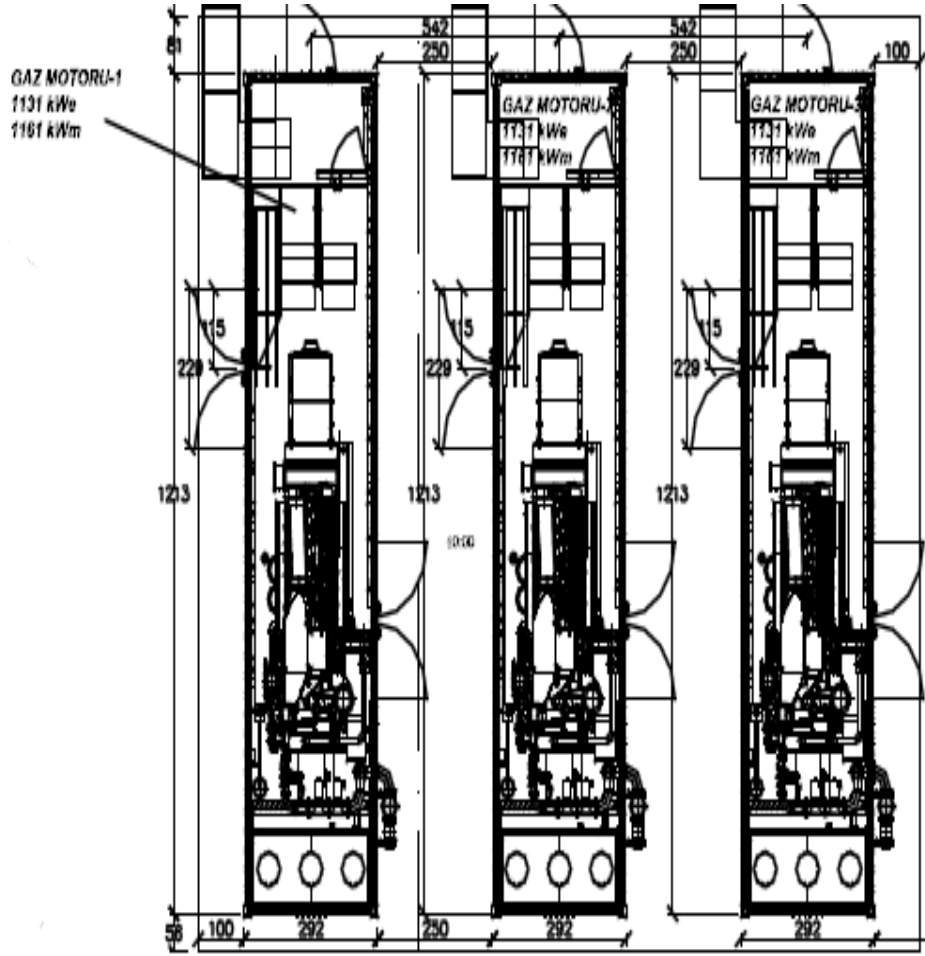
Teklif çalışması; her ne kadar İdare tarafından hazırlanmış olan fizibilitenin koşullarına dayandırılrsa da; depolama alanına Gaziantep Büyükşehir Belediyesi tarafından getirilmesi planlanan katı atık miktarını ve evsafını esas almakta ve kar paylaşımı esasına göre ise de yine de basit hesaplamalarla yatırımın karlılığı Yüklenici tarafından yukarıdaki hesaplamalarla kontrol ve teyit edilmiştir:

Teklif dosyası, hazırlanan ön projelerden üretilmiş olan metraj ve bu metrajın fiyatlı keşif haline dönüştürülmesi aşamalarından geçmiştir.

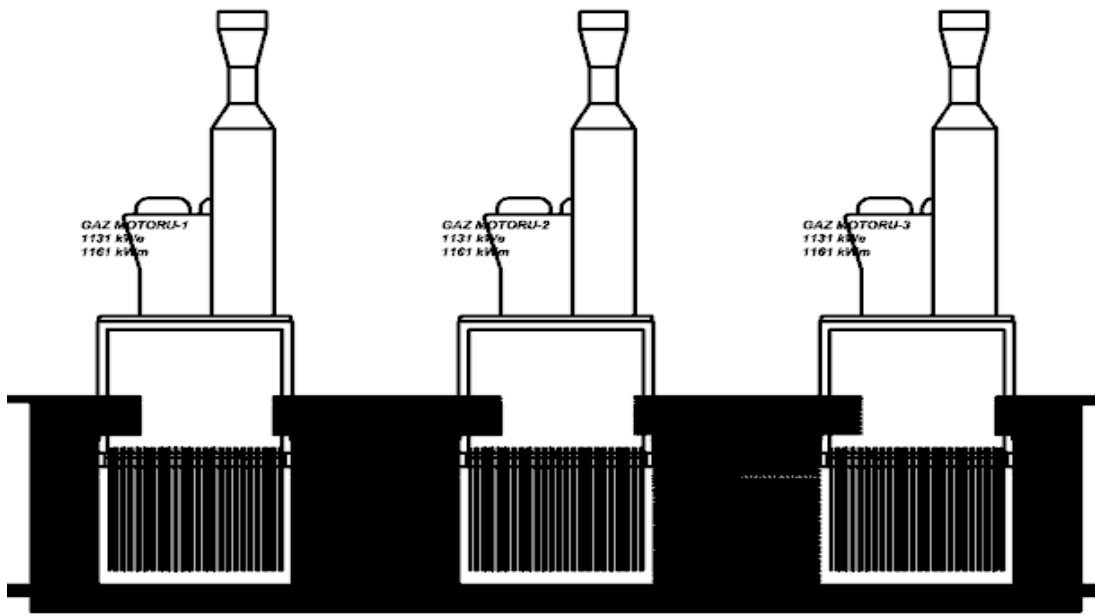
Keşif sonunda ortaya çıkan yatırım bedeli ile alandaki çöp gazından elde edilecek enerji karşılaştırılmış, yatırımın geri dönüş süresi ve karlılığı hesap edilmiştir.

#### **6.6.1.1 Konsept çalışması**

Proje için, İdare ile birlikte tesisin işlevi, yer gereksinimleri, arsa kullanımı, mahal bilgileri, süre ve kalite hedefleri, kullanım gereksinimleri ve ticari amaçları da dikkate alınarak; ana ve yardımcı tesisler, bir vaziyet planı üstünde ölçekli olarak oluşturuldu. Tasarı proje Şekil 6.8 ve 6.9’da ’de görülmektedir:



Şekil 6.7: Şahinbey Tesisi planı 1. etap ekipman yerleşimi.



Şekil 6.8: Şahinbey Enerji Tesisi kesiti.

Oluşturulan konsept, tasarım ekibi tarafından detaylı olarak gerçekleştirildi. Bu aşama, özellikle, teklif sahibinin işi doğru anladığı ve doğru projelendirip fiyatlandırmasının önemli bir göstergesi olarak ele alındı.

Projelendirme aşamasında yapılan işler üç ana amaca yönelik olarak yapılmıştır:

- Binanın uygulama projelerine yaklaşımı esas olacak projeleri hazırlamak,
- Maliyeti etkileyebilecek tüm kararları vermek,
- Arazi kaba tesviyesi ve bina dışı işler için uygulamaya yönelik yaklaşım geliştirmek,

Yapılan çalışma mimari, mekanik ve elektrik tesisat,altyapı, tasarım raporu, malzeme tercihleri, plankote, zemin raporu, ana başlıkları altında toplanacaktır.

Tesisin inşası için gerekli ayrıntılı bir metrajı elde etmek ana amaçtır.

Her bir disiplin tarafından yapılan hazırlıklar aşağıdadır:

Yardımcı Tesis (Hizmet Binaları):

Mimari: Kat Planları, görünüş ve kesitler, tipik detaylar (Çatı, Yalıtım, Tip Döşeme ve Duvar, Merdiven, Doğrama vs), Metraj,

Peyzaj: Açık Alan Yapıları Düzenleme Projeleri ve Bitkilendirmeye ilgili prensipler,

Altyapı: Tesise ait binaların atık sistemi projeleri, yağmur suyu sistemi projeleri, yol ve saha kaplamaları,

Statik Betonarme: Temel Yerleşim Planları ve kesitleri, kolon ve perde yerleşim planları, hafriyat planları, tipik donatı detayları, metrajlar,

Tesisat: Isıtma ve havalandırma tesisatı kat planları sıhhi tesisat ve yangın söndürme tesisatı kat planları, HVAC Merkezi, su deposu, hidrofor dairesi vb ekipman kolon şemaları, hesaplar ve metraj,

Elektrik: Aydınlatma ve priz sistemi planları, topraklama ve yıldırımdan korunma, kablo taşıma sistemi, telefon, seslendirme, yangın ihbar, veri, sistemleri tek hat şemaları, saha ile ilgili elektrik işleri, enerji temini ve enerji merkezi, asansörler, metraj,

Gaz Toplama Sistemi Enerji SantralıYardımcı Tesisler (Basınçlı hava, Gaz Soğutma, Yangın Söndürme vb)

Aşağıda, Çizelge 6.14'de tesisin enerji üretim kısmındaki, Çizelge 6.15'da ise yardımcı tesislerdeki miktar ve maliyetler görünmektedir.

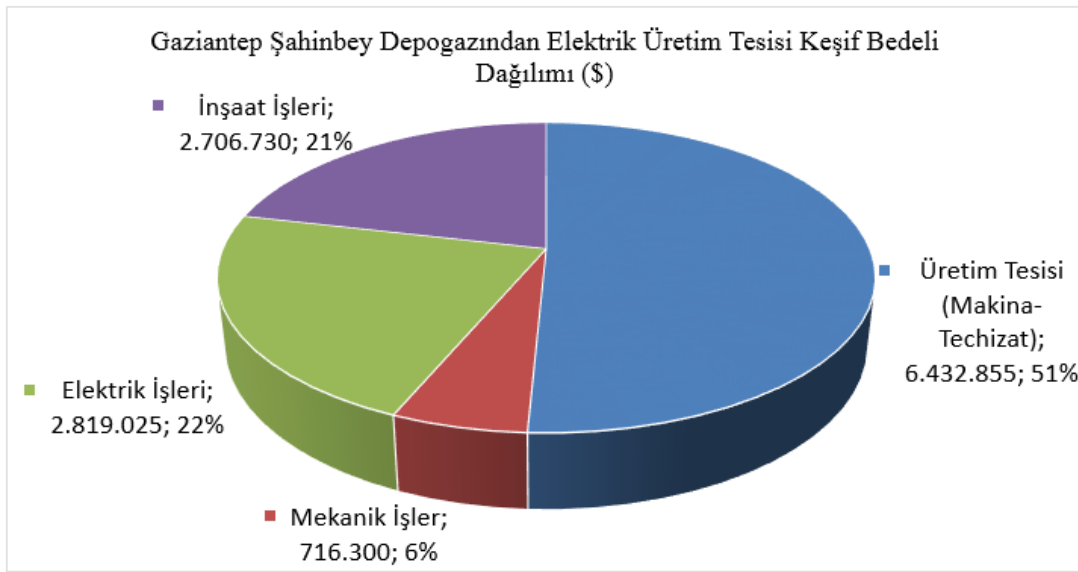
**Çizelge 6.14:** Gaziantep Şahinbey enerji üretim tesisi, enerji üretim kısmı keşif özeti.

| <b>Enerji üretim kısmı işleri</b>                                    | <b>Toplam Fiyat (\$)</b> |
|--|--------------------------|
| <b>Gaz Toplama Sistemi</b>   | <b>1.934.205</b>         |
| Pnömatik pompalar ve aksesuarları (Sayac, hortum, basınç regülatörü) | 139.425                  |
| Manifold başı ekipmanı (Ölçüm sistemi, vanalar, hortumlar, vb)       | 53.235                   |
| HDPE boru tesisatı malzemeleri                                       | 487.500                  |
| HDPE fitting ve yardımcı malzemeler                                  | 136.500                  |
| Vanalar ve metal fittingler  | 94.250                   |
| Knockout ve kondans tankları   | 84.500                   |
| Manifoldlar  | 60.320                   |
| Diğer aksesuarlar (Hortumlar, panolar, kelepçeler, muhafazalar, vb.) | 104.975                  |
| Blower ve flare grupları   | 656.500                  |
| Boru tesisatı ve ekipman montaj işleri                               | 89.050                   |
| İşletmeye alma   | 27.950                   |
| <b>Enerji Santralı</b>   | <b>4.188.080</b>         |
| Gaz motorları  | 3.646.500                |
| Soğutma hava hücreleri ve fanları                                    | 24.960                   |
| Egzost sistemi ve bacalar  | 78.000                   |
| Gaz hattı  | 92.300                   |
| Vana, sayaç ve fittingleri   | 48.750                   |
| İzolasyon işleri   | 26.520                   |
| Çelik konstrüksiyon işleri   | 58.500                   |
| Yağ sistemi  | 35.100                   |
| Radyatör soğutma sistemi ve tesisatı                                 | 126.750                  |
| Ekipman montajları (Generatör ve aksamı)                             | 11.700                   |
| İç ihtiyaç trafosu ve aksesuarları                                   | 39.000                   |
| <b>Tesis İle İlgili Genel İşler</b>                                  | <b>310.570</b>           |
| Nakliye ve diğer masraflar   | 97.500                   |
| Gümrük masrafları  | 17.745                   |
| Diğer masraflar  | 35.750                   |
| Proje bedeli   | 27.625                   |
| Danışmanlık ücreti   | 82.875                   |
| Lisans ve izinler  | 16.575                   |
| Ölçüm cihazları  | 32.500                   |
| <b>Üretim tesisi işleri toplamı</b>                                  | <b>6.432.855</b>         |

**Çizelge 6.15:** Gaziantep Şahinbey enerji üretim tesisi genel işler keşif özeti.

| <b>İnşai işler</b>  | <b>Toplam Fiyat (\$)</b> |
|---|--------------------------|
| Gaz toplamasistemi  | 2.194.465                |
| Gaz kuyusu açma   | 271.440                  |
| Kanal açma-kapatma  | 247.000                  |
| Genel hafriyat ve dolgu işleri                                  | 109.850                  |
| Bentonite   | 23.400                   |
| Çakıl   | 54.600                   |
| Kil kaplama   | 686.400                  |
| Nebati toprak serme   | 670.800                  |
| Drenaj kanalları yapımı   | 78.000                   |
| Manifold hicreleri  | 29.250                   |
| Vana odaları  | 10.725                   |
| Yol geçişleri   | 13.000                   |
| Enerji santrali binası  | 512.265                  |
| Santral hafriyat ve temel inşaatı                               | 24.050                   |
| Prefabrik elemanlar (Demir ve nakliye dahil)                    | 178.750                  |
| Ytong ve duvar örme   | 32.500                   |
| Çatı kaplama  | 54.080                   |
| Kapı pencere, çelik doğrama işleri                              | 31.850                   |
| Generatör temelleri, zemin betonu ve kaplaması                  | 24.375                   |
| Diğer ince işler  | 27.560                   |
| Büro tefrişatı  | 24.700                   |
| Çevre düzenleme ve yollar                                       | 47.450                   |
| Blower sundurması   | 24.050                   |
| Blower flare temelleri  | 5.850                    |
| Çelik köprü ve boru konsolları                                  | 37.050                   |
| <b>Toplam</b>   | <b>2.706.730</b>         |
| Elektrik tesisat işleri   |                          |
| Proje çalışmaları   | 32.500                   |
| Enerji nakil hattı işleri                                       | 1.365.000                |
| Yardımcı tesisler elektrik işleri                               | 39.000                   |
| Transformatörler  | 118.950                  |
| Enerji santrali içindeki elektrik tesisatı işleri               | 1.111.500                |
| Çevre aydınlatması  | 36.400                   |
| Diğer elektrik işleri (Yıldırımılık ve topraklama, vb)          | 25.000                   |
| Bina otomasyonu ve CCTV sistemi                                 | 42.250                   |
| Gaz alarm sistemi   | 25.675                   |
| Yangın alarm sistemi  | 22.750                   |
| <b>Toplam</b>   | <b>2.819.025</b>         |
| Mekanik tesisat işleri  |                          |
| Basınçlı hava sistemi   | 175.500                  |
| Gaz soğutma sistemi (Chiller grupları)                          | 136.500                  |
| Gaz soğutma tesisatı ve otomasyonu (Vana, pompa, fittings, vb.) | 93.600                   |
| Elektrik odası soğutma grupları                                 | 5.850                    |
| Kullanma suyu sistemi   | 19.500                   |
| Bina ısıtma sistemi   | 31.850                   |
| Yangın söndürme sistemi   | 253.500                  |
| <b>Toplam</b>   | <b>716.300</b>           |
| <b>Keşif icmali</b>   |                          |
| Üretim Tesisi İşleri (Makina-Techizat)                          | 6.432.855                |
| Mekanik İşler   | 716.300                  |
| Elektrik İşleri   | 2.819.025                |
| İnşaat İşleri   | 2.706.730                |
| <b>Genel toplam</b>   | <b>12.674.910</b>        |

Aşağıda, Şekil 6.10'da da görüleceği üzere, enerji üretimi ekipmanları yaklaşık olarak toplam işin % 50'sine karşılık gelmektedir. Bu bedelin yarısı gaz motoru diğer yarısı da yardımcı ekipman ve cihazlardır. Toplam 12.675.000 \$'lık yatırım bedelinin yaklaşık % 40'ı ithal, kalan % 60'ı iç piyasadan tedarik edilebilmektedir. Cihazlar için yerli üretimden temin edilmesi için devlet teşvikleri mevcuttur. Gaz motorlarının yıl içindeki uzun süreli ve ciddi bakım ihtiyaçları, aynı zamanda da enerji üretim lisans gücünün, kurulabilir gücün altında olması ve ilerideki lisans bedeli beklentileri nedeni ile, lisanslanan kapasiteyi sürekli olarak karşılayabilmek amacı ile beş adet yerine altı adet gaz motoru altyapısı ile birlikte tesis edilmiştir.



**Şekil 6.9:** Gaziantep Şahinbey depo gazı tesisi yatırım dağılımı grafiği.

### 6.6.2 Proje yönetimi

Sipariş sonrasında, sistematığıne uygun olarak uygulanan “Proje Yönetimi”, İdare'nin ve Yüklenici'nin her ikisini de kazançlı duruma getirerek, İdare'ye kalıcı faydalar sağlamak amaçlanmıştır.

Proje Yönetimi:

- Sözleşme ile mutabık kalınan ürünleri, çözümleri ve hizmetleri; doğru olarak, zamanında ve belirtilen bedellerden sağlamak,
- Yatırımcı memnuniyetini elde etmek,

için; Yüklenici ile proje yöneticisi arasında anlaşmaya varılan proje hedeflerine ulaşmak için uygulanan bir yönetim kavramıdır.

Proje yönetimini sistematik olarak uygulanması ile:

- Bütün proje katılımcıları için; görevler, sorumluluklar, yetkiler netliğe kavuşturulurken; yatırımcı için; projesinde saydamlık, projede irtibat kuracağı kişileri, hangi kilometre taşlarında katılımında bulunacağını ve ara sonuçların ne zaman mevcut olacağını bilmesi, değişikliklerin etkilerini görmesi, projenin zamanında ve gereken kalite ile gerçekleştirileceğine güven duyması,
- Yüklenici için; standartlaştırılmış çözümlerin saptanması, daha iyi iş sonuçları elde edilmesi, projelerin karşılaştırılabilirliği, projelerin saydamlığı, risklerin etkilerinin azaltılması, kaynak yönetimine ilişkin daha iyi bilgi, daha yetenekli personel, deneyimin daha hızlı ve sistematik aktarılması,
- Proje yöneticisi için; hedeflere gerçekleştirmeye yoğunlaşma, planlama nedeni ile zamandan ve maliyetten tasarruf, proje karmaşıklığının yönetilebilir ve kontrol edilebilir olması, kendisine verilen görevlerin gerçekleştirilmesinde yöntem desteği, planlamada daha fazla güvenilirlik ve kararlar için daha iyi temel, deneyimin daha hızlı ve sistematik aktarılması,

Proje takımı personeli için; verilen görevle kişisel özdeşleşme, isteklendirme ve tatmin, görevlerin net olarak tanımlanması, proje içindeki ilişkilerin saydamlığı, kişilerin performansının saydamlığı, geleceğe yönelik bilgi, tecrübe kazanımı sağlanmıştır.

Projede, Proje Yönetimi; kaynak kullanımı, süreçlerin maksimum şekilde standartlaştırılması ve sinerjinin mümkün olan en iyi şekilde kullanılması çerçevesinde, çözüm odaklı net bir yaklaşım sergilenmiştir.

Projeler aşağıda belirtilen etkenlere göre farklılık gösterdiğinden ilk aşamada, proje kategorizasyonu yapılmıştır. Proje kategorisinin belirlenmesinde aşağıdaki faktörler rol oynar:

- Sipariş bedeli
- Tedarikçilerin/Yüklenicilerin sayısı
- Karmaşıklık
- Süreç tipleri

- Ara terminler ve süre
- Hedef (kar hedefi ve devam edecek projeler)
- Ürün ve hizmet kapsamı
- Riskler

Genelde üç proje düzeyi tanımlanmaktadır:

- Proje kategorisi A:⇒ Çok karmaşık proje 250 puanın üstü
- Proje kategorisi B:⇒ Karmaşık proje 150 - 250 puanın üstü
- Proje kategorisi C:⇒ Daha az karmaşık proje 150 puanın altı

Projenin kategorisi, teklif hazırlama aşaması sırasında belirlenmiş, ihale sonrasında, projenin, proje yöneticisine teslim edilmesinden önce saptanmıştır. [31]

Olası kriterler ve bunların değerlendirme standartları aşağıdaki Çizelge 6.12’de gösterilmekte olup; Şahinbey projesinin kategorizasyonu aşağıdaki şekilde yapıldı:

Projenin karmaşıklığı için aşağıdaki faktörler 0-60 arası değer verilerek puanlanmaktadır:

- Şartnamedeki ayrıntı derecesi
- Adam-ay cinsinden toplam mühendislik miktarı
- Değişiklik ihtimali
- Önemli harici tedarikçi sayısı
- Risk
- Yatırımcı ile ilişkiler
- Proje ile ilgili standartlar
- Teknoloji
- Mühendislik Teknoloji
- Yabancı Dil
- Kültür sayısı
- Proje kategorisi, yukarıdaki kriterlere göre “B” olarak belirlenmiştir.



### 6.6.2.1 Şantiye yönetimi

Proje Yönetimi, performans ve kalite, terminler ve maliyetler açısından projenin amaçlarına ulaşabilmesi için bir projenin planlanmasında ve uygulanmasında söz konusu olan yollar ve araçlarla birlikte liderlik ve organizasyonun toplamıdır.

Proje Yönetimi doğru şekilde uygulandığında:

Projenin planlanması,

Sözleşme yönetimi,

İş Programı ve Dokümantasyon yönetimi Tedarik yönetimi,

Tazminat talebi yönetimi (claim) ve değişiklik (change orders) yönetimi,

Risk yönetimi,

Projenin takibi ve kontrolü (Kalite yönetimi planlanması ve uygulanması, müzakerelerinin ve proje durum toplantılarının düzenlenmesi, gerekli proje altyapısının organizasyonu),

Projenin ile ilgili raporların hazırlanması, sunulması,

Çevre koruma, işyerinde sağlık ve güvenlik, radyasyondan korunmayla ilgili politikaları belirlenmesi ve takip edilmesi başarı ile yürütülür [31].

Projenin tamamlanma süreci sipariş tarihinden itibaren yaklaşık 14 ay kadar planlanmış, 10 ayda gerçekleştirilmiştir.

İlk 2 ayda resmi izinler alınırken; mühendislik çalışmaları da başlatılarak, dört ayda tamamlanmıştır. Ekipman teslimi süresi için başlangıçta 6 ay olarak öngörülen süre, mühendislik çalışması tamamlanan ekipman kademeli siparişi sayesinde 8. Ayda tamamlanmıştır.

Ekipman teslim süresi için beklenen bu süre de, inşaat ve arazi düzenleme işlerinin tamamlanması için yeterli olmuştur.

Sistemin devreye alınması için 30 gün, test, optimizasyon ve ayar çalışmaları için de planlanan 90 gün yerine 60 gün yeterli olmuştur.

Projenin işleyişi sırasında, İdarenin olduğu kadar, projenin gereklerinden de doğan değişiklik talepleri ortaya çıkmıştır. En önemli değişiklik talebi, yakın zamanda yapılması istenen kapasite artırımına göre, yapılmakta olan altyapıdaki geliştirme

talepleridir. Bu hazırlık kapsamında gaz motorları ve bu motorlarla ilgili bağlantılar aynı kalsa bile, enerji iletimi ve sahadaki gaz tedariki ile ilgili altyapı çalışmalarını tazmin ve değişiklik talebine temel oluşturmuştur.

Bu ve benzeri projelerde „Değişiklik Yönetimi“ temel olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

Tazmin talebi (claim) yönetimi; sözleşmenin yerine getirilmesi ile ilgili olarak:

- İşlemlerin
- İhmallerin
- Sapmaların
- Komplikasyonların

bir sonucu olarak, sözleşme ortağından:

- Finans ve/veya
- Zaman ve/veya
- Ürün ve/veya hizmet

istenmesidir.

Değişiklik siparişi (change order) yönetimi:

Bir değişiklik siparişi, sözleşme işlemlerinin yerine getirilmesi sürecinde:

- Fiyat ve/veya
- Zaman ve/veya
- Ürün ve/veya
- Hizmet

bakımından fiili bir değişimdir. Ortaya çıkan:

- İlaveler ve eksiltmelere ve/veya
- Bitiş tarihi değişiklikleri ve/veya
- Fiyat değişikliklerine

Sözleşmeye eklemeler yapılmasına ya da siparişlere yol açarlar.

Tazmin talebi de dahil olmak üzere; değişiklik yönetiminin projedeki aktif uygulaması, ilaveler/eksiltmeler ve/veya ek siparişler nedeni ile sözleşme değişiklikleri hazırlanmış ve yönetilmiştir [31].

Değişiklik yönetiminin doğru uygulanması ile aşağıdaki sonuçlarla projenin başarısı sağlanmıştır:

İdarenin istediği değişikliklerin, “zamanla” sınırlandırılması,

Tazmin talepleri ve/veya değişiklik siparişlerinin, sistematik olarak kaydedilmesi, değerlendirilmesi, belgelenmesi, geri dönüşü yapılarak İdare’ye bütçesi hakkında revizyon yapmasına kılavuzluk edilmesi,

Sözleşmedeki net olmayan hususların, işler sırasında dahili talimatlarla ortadan kaldırılması,

Projenin yürütülmesi sırasında; üçüncü şahıslardan gelen tazmin taleplerine karşı başarılı şekilde savunma yapılmasına altyapı sağlanması,

Değişiklik siparişi prosedürünün belirlenmesi ve belgelenmesi,

Finansla, programla, kalite ve malzeme ile ilgili olarak ortaya çıkan sonuçların uygulanması

Değişiklik yönetimi stratejisi, bu öngörüler yapılarak projenin başında Yüklenici tarafından belirlenmiştir.

#### Risk Yönetimi

- Risk Yönetimi sayesinde; risklerin zamanında saptanmasına ve bunların etkilerinin uygun işlemlerle en aza indirilmesine olanak sağlanmıştır:
- Mevcut ve potansiyel riskler saptamak,
- Etki ve olasılık bakımından bu riskler değerlendirmek,
- Risklerin ortadan kaldırılması, en aza indirilerek, yeniden oluşmaması sağlamak,
- Projeyi, Yüklenicinin merkez ofisi denetiminin ve kontrolünün bir parçası haline getirerek”üçüncü göz” uygulamasını yapmak,

#### Raporlama

Proje Yöneticisi, aylık olarak sunduğu “Proje İlerleme Raporu”nda, plandaki sapmalar ile uygulamadaki riskleri zamanında görmek ve düzeltici işlemleri başlatmak için, aşağıdaki konular ele almıştır [31]:

- Kaynak ihtiyaçları (personel, finans, malzeme)

- Malzeme ve finansman akışı
- İlerleme (İş-zaman planı) durumu
- Kalan maliyetlerin ve sürenin öngörülmesi
- Değişiklik siparişlerinin (change orders) faturalanabilir meblağları ve maliyetleri
- Düşünülen değişiklik talepleri ve bunların etkisi
- Değerlendirme ve gerçekleştirilen engelleyici işlemler dahil olmak üzere riskler
- Kalite

#### **6.6.2.2 İş-sonu projelerinin (as-built) hazırlanması**

Proje Yöneticisinin koordinasyonunda, tasarım grubuna, uygulama projelerinin üstünde, uygulamada alınan notlara uygun olarak, “as built” projelerin (iş sonu projeleri) yaptırılarak, İdare’ye onay için teslim edildi. Kesin hesaba esas olacak olan; bu projelerden çıkartılan metrajı, sahada teyid etmek, keşifte mevcut olan fiyatlar ve ihtiyaç duyulduğunda düzenlenmiş olan “Yeni Birim Fiyat Tutanakları”dır.

#### **6.6.2.3 Geçici kabulün yapılması**

Geçici kabul yapılmadan önce bütün cihazların kontrolleri yapıldı, test ve devreye alma formları incelendi. Yapılan uygulamanın, bütçe artışları da göz önünde bulundurularak, % 95’inin tamamlandığına ve kullanıma engel herhangi bir durum olmadığına kanaat getirildiğinde geçici kabul yapıldı.

Binanın işletimini yapacak firmadan her disiplinde temsilciler geçici kabule katıldı. Yüklenici firma yapılan iş ile ilgili kesin hesabını proje yöneticisine sundu. Geçici kabul için bir heyet oluşturuldu. Geçici kabul esnasında eksik ve kusurlu işler listelendi ve bunların tamamlanmaları için uygun bir süre öngörüldü. Geçici kabul tutanağı taraflarca karşılıklı olarak imzalandı.

#### **6.6.2.4 Kesin Kabulün Yapılması**

Kesin Kabul işlemi geçici kabul yapılmasını takiben 1 sene sonra gerçekleştirilmektedir. “Kesin Kabul Tutanağı” yapılmış olan uygulama ile ilgili

olarak, herhangi bir kusurlu veya eksik iş kalıp kalmadığına bakılarak ve taraflarca karşılıklı olarak imzalanmaktadır.

### **6.6.3 İnşa edilen tesis ile ilgili ana teçhizat karakteristikleri:**

CEV Enerji, çöp gazının toplanmasını dikey ve yatay borularla sağlamaktadır.

Gazın, jeneratör seti ile enerjiye çevrilerek bertarafı için; ilk etap yatırımında 3,3 MWe kurulu kapasite mevcuttur.

Nihai kurulu kapasite 6,6 MWe'ye çıkartılmıştır.

#### **6.6.3.1 Gaz motoru:**

|                              |                          |
|------------------------------|--------------------------|
| İmalatçı                     | : GE jenbacher           |
| Tipi                         | : J416 GS-A121           |
| Seri no                      | : 6262081                |
| Çalışma İlkesi               | : 4-Strok                |
| Silindir Sayısı              | : 16                     |
| Nominal Hız                  | : 1500 rpm               |
| Ortalama Piston Hızı         | : 9,25 m/s               |
| Uzunluk                      | : 3660 mm                |
| Genişlik                     | : 1495 mm                |
| Yükseklik                    | : 2085mm                 |
| Boş Ağırlığı                 | : 5195 kg                |
| Dolu Ağırlık (Sevk Ağırlığı) | : 5830 kg                |
| Eylemsizlik Momenti          | : 13,50 kgm <sup>2</sup> |
| Volant Bağlantısı            | : SAE 18"                |
| Marş Motoru Çıkış Gücü       | : 7 kW                   |
| Marş Motoru Besleme Gerilimi | : 24 V                   |
| Isı Enerji Dengesi           |                          |
| Enerji Girişi                | : 2719 kW                |

|  |  |
|--|--|
| İç Soğutucu                              | : 239 kW   |
| Yağlama Yağı                             | : 116 kW   |
| Ceket Suyu                               | : 307 kW   |
| Egzos Gazı Toplam                        | : 814 kW   |
| 180 °C ye Soğ. Egz. Gazı                 | : 533 kW   |
| 100 °C ye Soğ. Egz. Gazı                 | : 679 kW   |
| Yüzey Isısı                              | : 54 kW  |
| Denge Isısı                              | : 27 kW  |
| Egzos Gazı Verileri                      |  |
| Ful Yüklemedeki Egz. Gaz sıcaklığı       | : 458 °C   |
| Egzos Gazı Debisi (Boşta)                | : 6109 kg/h  |
| Egzos Gazı Debisi (Yükte)                | : 5670 kg/h  |
| Egzos Gazı Hacmi (Boşta)                 | : 4723 Nm <sup>3</sup> /h  |
| Egzos Gazı Hacmi (Yükte)                 | : 4196 Nm <sup>3</sup> /h  |
| Max. Kabul Edilebilir Egzos Geri Basıncı | : 60 mbar  |
| Yanma Havası Verileri                    |  |
| Yanma Havası Debisi                      | : 5491 kg/h  |
| Yanma Havası Hacmi                       | : 4247 Nm <sup>3</sup> /h  |
| Max Kabul Edilebilir Yanma Basıncı       | : 10 mbar  |
| Egzos Gazı Bazı                          | : Doğal Gaz: 100% CH <sub>4</sub> ; Biyogaz 65%<br>CH <sub>4</sub> , 35% CO <sub>2</sub> |

### 6.6.3.2 Alternatör

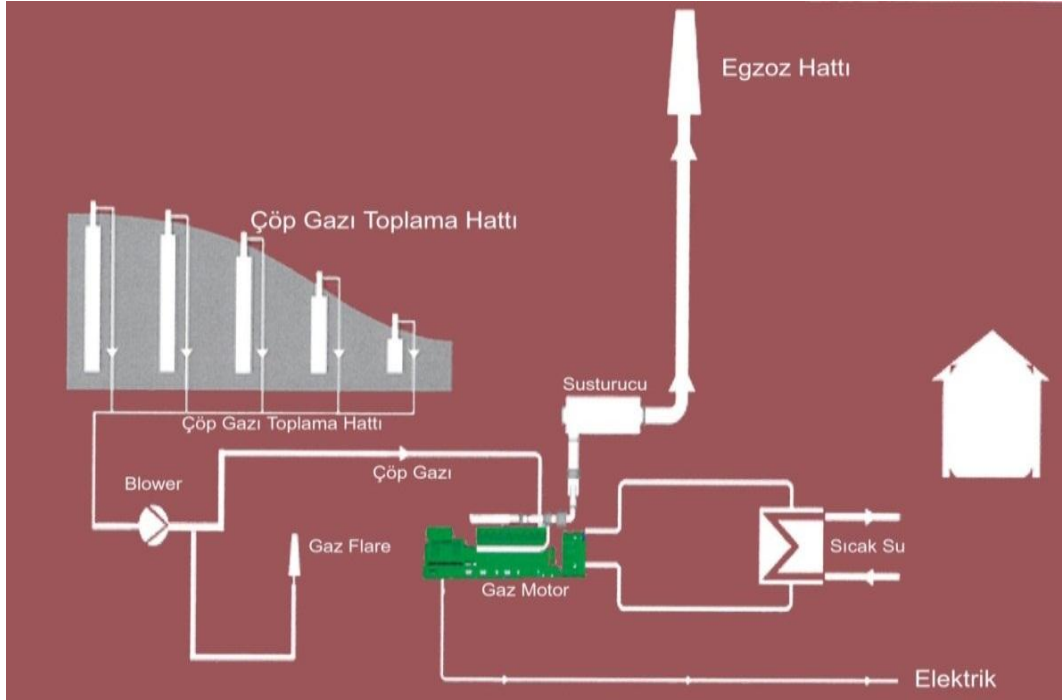
|          |                   |
|----------|-------------------|
| İmalatçı | : NEWAGE STAMFORD |
| Tipi     | : PE 734 E2       |
| Stil     | : IM 1001         |
| Seri no  | : 0258454/001     |

|                             |             |
|-----------------------------|-------------|
| Koruma Sınıfı               | : IP23      |
| İzolasyon sınıfı            | : H         |
| Nominal Güç                 | : 1900 kVA  |
| Nominal Akım                | : 2742 A    |
| Tahrik Gücü                 | : 1161 kW   |
| Tahrik Gücü Cos. $\mu$ :1   | : 1131 kW   |
| Tahrik Gücü Cos. $\mu$ :0.8 | : 1122 kW   |
| Çıkış Gücü Cos. $\mu$ :0.8  | : 1402 kVA  |
| Akım Cos. $\mu$ :0.8        | : 2023 A    |
| Güç Faktörü                 | : 0.80-1.00 |
| Frekans (Hz.)               | : 50        |
| Devir (RPM)                 | : 1500      |
| Voltaj                      | : 400       |
| Max. Çevre Sıcaklığı        | : 40 °C     |
| Konstrüksiyon               | : B3/B14    |

Montajlı ana teçhizat fotoğrafı ve prensip şeması aşağıda Şekil 6.10 ve 6.11 de görülebilmektedir:



**Şekil 6.10:** Gaziantep depo gazından enerji üreten tesisin görünümü [34].



**Şekil 6.11:** GE Jenbacher Sistemi yaklaşımı [18].



## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde; önce; evsel atık ile ilgili temel bilgilerin ortaya konulmuş, yurtiçi ve dışındaki mevcut durum incelenmiş, evsel atıktan birçok farklı teknoloji ile enerji elde etmekle ilgili termokimyasal metotların sınıflandırılması yapılmış, hâlihazırda Türkiye’de uygulanan atık bertarafı sistemin etkinliği değerlendirilmiştir. Söz konusu araştırmalar sırasında geçerli mevzuatın ve yönetim sisteminin durumu göz önünde bulundurulmuştur. Sonra; örnek olarak seçilen ve Gaziantep’te mevcut olan bir düzenli depolama sahasında faaliyette olan depo gazından enerji üreten tesis incelenmiştir. Bu çalışma, elde edilen tecrübeleri ortaya koyarak yeni planlanacak depo gazından enerji üreten tesislerinin daha verimli bir şekilde kurulmasına ve işletilmesine katkı sağlayacaktır.

Gaziantep Büyükşehir Belediyesi’ne ait Şahinbey KKA depolama sahasında depo gazı oluşum potansiyelini belirlemede kullanılan yaklaşımlara (literatür esaslı yaklaşık tahmin, matematiksel modeller) ait sonuçlar ve bu modellerden elde edilen elektrik enerjisi değerleri yukarıda sunulmuştur. Alana ait depolama gazı potansiyelini belirlemede kullandığımız matematiksel tahmin metotlarından elde ettiğimiz sonuçlar oldukça iyimserdir. Yukarıda sunulan matematiksel modellere ait LandGEM metodunun kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar, yatırımcının yatırımını destekler bir sonuçtur.

Bu çalışmada Gaziantep Belediyesi için EKA depolama alanındaki depo gazından enerji üretimi ile ilgili çalışmalar anlatılmıştır. Bu konudaki Türkiye’deki planlamalar enerji kazanma yöntemleri tartışılmıştır.

Daha sonra Gaziantep katı atıkları mevcut ve gelecek perspektifi yapılmıştır. Analiz sonuçlarından enerji üretim potansiyeli belirli kabuller yapılarak tahmin edilmiştir.

Bu tahmine göre 1 ton orijinal EKA’dan, 113 m<sup>3</sup> depo gazı elde edilebileceği görülmekle birlikte, hesaba esas alınan verilerin yetersizliği nedeni ile Türkiye katı atıklarının ortalama değerleri dikkate alınarak sonuçlar revize edilmiş depo gazı üretim potansiyeli için 170 m<sup>3</sup> depo gazı/ton katı atık değeri kullanılmıştır.

LandGEM metodu yardımı ile hesaplanan, depo gazından elektrik üretimi miktarı ile fiili olarak 2010 yılına üretime başlamış olan tesisin üretimleri birbiri ile olukça uyumludur.

Çalışmada, projenin planlanması ve tamamlanması ile ilgili kademeler ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Özellikle proje maliyetleri ile ilgili gerçekçi rakamlar kullanılmıştır. Projenin geri ödeme süresi ve karlılıkları hesaplanmıştır.

Bu ve buna benzer projeler; hem yerel yönetimlere çevre problemi oluşturan evsel katı atıkların bertarafında ekonomik katkı sağlamakta hem de sera gazlarını (metan) azaltmak açısından yararlı olmaktadır.

Yenilenebilen bir kaynaktan elektrik enerjisi sağlayarak; çevresel bakımdan önemli katkılar, iyileştirmeler yapılabilmektedir. Dolayısı ile bu tip projelerin fizibilite aşamasında, gerçekçi veriler yardımı ile hesaplamaların yapılabilmesi, durumunda, diğer şehirler için de fizibil projelerin hayata geçirilmesi mümkün olacak ve benzeri projelerin ilk adımını teşkil edecektir.

Yaklaşımlarla elde edilen verilerin (LandGEM) işletmedeki gerçeğe dönüşen verilerle teyidinin yapılması proje bazında kabul edilen değerlerin isabeti için önemlidir. Ancak şu ana kadar görüldüğü kadarı ile bu seçimler oldukça geçerli sonuçlar elde edilmesine imkan vermektedir.

Kentsel katı atıklardan sağlanan enerji özellikle mahallî enerji ihtiyacını karşılamada büyük bir öneme sahiptir. Kentsel katı atıklardan enerji üretimi değişen dünya şartlarıyla gelişmiş ülkelerden sonra gelişmekte olan ülkelerin de artık gündemine girmiştir. Gelişmekte olan ülkeler açısından bu alanda yapılacak yatırımların sağlayacağı önemli bir fayda da yaratacağı istihdamdır. Türkiye'nin de bu konuda bilinci gelişmektedir. Bu konunun, milli bir proje haline getirilerek, atıkların mevsime, nitelik ve niceliğine bağlı analizlerinin periyodik olarak yapılması, güncellenen bir veri bankası oluşturulması, yatırımcıların, ana ve yan sanayinin teşvik edilerek bu tip yatırımlara yönlendirilmesi, ekonomik olduğu kadar bir sosyal sorumluluk projesi olarak da sürdürülmelidir.

## KAYNAKLAR

- [1] **USEPA.** (2002). (t.y.). Alındığı tarih: 15.04.2015, adres: <http://www.epa.gov>.
- [2] **EIA, International Energy Agency Turkey.** (2009). Alındığı tarih: 17.04.2015, adres: <http://www.eia.gov/country>
- [3] **Atık Yönetimi Yönetmeliği.** (2015). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2 Nisan 2015 Tarihli 29314 Sayılı Resmi Gazete
- [4] **Çevre Kanunu.** (1983). 1 Temmuz 1983 Tarihli 18132 Sayılı Resmi Gazete,.
- [5] **Mazlum, N., Mazlum, S.** (2004). "Kentsel Organik Katı Atıkların Kompostlaştırılması" Katı Atık ve Çevre, Katı Atık Araştırma ve Denetimi Türk Milli Komitesi, Sayı:55.
- [6] **Aydın, A.** (2013). Türkiye’de Depo Gazından Enerji Yönetimi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ.
- [7] **Arıkan, B.** (2008). Organik Eysel Atıklardan Anaerobik Ortamda Biyogaz Üretiminin Verimliliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, ÇÜ.
- [8] **Karpuzcu, M.** (1996). Çevre Kirlenmesi ve Kontrolü, Kubbealtı Neşriyatı, İstanbul.
- [9] **WWF-Türkiye.** Doğal Hayatı Koruma Vakfı, İstanbul Türkiye’nin Yenilenebilir Gücü, Türkiye için Alternatif Elektrik Enerjisi Arz Senaryoları (t.y.). Alındığı tarih: 15.04.2015, adres: <http://wwf.org.tr>.
- [10] **Tolay, M. Dr.** Katı Atıklardan ve Biyokütleden Enerji Üretimi Teknolojileri ve Entegre Katı Atık Yönetiminde Yatırım Fizibilite Çalışmaları. Tolay Energy, İstanbul, (t.y.). Alındığı tarih: 19.04.2015, adres: <http://www.drmustafatolay.com>.
- [11] **Cindil, B.** UÜ, Bursa, Türkiye (t.y.). Alındığı tarih: 21.04.2015, adres: <http://www.cindil.net>
- [12] **Çelik, E., Bahçeci, İ., Yılmaz, V., Külücü, R.** (2003). Katı Atıkların Biyolojik Yöntemlerle Bertarafında Türk Çevre Mevzuatının AB Mevzuatı ile Karşılaştırılması. 2. Ulusal Katı Atık Kongresi, İzmir.
- [13] **Edgü, Y., Atabarut T.** (2004). Erzurum Şehri Katı Atık Yönetimi ve Erzurum Katı Atık Belediyeler Hizmet Birliği.
- [14] **Sosnowski, P., Wieczorek, A., Ledakowicz S.** (2003). Anaerobic Co-digestion of Sewage Sludge and Organic Fraction of Municipal Solid Wastes, Advances in Environmental Research.
- [15] **Öztürk, İ. Prof. Dr.** (2010). Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları İSTAÇ AŞ Teknik Kitaplar Serisi 2,
- [16] **Akpınar N., Şen M. Prof. Dr.** Kentsel Katı Atıklarda Enerji Üretimi, İ.T.Ü.Enerji Enstitüsü (t.y.). Alındığı tarih: 21.04.2015, adres: [http://www.dektmk.org.tr/pdf/enerji\\_kongresi10/Kentsel.pdf](http://www.dektmk.org.tr/pdf/enerji_kongresi10/Kentsel.pdf)
- [17] **Öztürk İ, Prof. Dr.** (2010). İTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü, Biomethane Production From Landfills, IWES 2. Atık Teknolojileri Sempozyumu.
- [18] **EPA, Environmental Protection Agency.** (2014) LFG Energy Project Development Handbook. (t.y.). Alındığı tarih: 21.04.2015, adres: <http://www.epa.gov/ttnecat1/dir1/landgem-v302-guide.pdf>
- [19] **Bolan, N.S., Thangarajan, R., Seshadri U., Jena, K.C., Wang, H., Naidu,**

- R.** (2014) Landfills as a biorefinery to produce biomass and capture biogas
- [20] **Öztürk S., Özcan M., Oğuz Y.** (2014). Potential evaluation of biomass based energy sources for Turkey
- [21] **Quetzalli A., Paul Taboada G., Sara Ojeda B., Samantha C.** (2014). Power generation with biogas from municipal solid waste: Prediction of gas generation with in situ parameters
- [22] **Mesade Otay, C.P.** (2013). Tijuana C., Mexico Vision 2023. Assessing The Feasibility of Electricity&Biogas Production From MSW in Turkey. Mehmet Melikoğlu Department of Energy Systems Eng., Atılım Üniversitesi, Ankara, Turkey
- [23] **Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun.** (2011). 08 Ocak 2011 tarihli 27809 sayılı, Resmi Gazete, Kanun No: 6094.
- [24] **ICE, Mavi Consultants ve Gaziantep Ü.** (2011). Gaziantep İklim Değişikliği Eylem Planı Stratejisi Final Rapor,
- [25] **Atık Yönetimi Eylem Planı.** (2008) T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Gn. Md.'lüğü, 2008-2012.
- [26] **Gaziantep B.B. Çevre Koruma Kontrol Daire Bşk.lığı.** (2013). Faaliyet Raporu (t.y.). Alındığı tarih: 21.04.2015, adres: [http://gaski.gov.tr/dokumanlar/2\\_4\\_\\_faaliyet\\_2013.pdf](http://gaski.gov.tr/dokumanlar/2_4__faaliyet_2013.pdf)
- [27] **Aydoğan, Ö., Varan G., Bilgili M. S.** (2010), Journal of Engineering and Natural Sciences Manucipal Solid Waste Management in Gaziantep. Gaziantep B.B., Çevre Koruma Kontrol D.Bşk.lığı Atıklar Şb. Md.lüğü, YTÜ, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Böl. İstanbul.
- [28] **Demir İ, Doç.Dr.** (2015), Kişisel görüşme, İTÜ Çevre Mühendisliği, İstanbul
- [29] **Tchobanoglous, G., Theisen H., Vigil S. (1993).** Integrated Solid Waste Management 1993 Mc Graw Hill Int .Editions
- [30] **EPA, Local Government Climate Energy Strategy Guides.** (2012). Landfill Gas Energy A Guide to Developing and Implementing Greenhouse Gas Reduction Programs
- [31] **Wermter, M.** (1992) Strategisches Projektmanagement ISBN 3-280-02172-3
- [32] **Switzerland Global Enterprise Market Report.** (2013). Waste Management and Waste Water Management In Turkey
- [33] **Gaziantep Çevre Durum Raporu.** (2005) Gaziantep Büyükşehir Belediyesi Devlet İstatistik Enstitüsü, Çevre ve Orman Müdürlüğü
- [34] **Gaziantep İklim Değişikliği Eylem Planı.** (2012) Enerji ve Sera Gazı Emisyon Profili, Ön Eylem Planı ve Uygulama Stratejisi.
- [35] **Acar, Y., Çevre Mühendisi.** (2014) Gaziantep Büyükşehir Belediyesi Atık Yönetimi Şube Müdürlüğü İşletme Şefliği

## **EKLER**

**EK A:** Şahinbey Enerji Tesisi depolama sahasında depolanan atıktan metan gazı ve elektrik enerjisi üretimi ile ilgili hesap çıktıları.

**EK A: Şahinbey Enerji Tesisi depolama sahasında depolanan atıktan metan gazı ve elektrik enerjisi üretimi ile ilgili hesap çıktıları .**

**Çizelge A.1: Şahinbey Enerji Tesisi depolama sahasında aktif olarak atık depolanma dönemi sırasında metan gazı üretimi**

| Yıl   | 2010       | 2011       | 2012       | 2013       | 2014       | 2015       | 2016       | 2017       | 2018       | 2019       | 2020       | 2021       | 2022       | 2023       | 2024       | 2025       |           |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|
|   | 1          | 2          | 3          | 4          | 5          | 6          | 7          | 8          | 9          | 10         | 11         | 12         | 13         | 14         | 15         | 16         |           |
| EKA<br>Ton/ yıl   | 438.000    | 446.527    | 455.458    | 464.567    | 473.858    | 483.335    | 493.002    | 502.862    | 512.919    | 523.178    | 533.641    | 544.314    | 555.200    | 566.304    | 577.630    | 589.183    |           |
| Q <sub>CH<sub>4</sub></sub> m <sup>3</sup> /yıl   | 3.541.427  | 3.368.710  | 3.204.416  | 3.048.135  | 2.899.475  | 2.758.066  | 2.623.554  | 2.495.602  | 2.373.890  | 2.258.114  | 2.147.984  | 2.043.226  | 1.943.576  | 1.848.787  | 1.758.621  | 1.672.852  |           |
|   |            | 3.610.373  | 3.434.293  | 3.266.800  | 3.107.477  | 2.955.923  | 2.811.761  | 2.674.630  | 2.544.187  | 2.420.105  | 2.302.075  | 2.189.802  | 2.083.004  | 1.981.415  | 1.884.780  | 1.792.858  |           |
|   |            |            | 3.682.580  | 3.502.979  | 3.332.136  | 3.169.626  | 3.015.042  | 2.867.996  | 2.728.123  | 2.595.070  | 2.468.507  | 2.348.117  | 2.233.598  | 2.124.664  | 2.021.043  | 1.922.476  |           |
|   |            |            |            | 3.756.232  | 3.573.038  | 3.398.779  | 3.233.019  | 3.075.343  | 2.925.356  | 2.782.685  | 2.646.972  | 2.517.878  | 2.395.079  | 2.278.270  | 2.167.157  | 2.061.464  |           |
|   |            |            |            |            | 3.831.357  | 3.644.499  | 3.466.755  | 3.297.679  | 3.136.849  | 2.983.863  | 2.838.339  | 2.699.911  | 2.568.235  | 2.442.981  | 2.323.835  | 2.210.500  |           |
|   |            |            |            |            |            | 3.907.984  | 3.717.389  | 3.536.090  | 3.363.633  | 3.199.586  | 3.043.541  | 2.895.106  | 2.753.910  | 2.619.600  | 2.491.840  | 2.370.312  |           |
|   |            |            |            |            |            |            |            | 3.986.143  | 3.791.737  | 3.606.812  | 3.430.905  | 3.263.578  | 3.104.412  | 2.953.008  | 2.808.988  | 2.671.992  | 2.541.677 |
|   |            |            |            |            |            |            |            |            | 4.065.866  | 3.867.572  | 3.678.948  | 3.499.524  | 3.328.850  | 3.166.500  | 3.012.068  | 2.865.168  | 2.725.432 |
|   |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 4.147.184  | 3.944.923  | 3.752.527  | 3.569.514  | 3.395.427  | 3.229.830  | 3.072.309  | 2.922.471 |
|   |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 4.230.127  | 4.023.821  | 3.827.577  | 3.640.904  | 3.463.335  | 3.294.426  | 3.133.755 |
|   |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 4.314.730  | 4.104.298  | 3.904.129  | 3.713.722  | 3.532.602  | 3.360.315 |
|   |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 4.401.024  | 4.186.384  | 3.982.212  | 3.787.997  | 3.603.254 |
|   |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 4.489.045  | 4.270.112  | 4.061.856  | 3.863.757 |
|   |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 4.578.826  | 4.355.514  | 4.143.093 |
|   |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 4.670.402  | 4.442.624 |
|   |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 4.763.810 |
| 2010<br>öncesi<br>çöpten<br>Q <sub>CH<sub>4</sub></sub><br>m <sup>3</sup> /yıl                            | 21.001.929 | 19.977.653 | 19.003.331 | 18.076.528 | 17.194.925 | 16.356.319 | 15.558.612 | 14.799.809 | 14.078.014 | 13.391.421 | 12.738.314 | 12.117.059 | 11.526.103 | 10.963.968 | 10.429.249 | 9.920.609  |           |
| Kümülatif<br>Q <sub>CH<sub>4</sub></sub><br>m <sup>3</sup> /yıl   | 24.543.356 | 26.956.736 | 29.324.620 | 31.650.674 | 33.938.409 | 36.191.197 | 38.412.275 | 40.604.752 | 42.771.618 | 44.915.749 | 47.039.912 | 49.146.773 | 51.238.901 | 53.318.776 | 55.388.791 | 57.451.258 |           |
| % 60<br>metan<br>yakalama<br>oranı ile<br>kümülatif<br>Q <sub>CH<sub>4</sub></sub><br>m <sup>3</sup> /yıl | 14.726.014 | 16.174.041 | 17.594.772 | 18.990.404 | 20.363.045 | 21.714.718 | 23.047.365 | 24.362.851 | 25.662.971 | 26.949.450 | 28.223.947 | 29.488.064 | 30.743.341 | 31.991.266 | 33.233.275 | 34.470.755 |           |

**Çizelge A.1 (devam) : Şahinbey Enerji Tesisi depolama sahasında aktif olarak atık depolanma dönemi sırasında metan gazı üretimi.**

| Yıl  | 2026<br>17 | 2027<br>18 | 2028<br>19 | 2029<br>20 | 2030<br>21 | 2031<br>22 | 2032<br>23 | 2033<br>24 | 2034<br>25 | 2035<br>26 | 2036<br>27 | 2037<br>28 | 2038<br>29 | 2039<br>30 |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| EKA (Ton/yıl)                                      | 600.967    | 612.986    | 625.246    | 637.751    | 650.506    | 663.516    | 676.786    | 690.322    | 704.128    | 718.211    | 732.575    | 747.227    | 762.171    | 777.415    |
| Q <sub>CH4</sub> (m <sup>3</sup> /yıl)             | 1.591.266  | 1.513.659  | 1.439.837  | 1.369.615  | 1.302.818  | 1.239.279  | 1.178.839  | 1.121.346  | 1.066.657  | 1.014.636  | 965.151    | 918.080    | 873.305    | 830.714    |
|  | 1.705.419  | 1.622.245  | 1.543.127  | 1.467.868  | 1.396.279  | 1.328.182  | 1.263.406  | 1.201.789  | 1.143.177  | 1.087.423  | 1.034.389  | 983.941    | 935.954    | 890.307    |
|  | 1.828.715  | 1.739.528  | 1.654.690  | 1.573.990  | 1.497.225  | 1.424.205  | 1.354.746  | 1.288.674  | 1.225.825  | 1.166.040  | 1.109.172  | 1.055.077  | 1.003.620  | 954.673    |
|  | 1.960.925  | 1.865.290  | 1.774.318  | 1.687.784  | 1.605.470  | 1.527.170  | 1.452.689  | 1.381.841  | 1.314.447  | 1.250.341  | 1.189.361  | 1.131.355  | 1.076.178  | 1.023.693  |
|  | 2.102.693  | 2.000.144  | 1.902.595  | 1.809.805  | 1.721.539  | 1.637.579  | 1.557.713  | 1.481.743  | 1.409.477  | 1.340.736  | 1.275.348  | 1.213.148  | 1.153.982  | 1.097.702  |
|  | 2.254.710  | 2.144.747  | 2.040.146  | 1.940.647  | 1.846.001  | 1.755.970  | 1.670.331  | 1.588.868  | 1.511.378  | 1.437.667  | 1.367.551  | 1.300.855  | 1.237.411  | 1.177.062  |
|  | 2.417.718  | 2.299.805  | 2.187.642  | 2.080.949  | 1.979.460  | 1.882.921  | 1.791.090  | 1.703.737  | 1.620.645  | 1.541.605  | 1.466.420  | 1.394.902  | 1.326.872  | 1.262.160  |
|  | 2.592.511  | 2.466.073  | 2.345.801  | 2.231.395  | 2.122.568  | 2.019.049  | 1.920.579  | 1.826.911  | 1.737.812  | 1.653.058  | 1.572.437  | 1.495.749  | 1.422.800  | 1.353.409  |
|  | 2.779.940  | 2.644.361  | 2.515.394  | 2.392.717  | 2.276.023  | 2.165.020  | 2.059.430  | 1.958.991  | 1.863.450  | 1.772.568  | 1.686.119  | 1.603.886  | 1.525.664  | 1.451.256  |
|  | 2.980.920  | 2.835.539  | 2.697.248  | 2.565.702  | 2.440.571  | 2.321.543  | 2.208.320  | 2.100.619  | 1.998.171  | 1.900.719  | 1.808.020  | 1.719.841  | 1.635.964  | 1.556.177  |
|  | 3.196.430  | 3.040.539  | 2.892.250  | 2.751.193  | 2.617.016  | 2.489.383  | 2.367.974  | 2.252.486  | 2.142.631  | 2.038.134  | 1.938.733  | 1.844.180  | 1.754.238  | 1.668.683  |
|  | 3.427.521  | 3.260.359  | 3.101.349  | 2.950.095  | 2.806.217  | 2.669.356  | 2.539.170  | 2.415.333  | 2.297.536  | 2.185.484  | 2.078.897  | 1.977.508  | 1.881.064  | 1.789.323  |
|  | 3.675.319  | 3.496.072  | 3.325.566  | 3.163.376  | 3.009.097  | 2.862.341  | 2.722.743  | 2.589.954  | 2.463.640  | 2.343.487  | 2.229.194  | 2.120.475  | 2.017.058  | 1.918.685  |
|  | 3.941.032  | 3.748.825  | 3.565.993  | 3.392.078  | 3.226.644  | 3.069.279  | 2.919.588  | 2.777.198  | 2.641.753  | 2.512.913  | 2.390.357  | 2.273.778  | 2.162.884  | 2.057.399  |
|  | 4.225.955  | 4.019.852  | 3.823.802  | 3.637.313  | 3.459.919  | 3.291.177  | 3.130.664  | 2.977.980  | 2.832.742  | 2.694.588  | 2.563.171  | 2.438.164  | 2.319.253  | 2.206.142  |
|  | 4.531.477  | 4.310.474  | 4.100.250  | 3.900.278  | 3.710.059  | 3.529.117  | 3.357.000  | 3.193.278  | 3.037.540  | 2.889.397  | 2.748.479  | 2.614.435  | 2.486.927  | 2.365.638  |
|  | 4.859.087  | 4.622.106  | 4.396.683  | 4.182.255  | 3.978.284  | 3.784.260  | 3.599.700  | 3.424.140  | 3.257.143  | 3.098.290  | 2.947.185  | 2.803.449  | 2.666.723  | 2.536.666  |
|  |            | 4.956.268  | 4.714.548  | 4.484.617  | 4.265.900  | 4.057.849  | 3.859.946  | 3.671.694  | 3.492.623  | 3.322.286  | 3.160.256  | 3.006.129  | 2.859.518  | 2.720.058  |
|  |            |            | 5.055.394  | 4.808.839  | 4.574.309  | 4.351.218  | 4.139.006  | 3.937.145  | 3.745.128  | 3.562.476  | 3.388.732  | 3.223.461  | 3.066.251  | 2.916.708  |
|  |            |            |            | 5.156.501  | 4.905.016  | 4.665.795  | 4.438.242  | 4.221.786  | 4.015.887  | 3.820.030  | 3.633.725  | 3.456.506  | 3.287.931  | 3.127.576  |
|  |            |            |            |            | 5.259.632  | 5.003.116  | 4.759.111  | 4.527.007  | 4.306.222  | 4.096.205  | 3.896.431  | 3.706.400  | 3.525.636  | 3.353.689  |
|  |            |            |            |            |            | 5.364.824  | 5.103.179  | 4.854.294  | 4.617.547  | 4.392.347  | 4.178.129  | 3.974.359  | 3.780.528  | 3.596.149  |
|  |            |            |            |            |            |            | 5.472.121  | 5.205.242  | 4.951.380  | 4.709.898  | 4.480.193  | 4.261.692  | 4.053.847  | 3.856.138  |
|  |            |            |            |            |            |            |            | 5.581.563  | 5.309.347  | 5.050.407  | 4.804.096  | 4.569.797  | 4.346.926  | 4.134.924  |
|  |            |            |            |            |            |            |            |            | 5.693.194  | 5.415.534  | 5.151.415  | 4.900.178  | 4.661.193  | 4.433.864  |
|  |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 5.807.058  | 5.523.845  | 5.254.444  | 4.998.181  | 4.754.417  |
|  |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 5.923.199  | 5.634.322  | 5.359.532  | 5.098.145  |            |
|  |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 6.041.663  | 5.747.008  | 5.466.723  |            |
|  |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 6.162.497  | 5.861.948  |            |
|  |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 6.285.747  |            |
| 2010öncesi Q <sub>CH4</sub> x 10 <sup>3</sup>      | 9.436,8    | 8.976,5    | 8.538,8    | 8.122,3    | 7.726,2    | 7.349,4    | 6.990,9    | 6.650,0    | 6.325,7    | 6.017,2    | 5.723,7    | 5.444,5    | 5.179,0    | 4.926,4    |
| Küm. Q <sub>CH4</sub> x 10 <sup>3</sup>            | 59.508,4   | 61.562,4   | 63.615,4   | 65.669,3   | 67.726,2   | 69.788,0   | 71.856,5   | 73.933,6   | 76.021,0   | 78.120,5   | 80.233,7   | 82.362,3   | 84.508,0   | 86.672,2   |
| % 60 metan küm. Q <sub>CH4</sub> x 10 <sup>3</sup> | 35.705,1   | 36.937,5   | 38.169,2   | 39.401,6   | 40.635,7   | 41.872,8   | 43.113,9   | 44.360,2   | 45.612,6   | 46.872,3   | 48.140,2   | 49.417,4   | 50.704,8   | 52.003,3   |

**Çizelge A.2:** Şahinbey Enerji Tesisi depolama sahasında aktif olarak atık depolanma dönemi sonrasında metan gazı üretimi bin m<sup>3</sup>.

| Yıl   | 2040<br>31 | 2041<br>32 | 2042<br>33 | 2043<br>34 | 2044<br>35 | 2045<br>36 | 2046<br>37 | 2047<br>38 | 2048<br>39 | 2049<br>40 | 2050<br>41 | 2051<br>42 | 2052<br>43 | 2053<br>44 | 2054<br>45 | 2055<br>46 | 2056<br>47 | 2057<br>48 | 2058<br>49 |
|---|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 790   | 752        | 715        | 680        | 647        | 615        | 585        | 556,8      | 530        | 504        | 479        | 456        | 434        | 413        | 392        | 373        | 355        | 338        | 322        |            |
| 846   | 806        | 766        | 729        | 693        | 660        | 627        | 596,8      | 568        | 540        | 514        | 489        | 465        | 442        | 421        | 400        | 380,5      | 362        | 344        |            |
| 908   | 864        | 821        | 782        | 744        | 707        | 673        | 639,9      | 609        | 579        | 551        | 524        | 498        | 474        | 451        | 429        | 408        | 388        | 369        |            |
| 974   | 926        | 881        | 838        | 797        | 759        | 721        | 686        | 653        | 621        | 591        | 562        | 534        | 508        | 484        | 460        | 438        | 416        | 396        |            |
| 1.044   | 993        | 944        | 898        | 855        | 813        | 774        | 736        | 700        | 666        | 633        | 602        | 573        | 545        | 519        | 493        | 469        | 446        | 425        |            |
| 1.120   | 1.065      | 1.013      | 965        | 917        | 872        | 830        | 789        | 751        | 714        | 679        | 646        | 615        | 585        | 556        | 529        | 503        | 479        | 455        |            |
| 1.201   | 1.142      | 1.086      | 1.033      | 983        | 935        | 889        | 846        | 805        | 766        | 728        | 693        | 660        | 627        | 596        | 567        | 540        | 513        | 488        |            |
| 1.287   | 1.224      | 1.165      | 1.108      | 1.054      | 1.003      | 954        | 907        | 863        | 821        | 781        | 743        | 707        | 672        | 639        | 608        | 579        | 550        | 524        |            |
| 1.381   | 1.313      | 1.249      | 1.188      | 1.130      | 1.075      | 1.023      | 973        | 925        | 880        | 837        | 797        | 758        | 721        | 686        | 652        | 620        | 590        | 561        |            |
| 1.480   | 1.408      | 1.339      | 1.274      | 1.212      | 1.153      | 1.097      | 1.043      | 992        | 944        | 898        | 854        | 812        | 773        | 735        | 699        | 665        | 633        | 602        |            |
| 1.587   | 1.509      | 1.436      | 1.366      | 1.300      | 1.236      | 1.176      | 1.118      | 1.064      | 1.012      | 963        | 916        | 871        | 829        | 788        | 750        | 713        | 678        | 645        |            |
| 1.702   | 1.619      | 1.540      | 1.465      | 1.394      | 1.326      | 1.261      | 1.199      | 1.141      | 1.085      | 1.032      | 982        | 934        | 889        | 845        | 804        | 765        | 728        | 692        |            |
| 1.825   | 1.736      | 1.651      | 1.571      | 1.494      | 1.421      | 1.352      | 1.286      | 1.223      | 1.164      | 1.107      | 1.053      | 1.002      | 953        | 906        | 862        | 820        | 780        | 742        |            |
| 1.957   | 1.862      | 1.771      | 1.685      | 1.602      | 1.524      | 1.450      | 1.379      | 1.312      | 1.248      | 1.187      | 1.129      | 1.074      | 1.022      | 972        | 925        | 879        | 837        | 796        |            |
| 2.099   | 1.996      | 1.899      | 1.806      | 1.718      | 1.634      | 1.555      | 1.479      | 1.407      | 1.338      | 1.273      | 1.211      | 1.152      | 1.096      | 1.042      | 991        | 943        | 897        | 853        |            |
| 2.250   | 2.141      | 2.036      | 1.937      | 1.842      | 1.753      | 1.667      | 1.586      | 1.508      | 1.435      | 1.365      | 1.298      | 1.235      | 1.175      | 1.118      | 1.063      | 1.011      | 963        | 915        |            |
| 2.413   | 2.295      | 2.183      | 2.077      | 1.976      | 1.880      | 1.788      | 1.701      | 1.618      | 1.539      | 1.464      | 1.393      | 1.324      | 1.260      | 1.199      | 1.140      | 1.085      | 1.031      | 981        |            |
| 2.587   | 2.461      | 2.341      | 2.227      | 2.118      | 2.015      | 1.917      | 1.823      | 1.734      | 1.650      | 1.570      | 1.493      | 1.420      | 1.351      | 1.285      | 1.223      | 1.163      | 1.106      | 1.052      |            |
| 2.775   | 2.639      | 2.510      | 2.388      | 2.272      | 2.161      | 2.055      | 1.955      | 1.860      | 1.769      | 1.683      | 1.601      | 1.523      | 1.448      | 1.378      | 1.311      | 1.247      | 1.186      | 1.128      |            |
| 2.975   | 2.830      | 2.692      | 2.561      | 2.436      | 2.317      | 2.204      | 2.097      | 1.994      | 1.897      | 1.805      | 1.717      | 1.633      | 1.553      | 1.477      | 1.405      | 1.337      | 1.272      | 1.210      |            |
| 3.190   | 3.035      | 2.887      | 2.746      | 2.612      | 2.485      | 2.363      | 2.248      | 2.138      | 2.034      | 1.935      | 1.841      | 1.751      | 1.665      | 1.584      | 1.507      | 1.433      | 1.364      | 1.297      |            |
| 3.421   | 3.254      | 3.095      | 2.944      | 2.801      | 2.664      | 2.534      | 2.411      | 2.293      | 2.181      | 2.075      | 1.974      | 1.877      | 1.786      | 1.699      | 1.616      | 1.537      | 1.462      | 1.391      |            |
| 3.668   | 3.489      | 3.319      | 3.157      | 3.003      | 2.857      | 2.717      | 2.585      | 2.459      | 2.339      | 2.225      | 2.116      | 2.014      | 1.915      | 1.822      | 1.733      | 1.648      | 1.568      | 1.491      |            |
| 3.933   | 3.741      | 3.559      | 3.385      | 3.220      | 3.063      | 2.914      | 2.772      | 2.637      | 2.509      | 2.3866     | 2.269      | 2.1597     | 2.053      | 1.953      | 1.8589     | 1.767      | 1.681      | 1.599      |            |
| 4.218   | 4.012      | 3.816      | 3.630      | 3.453      | 3.285      | 3.124      | 2.972      | 2.827      | 2.689      | 2.558      | 2.433      | 2.315      | 2.202      | 2.094      | 1.992      | 1.895      | 1.803      | 1.715      |            |
| 4.523   | 4.302      | 4.092      | 3.893      | 3.703      | 3.522      | 3.350      | 3.187      | 3.032      | 2.884      | 2.743      | 2.609      | 2.482      | 2.361      | 2.246      | 2.136      | 2.032      | 1.933      | 1.839      |            |
| 4.850   | 4.613      | 4.388      | 4.174      | 3.970      | 3.777      | 3.593      | 3.417      | 3.251      | 3.092      | 2.941      | 2.798      | 2.662      | 2.532      | 2.408      | 2.291      | 2.179      | 2.073      | 1.972      |            |
| 5.200   | 4.947      | 4.705      | 4.476      | 4.258      | 4.050      | 3.852      | 3.665      | 3.486      | 3.316      | 3.154      | 3.000      | 2.854      | 2.715      | 2.582      | 2.456      | 2.337      | 2.223      | 2.114      |            |
| 5.576   | 5.304      | 5.045      | 4.799      | 4.565      | 4.343      | 4.131      | 3.929      | 3.738      | 3.556      | 3.382      | 3.217      | 3.061      | 2.911      | 2.769      | 2.634      | 2.506      | 2.383      | 2.267      |            |
| 5.979   | 5.688      | 5.410      | 5.146      | 4.895      | 4.657      | 4.430      | 4.214      | 4.008      | 3.813      | 3.627      | 3.450      | 3.281      | 3.121      | 2.969      | 2.824      | 2.687      | 2.556      | 2.431      |            |
| 2010öncesi<br>Q <sub>CH4</sub> x10 <sup>3</sup> | 4.686      | 4.458      | 4.240      | 4.033      | 3.837      | 3.650      | 3.472      | 3.302      | 3.141      | 2.988      | 2.842      | 2.704      | 2.572      | 2.446      | 2.327      | 2.214      | 2.106      | 2.003      | 1.905      |
| Küm. Q <sub>CH4</sub><br>m <sup>3</sup> /yıl    | 82.445     | 78.424     | 74.599     | 70.961     | 67.500     | 64.208     | 61.076     | 58.098     | 55.264     | 52.569     | 50.005     | 47.566     | 45.246     | 43.040     | 40.941     | 38.944     | 37.044     | 35.238     | 33.519     |
| % 60 küm.<br>Q <sub>CH4</sub>                   | 49.467     | 47.054     | 44.759     | 42.576     | 40.500     | 38.525     | 36.646     | 34.858     | 33.158     | 31.541     | 30.003     | 28.540     | 27.148     | 25.824     | 24.564     | 23.366     | 22.226     | 21.142.    | 20.111     |



**Çizelge A.3: Şahinbey Enerji Tesisi depolama sahasında aktif olarak atık depolanma dönemi sırasında enerji üretimi.**

| Yıl   | 2010    | 2011    | 2012    | 2013    | 2014    | 2015    | 2016     | 2017     | 2018     | 2019     | 2020     | 2021     | 2022     | 2023     | 2024     | 2025     |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|   | 1       | 2       | 3       | 4       | 5       | 6       | 7        | 8        | 9        | 10       | 11       | 12       | 13       | 14       | 15       | 16       |
| Küm. $Q_{CH_4}$ m <sup>3</sup> /h                   | 1.681   | 1.846   | 2.009   | 2.168   | 2.325   | 2.479   | 2.631    | 2.781    | 2.930    | 3.076    | 3.222    | 3.366    | 3.510    | 3.652    | 3.794    | 3.935    |
| Net b. elk kWh/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>       | 2,17    | 2,17    | 2,17    | 2,17    | 2,17    | 2,17    | 2,17     | 2,17     | 2,17     | 2,17     | 2,17     | 2,17     | 2,17     | 2,17     | 2,17     | 2,17     |
| Net Elk kWh   | 3.648   | 4.007   | 4.359   | 4.704   | 5.044   | 5.379   | 5.709    | 6.035    | 6.357    | 6.676    | 6.992    | 7.305    | 7.616    | 7.925    | 8.232    | 8.539    |
| Kurulabilir elk. gücü MW                            | 3,65    | 4,01    | 4,36    | 4,70    | 5,04    | 5,38    | 5,71     | 6,04     | 6,36     | 6,68     | 6,99     | 7,30     | 7,62     | 7,92     | 8,23     | 8,54     |
| Kurulu güç MW                                       | 3,3     | 3,3     | 3,3     | 3,3     | 5,55    | 5,55    | 5,55     | 5,55     | 5,55     | 5,55     | 5,55     | 5,55     | 5,55     | 5,55     | 5,55     | 5,55     |
| Satışa esas kWh (%15 iç ihtiyaç hariç)              | 2.805   | 2.805   | 2.805   | 2.805   | 4.284   | 4.573   | 4.675    | 4.675    | 4.675    | 4.675    | 4.675    | 4.675    | 4.675    | 4.675    | 4.675    | 4.675    |
| Birim kWh satış bedeli \$                           | 0,133   | 0,133   | 0,133   | 0,133   | 0,133   | 0,133   | 0,133    | 0,133    | 0,133    | 0,133    | 0,133    | 0,133    | 0,133    | 0,133    | 0,133    | 0,133    |
| kWh satış tutarı \$/ saat                           | 373     | 373     | 373     | 373     | 570     | 608     | 622      | 622      | 622      | 622      | 622      | 622      | 622      | 622      | 622      | 622      |
| kWh satış bedeli \$/ yıl x10 <sup>3</sup>           | 537,2   | 3.268,1 | 3.268,1 | 3.268,1 | 4.991,2 | 5.327,9 | 5.446,8  | 5.446,8  | 5.446,8  | 5.446,8  | 5.446,8  | 5.446,8  | 5.446,8  | 5.446,8  | 5.446,8  | 5.446,8  |
| İşletme gid. ve bakım (yatırım maliyetinin ~% 0,02) | 161.720 | 161.720 | 161.720 | 161.720 | 161.720 | 161.720 | 161.720  | 161.720  | 161.720  | 161.720  | 161.720  | 161.720  | 161.720  | 161.720  | 161.720  | 161.720  |
| Net kWh satış bedeli \$/ yıl x10 <sup>3</sup>       | 375,5   | 3.106,3 | 3.106,3 | 3.106,3 | 4.829,3 | 5.166,2 | 5.285,0  | 5.285,0  | 5.285,0  | 5.285,0  | 5.285,0  | 5.285,0  | 5.285,0  | 5.285,0  | 5.285,0  | 5.285,0  |
| Kar paylaşımı % 50 x10 <sup>3</sup>                 | 187,8   | 1.553,3 | 1.553,2 | 1.553,2 | 2.414,7 | 2.583,1 | 2.642,5  | 2.642,5  | 2.642,5  | 2.642,5  | 2.642,5  | 2.642,5  | 2.642,5  | 2.642,5  | 2.642,5  | 2.642,5  |
| Yatırımcı için küm. kazanç (\$) x10 <sup>3</sup>    | 187,7   | 1.740,9 | 3.294,1 | 4.847,2 | 7.262,0 | 9.845,1 | 12.487,6 | 15.130,1 | 17.772,6 | 20.415,1 | 23.057,7 | 25.700,1 | 28.342,7 | 30.985,2 | 33.627,7 | 36.270,2 |

**Çizelge A.3 (devam): Şahinbey Enerji Tesisi depolama sahasında aktif olarak atık depolanma dönemi sırasında enerji üretimi.**

| Yıl  | 2026<br>17 | 2027<br>18 | 2028<br>19 | 2029<br>20 | 2030<br>21 | 2031<br>22 | 2032<br>23 | 2033<br>24 | 2034<br>25 | 2035<br>26 | 2036<br>27 | 2037<br>28 | 2038<br>29 | 2039<br>30 |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Küm. $Q_{CH_4}$<br>m <sup>3</sup> /h                     | 4.076      | 4.217      | 4.357      | 4.498      | 4.639      | 4.780      | 4.922      | 5.064      | 5.207      | 5.351      | 5.495      | 5.641      | 5.788      | 5.936      |
| Net birim<br>elk. kWh/<br>m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       |
| Net elk. kWh   | 8.845      | 9.150      | 9.455      | 9.760      | 10.066     | 10.373     | 10.680     | 10.989     | 11.299     | 11.611     | 11.925     | 12.242     | 12.560     | 12.882     |
| Kurulabilir<br>elk. gücü<br>MW                           | 8,84       | 9,15       | 9,46       | 9,76       | 10,07      | 10,37      | 10,68      | 10,99      | 11,30      | 11,61      | 11,93      | 12,24      | 12,56      | 12,88      |
| Kurulu güç<br>MW   | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       |
| Satış gücü<br>(~%15 iç<br>ihtiyaç hariç)<br>kWh          | 4.675      | 4.675      | 4.675      | 4.675      | 4.675      | 4.675      | 4.675      | 4.675      | 4.675      | 4.675      | 4.675      | 4.675      | 4.675      | 4.675      |
| Birim kWh<br>satış bedeli \$                             | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      |
| kWh satış<br>tutarı \$/ saat                             | 622        | 622        | 622        | 622        | 622        | 622        | 622        | 622        | 622        | 622        | 622        | 622        | 622        | 622        |
| kWh satış<br>bedeli \$/ yıl<br>x10 <sup>3</sup>          | 5.447      | 5.447      | 5.447      | 5.447      | 5.447      | 5.447      | 5.447      | 5.447      | 5.447      | 5.447      | 5.447      | 5.447      | 5.447      | 5.447      |
| İşletme gid.<br>ve bakım                                 | 161.720    | 161.720    | 161.720    | 161.720    | 161.720    | 161.720    | 161.720    | 161.720    | 161.720    | 161.720    | 161.720    | 161.720    | 161.720    | 161.720    |
| Net kWh<br>satış (\$/yıl)<br>x10 <sup>3</sup>            | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      |
| Kar %50<br>paylaşımı<br>x10 <sup>3</sup>                 | 2.643      | 2.643      | 2.643      | 2.643      | 2.643      | 2.643      | 2.643      | 2.643      | 2.643      | 2.643      | 2.643      | 2.643      | 2.643      | 2.643      |
| Yatırımcı<br>için küm.<br>kazanç \$<br>x10 <sup>3</sup>  | 38.913     | 41.555     | 44.197     | 46.841     | 49.483     | 52.125     | 54.768     | 57.410     | 60.053     | 62.695     | 65.338     | 67.980     | 70.623     | 73.265     |

**Çizelge A.4: Şahinbey Enerji Tesisi depolama sahasında aktif olarak atık depolanma dönemi sonrasında enerji üretimi.**

| Yıl  | 2040<br>31 | 2041<br>32 | 2042<br>33 | 2043<br>34 | 2044<br>35 | 2045<br>36 | 2046<br>37 | 2047<br>38 | 2048<br>39 | 2049<br>40 | 2050<br>41 | 2051<br>42 | 2052<br>43 | 2053<br>44 | 2054<br>45 | 2055<br>46 | 2056<br>47 | 2057<br>48 | 2058<br>49 |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Küm. Q <sub>ICH4</sub><br>m <sup>3</sup> /saat             | 5.647      | 5.372      | 5.110      | 4.860      | 4.623      | 4.398      | 4.183      | 3.979      | 3.785      | 3.601      | 3.425      | 3.258      | 3.099      | 2.948      | 2.804      | 2.667      | 2.537      | 2.414      | 2.296      |
| Net birim<br>elk.<br>kWh/m <sup>3</sup><br>CH <sub>4</sub> | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       | 2,17       |
| Net Elk<br>kWh   | 12.254     | 11.656     | 11.088     | 10.547     | 10.033     | 9.543      | 9.078      | 8.635      | 8.214      | 7.813      | 7.432      | 7.070      | 6.725      | 6.397      | 6.085      | 5.788      | 5.506      | 5.237      | 4.982      |
| Kurula-<br>bilir elk.<br>gücü MW                           | 12,25      | 11,66      | 11,09      | 10,55      | 10,03      | 9,54       | 9,08       | 8,64       | 8,21       | 7,81       | 7,43       | 7,07       | 6,73       | 6,40       | 6,09       | 5,79       | 5,51       | 5,24       | 4,98       |
| Kurulu güç<br>MW   | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       | 5,55       |
| Satışa esas<br>güç   | 4.675      | 4.675      | 4.718      | 4.718      | 4.718      | 4.718      | 4.718      | 4.718      | 4.718      | 4.718      | 4.718      | 4.718      | 4.718      | 4.718      | 4.718      | 4.718      | 4.718      | 4.718      | 4.718      |
| Birim kWh<br>satış bedeli<br>\$                            | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      | 0,133      |
| kWh satış<br>(\$)  | 622        | 622        | 627        | 627        | 627        | 627        | 627        | 627        | 627        | 627        | 627        | 627        | 627        | 627        | 627        | 627        | 627        | 627        | 627        |
| kWh satış<br>bedeli (\$/<br>yıl) x10 <sup>3</sup>          | 5.497      | 5.497      | 5.497      | 5.497      | 5.497      | 5.497      | 5.497      | 5.497      | 5.497      | 5.497      | 5.497      | 5.497      | 5.497      | 5.497      | 5.497      | 5.497      | 5.497      | 5.497      | 5.497      |
| İşletme<br>gid.+<br>bakım x10 <sup>3</sup>                 | 161,7      | 161,7      | 161,7      | 161,7      | 161,7      | 161,7      | 161,7      | 161,7      | 161,7      | 161,7      | 161,7      | 161,7      | 161,7      | 161,7      | 161,7      | 161,7      | 161,7      | 161,7      | 161,7      |
| Net kWh<br>satış (\$/yıl)<br>x10 <sup>3</sup>              | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      | 5.285      |
| Kar %50<br>paylaşımı<br>x10 <sup>3</sup>                   | 2.677      | 2.677      | 2.677      | 2.677      | 2.677      | 2.677      | 2.677      | 2.677      | 2.677      | 2.677      | 2.677      | 2.677      | 2.677      | 2.677      | 2.677      | 2.677      | 2.677      | 2.677      | 2.677      |
| Yatırım-cı<br>için küm.<br>kazanç \$<br>x10 <sup>6</sup>   | 75,9       | 78,6       | 81,2       | 83,9       | 86,6       | 89,2       | 91,9       | 94,6       | 97,2       | 99,9       | 102,6      | 105,2      | 107,9      | 110,6      | 113,3      | 115,9      | 118,6      | 121,2      | 123,9      |





## ÖZGEÇMİŞ

**Ad Soyad** : Mesut Cem COŞKUNER  
**Doğum Yeri ve Tarihi:** İstanbul - 1960  
**Adres** : Üsküdar / ISTANBUL  
**E-Posta** : cem.coskuner@gmail.com  
**Lisans** : İstanbul Teknik Üniversitesi  
Elektrik Mühendisliği Bölümü