

**T.C.  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**BİYOĞAZ TESİSLERİNDE ÇOKLU REGRESYON YÖNTEMİ İLE ENERJİ  
VERİMLİLİĞİNİN VE VERİMLİLİK ARTTIRMA YÖNTEMLERİNİN  
DEĞERLENDİRİLMESİ**

**Birand ALBOĞA**

**Doç. Dr. Hayati MAMUR**



**MANİSA-2023**

BİRAND  
ALBOĞA

BİYOGAZ TESİSLERİNDE ÇOKLU REGRESYON YÖNTEMİ İLE ENERJİ  
VERİMLİLİĞİNİN VE VERİMLİLİK ARTTIRMA YÖNTEMLERİNİN  
DEĞERLENDİRİLMESİ

2023

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.



## İÇİNDEKİLER

|                                                                              | Sayfa |
|------------------------------------------------------------------------------|-------|
| İÇİNDEKİLER .....                                                            | I     |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                                         | II    |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                         | IV    |
| TABLO DİZİNİ .....                                                           | V     |
| TEŞEKKÜR.....                                                                | VII   |
| ÖZET.....                                                                    | VIII  |
| ABSTRACT.....                                                                | IX    |
| 1. GİRİŞ.....                                                                | 1     |
| 2. GENEL BİLGİLER.....                                                       | 5     |
| 2.1. Düzenli Atık Depolama Tesisinin Planlanması.....                        | 5     |
| 2.2. Literatür Araştırması .....                                             | 6     |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....                                                | 11    |
| 3.1. Materyal.....                                                           | 11    |
| 3.1.1. İzmir İli Verileri.....                                               | 11    |
| 3.1.2. Biyogazın Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasındaki Yeri.....        | 13    |
| 3.1.3. Biyokütle Potansiyeli.....                                            | 16    |
| 3.1.4. Katı Atık Bertaraf Tesisleri.....                                     | 19    |
| 3.1.5. İzmir İli Atık Verileri.....                                          | 21    |
| 3.1.6. Harmandalı Düzenli Atık Depolama Tesisi.....                          | 24    |
| 3.2. Yöntem .....                                                            | 34    |
| 3.2.1. Harmandalı Düzenli Atık Depolama Tesisinde Elektrik Üretimi.....      | 34    |
| 3.2.2. Harmandalı Düzenli Atık Depolama Tesisi Elektrik Üretim Prosesi ..... | 40    |
| 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....                                      | 43    |
| 4.1. Çoklu Regresyon Yöntemi ile Elektrik Üretimi Verim Analizi.....         | 43    |
| 4.1.1. Çoklu Regresyon Analizi ile Verim Analizi.....                        | 43    |
| 4.1.2. Harmandalı Düzenli Atık Depolama Tesisi Verileri .....                | 44    |
| 4.2. Verimlilik Analizi.....                                                 | 47    |
| 5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                                   | 58    |
| KAYNAKLAR .....                                                              | 62    |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                               | 67    |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

|                      |                                                                                                                                                                                        |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $^{\circ}\text{C}$   | Santigrat Derece                                                                                                                                                                       |
| $\text{CH}_4$        | Metan                                                                                                                                                                                  |
| $\text{CO}_2$        | Karbon Dioksit                                                                                                                                                                         |
| $\text{CO}$          | Karbon Monoksit                                                                                                                                                                        |
| $C_{org}, C_{0,i}$   | Organik Karbon Miktarı                                                                                                                                                                 |
| $d$                  | Üretim Sabiti                                                                                                                                                                          |
| $G_t$                | Toplam Deponi Gazı Miktarı                                                                                                                                                             |
| $\text{H}_2$         | Hidrojen                                                                                                                                                                               |
| $\text{H}_2\text{S}$ | Hidrojen Sülfür                                                                                                                                                                        |
| $k$                  | Atığın Bozunma Hızı                                                                                                                                                                    |
| $\text{kV}$          | Kilo Volt                                                                                                                                                                              |
| $\text{kW}$          | Kilo Watt                                                                                                                                                                              |
| $L_0$                | Potansiyel Metan Oluşum Kapasitesi                                                                                                                                                     |
| $M$                  | Atık Miktarı                                                                                                                                                                           |
| $\text{MW}$          | Mega Watt                                                                                                                                                                              |
| $\text{MWe}$         | Mega Watt Elektrik                                                                                                                                                                     |
| $\text{MWh}$         | Mega Watt Saat                                                                                                                                                                         |
| $\text{N}_2$         | Azot                                                                                                                                                                                   |
| $\text{NH}_3$        | Amonyak                                                                                                                                                                                |
| $\text{O}_2$         | Oksijen                                                                                                                                                                                |
| $T$                  | Sıcaklık                                                                                                                                                                               |
| $Q_{CH_4}$           | Yıllık Metan Oluşum Miktarı                                                                                                                                                            |
| $V$                  | Volt                                                                                                                                                                                   |
| <b>ASTM</b>          | İşlenmemiş Kentsel Katı Atıkların Bileşiminin Belirlenmesi İçin Standart Test Yöntemi (Standard Test Method for Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste) |
| <b>CNG</b>           | Sıkıştırılmış Doğal Gaz (Compressed Natural Gas)                                                                                                                                       |
| <b>EKAY</b>          | Entegre Katı Atık Yönetimi                                                                                                                                                             |
| <b>EPDK</b>          | Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu                                                                                                                                                       |
| <b>EPIAŞ</b>         | Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi                                                                                                                                               |
| <b>DADT</b>          | Düzenli Atık Depolama Tesisi                                                                                                                                                           |

|                |                                                                                          |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>İBB</b>     | İzmir Büyükşehir Belediyesi                                                              |
| <b>KABT</b>    | Katı Atık Bertaraf Tesisi                                                                |
| <b>LandGEM</b> | Deponi Gazı Emisyon Modeli (Landfill Gas Emissions Model)                                |
| <b>LFG</b>     | LandFill Gas                                                                             |
| <b>LNG</b>     | Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (Liquefied Natural Gas)                                        |
| <b>MGM</b>     | Meteoroloji Genel Müdürlüğü                                                              |
| <b>OG</b>      | Orta Gerilim                                                                             |
| <b>ORC</b>     | Organic Rankine Cycle                                                                    |
| <b>TEDAŞ</b>   | Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi                                                  |
| <b>TEİAŞ</b>   | Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi                                                   |
| <b>TNO</b>     | Uygulamalı Bilimsel Araştırma Organizasyonu (Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek) |
| <b>TÜİK</b>    | Türkiye İstatistik Kurulu                                                                |
| <b>UNDP</b>    | Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (United Nations Development Program)               |
| <b>YEGM</b>    | Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü                                                     |
| <b>YEK</b>     | Yenilenebilir Enerji Kaynakları                                                          |
| <b>YEKDEM</b>  | Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması                                 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                                                                                                                         | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 3.1. 1938-2021 yılları arası İzmir ili ortalama sıcaklık verisi (C°).....                                                                                                                                                                                         | 12    |
| Şekil 3.2. İzmir ilinin aylık toplam yağış miktarı ortalaması.....                                                                                                                                                                                                      | 12    |
| Şekil 3.3. İzmir ili nüfus değişimi.....                                                                                                                                                                                                                                | 13    |
| Şekil 3.4. Türkiye’deki kurulu gücün yıllar içinde gelişimi .....                                                                                                                                                                                                       | 14    |
| Şekil 3.5. 2011 ve 2021 yılları için birincil enerji kaynaklarına göre kurulu güç (MW).....                                                                                                                                                                             | 15    |
| Şekil 3.6. 2014-2020 yılları arasında YEK’lerin kapasite faktörleri dağılımı (%).....                                                                                                                                                                                   | 18    |
| Şekil 3.7. İzmir ili bölgesel planlanan EKAY tesisleri haritası .....                                                                                                                                                                                                   | 19    |
| Şekil 3.8. İzmir ili a) Kuzey 1 Bergama EKAY tesisi, b) Harmandalı DADT ve c) Güney 1 Ödemiş EKAY tesisleri .....                                                                                                                                                       | 20    |
| Şekil 3.9. İzmir ili yıl temelli organik atık miktarı değişimi.....                                                                                                                                                                                                     | 23    |
| Şekil 3.10. İzmir KABT’lerine getirilen atık miktarları (ton/gün, %) .....                                                                                                                                                                                              | 24    |
| Şekil 3.11. Harmandalı DADT a)2800 ton/gün atık kabulü, b)gaz toplama rigolleri ve sızıntı suyu drenaj hatları imalatı, c)gaz toplama üniteleri (buster ve chiller ünitesi ile gaz balonu), d)elektrik üretimi, e)kompostlaştırılacak atıklar ve f)kompost üretimi..... | 25    |
| Şekil 3.12. Harmandalı DADT’de bulunan a) kantar ve b) lotlar .....                                                                                                                                                                                                     | 26    |
| Şekil 3.13. Harmandalı DADT biyogaz tesisinin aktif gaz sahası.....                                                                                                                                                                                                     | 27    |
| Şekil 3.14. Tesislerdeki; a) ilçe belediyelerinin çöp transferi, b) il genelinde bulunan çöp transfer istasyonu örneği, c) çöp karakterizasyon işlemi ve d) çöpün incelenmesi ve raporlanması .....                                                                     | 28    |
| Şekil 3.15. İzmir il geneli atık karakterizasyonu.....                                                                                                                                                                                                                  | 32    |
| Şekil 3.16. Harmandalı DADT’deki a,b,c) rigol hatlarının yerleştirilmesi işlemi, d) Rigol hatlarının kazılması işlemi, e) Motorlara gazı taşıyan ana rigol hatlarının imalat işlemleri ve f) Çöplerin platformlarda depolanması ve serme/sıkıştırma işlemi.....         | 33    |
| Şekil 3.17. LandGEM model ara yüzü.....                                                                                                                                                                                                                                 | 37    |
| Şekil 3.18. LandGEM; a) model giriş parametreleri ve b) hesaplama ara yüzü ...                                                                                                                                                                                          | 38    |
| Şekil 3.19. LandGEM modeli hesaplanan gaz miktarları ve yıllara göre dağılımları .....                                                                                                                                                                                  | 39    |
| Şekil 3.20. Harmandalı DADT’nin genel prosesi .....                                                                                                                                                                                                                     | 41    |
| Şekil 3.21. Harmandalı DADT elektrik üretim alanı .....                                                                                                                                                                                                                 | 42    |
| Şekil 4.1. EPIAŞ şeffaflık platformu Harmandalı DADT elektrik üretim verisi                                                                                                                                                                                             | 47    |

## TABLO DİZİNİ

|                                                                                                  | Sayfa |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Tablo 3.1. Birincil kaynaklara göre santral adetleri ile kurulu güçleri .....                    | 15    |
| Tablo 3.2. YEK'lerin Türkiye toplam kurulu gücü içindeki payının yıllar itibariyle gelişimi..... | 16    |
| Tablo 3.3. YEK'lerin çalışma süreleri (saat) ile kapasite faktörü (%).....                       | 18    |
| Tablo 3.4. 2022 yılı Ocak-Haziran ayları arasındaki atık miktarları .....                        | 21    |
| Tablo 3.5. 2022 yılı Temmuz-Aralık ayları arasındaki atık miktarları .....                       | 22    |
| Tablo 3.6. 1992-2012 yılları arasında Harmandalı DADT sahası evsel atık lotları .....            | 26    |
| Tablo 3.7. 2020 yılı yaz atık karakterizasyon sonuçları.....                                     | 30    |
| Tablo 3.8. 2020 yılı kış atık karakterizasyon sonuçları .....                                    | 30    |
| Tablo 3.9. 2021 yılı Konak ilçesi atık karakterizasyon sonuçları .....                           | 31    |
| Tablo 3.10. 2021 yılı Seferihisar ilçesi atık karakterizasyon sonuçları .....                    | 31    |
| Tablo 3.11. Harmandalı DADT'de oluşan deponi gazı bileşenleri.....                               | 34    |
| Tablo 3.12. Harmandalı DADT çöp depolama sahası gazı fiziksel özellikleri.....                   | 34    |
| Tablo 4.1. 2020 Ocak ayına ait regresyon analizi.....                                            | 48    |
| Tablo 4.2. 2020 Şubat ayına ait regresyon analizi .....                                          | 48    |
| Tablo 4.3. 2020 Mart ayına ait regresyon analizi.....                                            | 49    |
| Tablo 4.4. 2020 Nisan ayına ait regresyon analizi .....                                          | 49    |
| Tablo 4.5. 2020 Mayıs ayına ait regresyon analizi .....                                          | 49    |
| Tablo 4.6. 2020 Haziran ayına ait regresyon analizi.....                                         | 50    |
| Tablo 4.7. 2020 Temmuz ayına ait regresyon analizi .....                                         | 50    |
| Tablo 4.8. 2020 Ağustos ayına ait regresyon analizi .....                                        | 50    |
| Tablo 4.9. 2020 Eylül ayına ait regresyon analizi.....                                           | 51    |
| Tablo 4.10. 2020 Ekim ayına ait regresyon analizi.....                                           | 51    |
| Tablo 4.11. 2020 Kasım ayına ait regresyon analizi.....                                          | 51    |
| Tablo 4.12. 2020 Aralık ayına ait regresyon analizi .....                                        | 52    |
| Tablo 4.13. 2021 Ocak ayına ait regresyon analizi.....                                           | 52    |
| Tablo 4.14. 2021 Şubat ayına ait regresyon analizi .....                                         | 52    |
| Tablo 4.15. 2021 Mart ayına ait regresyon analizi.....                                           | 53    |
| Tablo 4.16. 2021 Nisan ayına ait regresyon analizi .....                                         | 53    |
| Tablo 4.17. 2021 Mayıs ayına ait regresyon analizi .....                                         | 53    |
| Tablo 4.18. 2021 Haziran ayına ait regresyon analizi.....                                        | 54    |
| Tablo 4.19. 2021 Temmuz ayına ait regresyon analizi .....                                        | 54    |
| Tablo 4.20. 2021 Ağustos ayına ait regresyon analizi .....                                       | 54    |
| Tablo 4.21. 2021 Eylül ayına ait regresyon analizi.....                                          | 55    |
| Tablo 4.22. 2021 Ekim ayına ait regresyon analizi.....                                           | 55    |
| Tablo 4.23. 2021 Kasım ayına ait regresyon analizi.....                                          | 55    |
| Tablo 4.24. 2021 Aralık ayına ait regresyon analizi .....                                        | 56    |



## TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve tecrübesi ile lisansüstü öğrenim hayatımda bana yol gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hayati MAMUR'a, bilgi ve sektör deneyimi ile bana destek olan Serkan AKBULUT'a, yüksek lisans eğitimim sırasında saha işletimi ve elektrik üretimi konularında her türlü imkanı ve desteği veren kurumum İzmir Büyükşehir Belediyesi İklim Değişikliği ve Sıfır Atık Dairesi Başkanlığı'na, proses verilerini kullanmama ve üzerinde çalışma imkanı sağlayan yüklenicimiz İzmir Novtek Enerji Elektrik Üretim A.Ş.'ye, çalışmalarım sırasında desteğini her zaman hissettiğim İlke HEPDURGUN'a ve öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme yürekten teşekkür ederim.

Birand ALBOĞA  
Manisa, 2023

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

**Birand ALBOĞA**

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman:  
Doç. Dr. Hayati MAMUR**

Toplumların yerleşik hayata geçmesi ve sanayi devriminin etkisi ile atık problemleri görülmeye başlanmıştır. Bu durum atıkların bertaraf edilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu atıkların bertaraf edilmesi esnasında ortaya çıkan metan gazının en iyi şekilde değerlendirilmesi gerekir. Bu değerlendirme ile atıkların çevreye verdiği kirlilik ortadan kaldırılırken aynı zamanda elektrik enerjisi üretimi biyogaz tesislerinde gerçekleştirilmektedir. Bu tez kapsamında, İzmir ilinde bulunan 1,47 MW'lık 27 tane gaz jeneratörüne sahip 39,69 MW'lık Harmandalı Düzenli Atık Depolama Tesisi (DADT) verileri kullanılarak çoklu regresyon yöntemi ile enerji verimliliği ve verimlilik artırma yöntemlerinin değerlendirilmesi yapılmıştır. İlk olarak İzmir ilinin katı atık bertaraf tesislerine (KABT) getirilen atıkların karakterizasyonu çıkarılmıştır. Bu karakterizasyon neticesinde organik atıkların miktarları dolayısı ile biyokütle miktarları belirlenmiştir. 2022 yılı itibari ile KABT'lere gelen katı atıkların İzmir ili nüfusuna oranlandığında kişi başına düşen atık miktarı 1,27 kg/gün olarak hesaplanmıştır. Geometrik yöntem ile hesaplanan 50 yıllık nüfus projeksiyonuna göre 2072 yılında kişi başına düşecek atık miktarının 2,16 kg/gün olacağı ön görülmüştür. LandGEM (Landfill Gas Emissions Model / Deponi Gazı Emisyon Modeli) ile halihazırda depolanacak ve depolanacak metan gazı miktarları ve deponi gazı bileşenleri tespit edilmiştir. Sonrasında Harmandalı DADT nezdinde yapılan çalışmada 1 ton çöpün yaklaşık 50-240 m<sup>3</sup> arasında metan gazı oluşturduğu belirlenmiştir. 1 m<sup>3</sup> metan gazının yaklaşık 2 kW elektrik enerjisi ürettiği görülmüştür. Harmandalı DADT'de 2020-2021 yıllarında üretilen elektriğin verimliliği çoklu regresyon analizi ile ay ay hesaplanmıştır. Hesaplamalarda gerçekleşen elektrik üretimi bağımlı değişken, tesise getirile çöp miktarı, çöp kapatılması ve serme süreleri ile gaz jeneratör arıza-bakım süreleri bağımsız değişken olarak belirlenmiştir. Belirlenen değişkenlerin optimum düzende olması elektrik enerjisi üretim verimliliğini %5-%10 arasında arttırmıştır. Gerçekleştirilen analizler ve yapılan hesaplamalar ile kurulması planlanan tesislerin maksimum verimde çalıştırılmasının yöntemleri sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Biyogaz, Katı Atık, LandGEM, Çoklu Regresyon Analizi, Enerji Verimliliği**

**2023, 67 sayfa**

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

**Birand ALBOGA**

**Manisa Celal Bayar University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Electrical and Electronics Engineering**

**Supervisor:  
Assoc. Hayati MAMUR**

The impact of the industrial revolution and the realization of the lives of the societies and the waste results are observed. This situation reveals the necessity of limiting wastes. The methane gas generated during the limitation of these wastes should be evaluated in the best way. With this evaluation, while the centers for the distribution of wastes are eliminated, electrical energy production is carried out in biogas facilities at the same time. Within the scope of this thesis, using the data of 39.69 MW Harmandalı Regular Waste Storage Facility (RWSF) with 27 gas generators of 1.47 MW and located in the province of İzmir, the evaluation of energy efficiency and efficiency improvement methods was made by using multiple regression method. First of all, the characterization of the wastes brought to the solid waste containment facilities (SWCF) of İzmir province was determined. This characterization capacity is aimed at biomass amounts due to the amount of organic wastes. As of 2022, when the waste solids coming to the SWCFs are proportioned to the measurement of İzmir province, the amount of waste per capita is calculated as 1.27 kg/day. According to the 50-years population projection calculated by the geometric method, it was predicted that the amount of waste per capita in 2072 would be 2.16 kg/day. With LandGEM (Landfill Gas Emission Model), the amount of methane gas stored and to be stored and the landfill gas enclosures have been determined. Later, the assumption made by the Harmandalı RWSF was to generate approximately 50-240 m<sup>3</sup> of methane gas from 1 ton of garbage. It obtains approximately 2 kW of electrical energy from 1 m<sup>3</sup> of methane gas. It was calculated month by month with the multiple regression analysis provided by the electricity produced in Harmandalı RWSF in the years 2020-2021. In the calculations, the electricity generation provided as the dependent variable, the amount of garbage brought to the facility, the garbage pipes and usage times, and the gas generator failure-maintenance variables are designed as independent variables. The optimum arrangement of the determined variables increased the electrical energy production groups between 5% and 10%. With the analysis and calculations made, the methods of operating the installations at maximum efficiency are presented.

**Keywords: Renewable Energy, Biogas, Solid Waste, LandGEM, Multiple Regression Analysis, Energy Efficiency**

**2023, 67 pages**

## 1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesi ve nüfusun hızla artması ile birlikte doğal kaynaklar daha fazla tüketilmeye ve kişi başına düşen atık miktarı artmaya başlamıştır. Günümüzde atık, düzgün bertaraf yöntemleri ile kontrol altına alınmazsa ciddi problemlere yol açan, çevre ve toplum sağlığını büyük ölçüde olumsuz yönde etkileyebilecek bir tehlike unsuru olmuştur. Bu nedenle gerekli önlemlerin alınması için mevcut teknolojilerin birlikte kullanılması ve gerekli araştırmaların yapılması önem arz etmektedir [1].

Atık kavramının kısaca tarihçesi incelendiğinde, atık 1800’lü yılların başında bilinmeyen bir kavramken yerleşik hayat tarzına geçiş ve sanayi devriminin yaşanması ile atığın toplanıp depolanması gündeme gelmiştir. İlk düzensiz atık depolama alanları açılmıştır. Bir atık olan plastiğin hayatımıza girmesi ile birlikte hazır gıda ve paketlenmiş gıda kavramları kullanılmaya başlanmıştır. 1980’li yılların başlarından itibaren günümüze kadar plastik ambalajlı ürün kullanımı ile hazır ürün tüketimi giderek artmıştır [2]. Değişen yaşam koşulları ve hayat tarzlarının farklılık göstermesi atık karakterizasyonunda belirgin değişiklikler yapmıştır. Bu doğrultuda ülkeler kendi atık yönetim sistemlerini oluşturmaya ve hızla uygulamaya geçirmeye başlamışlardır.

Türkiye’de katı atıkların toplanmasını, taşınmasını, geri kazanılmasını ve bertarafını 2004 yılında yürürlüğe giren 5393 sayılı Belediyeler Kanunu ve 5216 sayılı Büyükşehir Belediye Kanunu ile Belediyeler ve Büyükşehir Belediyeleri’nin yapması istenmiştir. Bu kanunların çıkması ile belediyeler, Entegre Katı Atık Yönetimi (EKAY) planları oluşturmaya başlamış ve evsel atıkların bertarafı konuları önem kazanmıştır. EKAY kavramı; çöpün kaynağında ayrı toplanmasını sağlamak, çöplerin transferini belirlemek, karışık gelen her türlü atığın geri dönüşümünü sağlamak ve belediye sınırlarını belirli alanlara bölerek çöpün bertarafının sağlanması olarak tanımlanır [3].

Belediyelerin hazırladıkları EKAY planlarına bağlı olarak belediyelerin orta ve daha uzun yıllar için sürdürülebilir atık planlamalarını yapmalarını ve bu planların karşılanabilir maliyetleri içermesi istenmiştir. Bu bağlamda entegre sistemler kurulmaya başlanmıştır. Söz konusu hedeflere ulaşmak için Katı Atık Bertaraf Tesislerinde (KABT) iş ve işlem yönetimleri yapılmaktadır.

Atık yönetiminde amaç olarak atıkların sırasıyla; önlenmesi, tüketiminin azaltılması, tekrar kullanılması, geri dönüştürülmesi, yenilenebilir enerjiye çevrilmesi ve son seçenek olarak bertaraf edilmesi söz konusudur. 5R kuralı (refuse, reduce, reuse, repurpose, recycle) olarak da adlandırılan bu sürecin özenli bir şekilde yürütülmesi giderek önem kazanmıştır [4]. Ülkemizde 5D olarak bilinen katı atık piramidi; düşün ihtiyaç yoksa tüketme, daha az harca, değerlendir geri dönüşümü kullan, değiştir diğer ihtiyaç için değerlendir ve dönüştürerek doğaya faydalı olsun konularını kapsar. Bu piramitte atık yönetimi; gerekli değilse tüketimin azaltılması, mevcut tüketimi minimize etmeye çalışma, tüketim sonucu açığa çıkan atıkların yeniden kullanılarak değerlendirilmesi veya değiştirerek farklı amaçlar doğrultusunda yeniden kullanıma yönelik hammadde bazlı olarak kullanılmasını amaçlamaktadır. Katı atıkla ilgili en son seçenek olarak tekrar kullanıma geçemeyecek türdeki atıkların nihai bertaraflarının yapılması şeklindedir [5].

Nihai bertaraf yöntemlerine; atığın kalorifik değeri enerji üretimine uygunsa yakılması ve piroliz edilmesi, uygun değil ise kompostlaştırılması ve biyometanizasyon tesisleri kurarak bertaraf edilmesi örnek verilebilir [6-8]. Biyobozunur atıkların geri kazanımının tamamlanması ve geriye kalan nihai ürünlerin düzenli depolama tesislerinde depolanması en son bertaraf yöntemidir [9].

Günümüzde kırsal alanlarda yaşamın azalıp, şehir merkezlerinde yoğunlaşması ile birlikte katı atık sorunları ortaya çıkmaya başlamıştır. Bunlar çevre kirliliğine, kötü kokulara ve insan sağlığına zarar verici boyutlara ulaşmıştır. Bu sorunları en aza indirmek ve bu sorunu toplum kazancına dönüştürücü tedbirleri almak için belediyeler bu katı atıkları KABT'ye iletmektedir.

KABT'lerdeki katı atıkların metan gazı alınıp, gaz balonunda toplanması ve bunların gaz jeneratörlerinde yakılıp elektrik enerjisine çevrilmesi günümüzde önemli bir çalışma olarak görülmektedir. KABT'de atıkların depolanması için çöp lotları tasarlanır. Tasarlanan lotlara yerleştirilen rigoller yardımı ile organik atıkların dört ay içinde anaerobik tepkime sonucunda oluşturduğu metan gazı gaz balonunda toplanır ve gaz jeneratörüne iletilir.

Atık depolama lotlarından elde edilecek metan miktarının ne kadar olduğu ve bundan ne kadar elektrik enerjisi üretilebileceği önemli bir konudur. Her depolama lotundan üretilecek metan gazı miktarı aynı olmamaktadır. Dolayısıyla bu elektrik enerjisi üretimini etkilemektedir.

Bu tez kapsamında, atık bertaraf yöntemlerinden biri olan düzenli depolama alanı kullanılarak katı atıkların depolanması sonucunda oluşan ve anaerobik tepkimede açığa çıkan metan gazının gaz emiş ve soğutma üniteleri ile çekilerek elektrik enerjisi üretilmesi üzerinde istatistiksel olarak verimlilik hesapları yapılmıştır.

Tezin birinci bölümünde genel bir giriş verildikten sonra ikinci bölümünde İzmir ilinde bulunan EKAY ve KABT'ler tanıtılmıştır. Ayrıca literatürde bulunan bu tür çalışmalara değinilmiştir. Bu çalışmaların avantajları, dezavantajları ifade edilmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkı ortaya konulmuştur.

Üçüncü bölümde KABT'lerde elektrik enerjisi üretiminde kullanılan materyaller açıklanmıştır. Atık depolama lotlarının oluşturulmasında dikkat edilmesi gereken hususlar, çöpün serme sıkıştırma işlemleri ve rigolleme aşamalarında önemli hususlar ifade edilmiştir. Ayrıca KABT'lerde üretilen metan gazının miktarına bağlı olarak EPA şirketi tarafından geliştirilmiş olan LandGEM (Landfill Gas Emissions Model / Deponi Gazı Emisyon Modeli) modeli ile metan gazı miktarı belirlenmiştir. Bu model ile gaz balonu hacmi ve tesisin kurulu gücü hesaplanması hakkında bilgiler verilmiştir.

Dördüncü bölümde, bu çalışma kapsamında açıklanan metotlar ile örnek vaka çalışması olan Harmandalı Düzenli Atık Depolama Tesisi'nin (DADT) çoklu regresyon yöntemi kullanılarak elektrik üretiminin verim hesaplamaları istatistiksel olarak incelenmiştir.

Beşinci bölümde, dördüncü bölümde elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme neticesinde çöp depolama sahasına eklenecek yeni lotlardan üretilecek enerji hakkında bilgi vermiştir. Hatta acil durumlarda elektrik enerjisi üretiminin durmaması için yeni senaryoların oluşturulmasına katkı sağlanmıştır. Ayrıca elektrik enerjisi üretimini arttırıcı senaryolar belirlenmiştir. Sonuç olarak

Üretim arttırıcı senaryolarda, çöp örtülmesi işlemelerinin daha hızlı yapılması, desülfürizasyon ünitesinin prosese eklenmesi, karışık olarak gelen atığın bir n ayıklama nitesi ile bileşenlerine ayrılması gibi öneriler sunulmuştur.

**Bu tezin amacı,** bir biyogaz tesisinde çoklu regresyon yöntemi ile enerji verimliliğinin ve verimlilik arttırma yöntemlerinin değerlendirilmesidir. Bu amacı gerçekleştirmek için örnek vaka çalışması olarak İzmır ili Harmandalı DADT seçilmiş olup atığın tesise girişinden başlamak üzere tüm basamaklar ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir. Harmandalı DADT’de elektrik enerjisi üretimini etkileyen katı atık durumlarının analizleri yapılmıştır. Yapılan bu çalışma ile daha sonra kurulacak olan KABT’lerden elde edilebilecek elektrik enerjisi miktarının öngörülmesi hedeflenmiştir.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Düzenli Atık Depolama Tesisinin Planlanması

KABT'lerin en uygun yerlerinin belirlenmesinde yerleşim alanındaki nüfus ve bölgedeki atık karakterizasyonu etkili olmaktadır. Bunlar gelecekteki atık miktarlarının tahmininde bulunmak için kullanılan iki ana bilgidir [10-11]. Yerleşim alanında yaşayan nüfusun ilçelere göre belirlenmesi için Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve İller Bankası bilgilerinden faydalanılır. Gelecek nüfus tahminlerinin yapılması için aritmetik, geometrik metotları ile birlikte Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) metoduna yaygın bir şekilde başvurulur [12-14].

Atık bileşiminin belirlenmesi amacıyla, atık karakterizasyon çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalar kapsamında anlamlı verilerin elde edilebilmesi için ilçelerde yaşayanlar, bunların konumları, coğrafi şekilleri gibi özellikler değerlendirilmek için dikkate alınır [15]. Gruplandırılmalarda ilçelerin sosyo-ekonomik yapısı dikkate alınmaktadır. Kış ve yaz dönemi olarak iki ana başlıkta gerçekleştirilen çalışmalarda yüksek, orta ve düşük gelir veya karışık, çarşı/sanayi ve turistik bölge olarak yerleşim yerleri belirlenmektedir [16]. Belirlemeler neticesinde gerçekleştirilen atık karakterizasyonları ile nüfus sayımları ve gelecek planlamaları yapıp EKAY tesislerinin kurulacak yerlerinin tespiti yapılmaktadır [17]. EKAY planları hazırlanırken, gelecekte yapılabilecek çalışmaları için ilk on yıllık ve uzun yıllarda yönetilebilir ve devam ettirilebilir çöp yönetiminin yapılması dikkate alınır.

Bu çalışma kapsamında daha önceden hazırlanmış olan İzmir EKAY planı incelenmiştir. İzmir EKAY planında, İzmir ilinin atık yönetim süreçleri değerlendirilmiştir. Sonrasında konusunda uzman akademisyenler, mühendisler ve veri hazırlama personelleri ile birlikte hazırlanan İzmir bölgesine ait coğrafi, iklimsel ve meteorolojik koşullar incelenmiştir. Daha sonra ilçe bazında yıllara bağlı olarak nüfus sayıları ve artış oranları belirlenmiştir. Bundan sonra ilin ortalama çöp miktarları kayıt altına alınmıştır. Ayrıca, atıkların mevcut bertaraf etme yöntemleri ile atık projeksiyonları incelenmiş ve karakterize edilmiştir. Nüfus belirlemeleri ve çöp bertaraf tesislerinin düzenlenmesinde dikkate alınan bilgi kullanılacak çöp miktarı tahminleri yapılmıştır. Mevzuatla uyumlu sürdürülebilir entegre atık yönetimi ilkeleri doğrultusunda bölgesel temelli atık yönetim senaryoları oluşturulması hedeflenmiştir.

## 2.2. Literatür Araştırması

Literatürde biyogaz tesisleri, düzenli depolama (Landfill) sistemleri ve EKAY tesisleri ile ilgili çalışmalara rastlamak mümkündür. Çünkü bu toplu yaşam alanlarında oldukça problem oluşturmaktadır. Günümüzde enerjiye ait olan ihtiyaç arttıkça bu atıklardan elektrik enerjisi üretimi oldukça sıcak bir çalışma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Korkmaz ve ark. [18] gerçekleştirdikleri bir çalışmada, enerji tüketimini dikkate alarak dışarıya atılan karbon salınımını düşürücü yenilenebilir enerji kaynaklarına (YEK) yönelimin önemli olduğunu vurgulamışlardır. YEK'lerden biri olan biyogaz sistemleri ile elektrik enerjisi üretiminin hemen hemen hiçbir dezavantajının bulunmadığı ifade etmişlerdir. Hatta bu sistemlerle gübre üretimi yapılarak kırsal bölgelerin kalkınmasının sağlanabileceğini vurgulamışlardır. Çevresel etkiler ve nüfusun artması ile yükselen enerji ihtiyacı için biyogaz üretilmesi ve bu EKAY tesislerinin kurularak istihdam oluşturulmasını vurgulamışlardır. Bunu gerçekleştirmek için enerji üretilmesinde biyo veya katı atıkların her birinin değerlendirilmesi gerektiğini söylemişlerdir. Ek olarak kırsal bölgelerde yaşayan nüfusun biyogaz üretmesi için devlet desteği verilebileceğinden bahsetmişlerdir. Büyük şehirler için ise enerji üretimi veya biyo atıkların enerji üretiminde değerlendirilmesi için devlet tarafından destek verilmesinin önemli olacağını söylemişlerdir. Böylece Türkiye'nin, ihtiyacının büyük bölümünü ithalatla karşıladığı petrol giderlerini azaltmanın mümkün olduğunu değerlendirmişlerdir. Türkiye'nin alanında bulunan yerli kaynaklarını değerlendirmek için biyokütleden alternatif olarak faydalanılması gerekliliğini vurgulamışlardır.

Diğer bir çalışma Yılmaz'ın [19] yaptığı çalışmadır. Yılmaz çalışmasında, biyogaz üretiminin bilinen ve yaygın kullanılan bir teknoloji olduğunu, bunun da dışarıdan alınan enerji bağımlılığının düşürülmesine, hayvan yetiştirilmesine teşvik verilmesine ve daha fazla yaşamsal alanların oluşturulmasına katkıda bulunabileceğinden bahsetmiştir. Ayrıca Yılmaz, hayvan gübrelerinde azotun oluştuğunu ve bunu geri kazanmak için maliyet azaltıcı çalışmaların yapılmasının gerekliliğini açıklamışlardır. Ek olarak atıklardan biyogaz üretiminin sera gazı etkilerini azalttığını açıklamıştır. Öneri olarak Kyoto Protokolüne katkıda bulunan Türkiye'nin biyogaz üretimi için vasıflı personel yetiştirilmesi ve bu teknolojilerin geliştirilmesi üzerinde durmasının yararını açıklamıştır.

Töke'nin [20] yaptığı çalışmada, atıklar üzerinde bu zamana kadar yapılan çalışmalar özetlenmiş, küreselleşmenin çevre üzerine olan etkisi irdelenmiştir. Toplumların gelişmişlik düzeyinin artmasıyla doğal dengenin bozulduğunu, iklimin değiştiğini, doğal yaşam alanlarının zarar gördüğünü, flora ve faunanın bu tahribattan etkilendiğini hatta canlıların nesillerinin tükendiğini ve atık miktarının fazlaştığını belirtmiştir. Daha sonra Töke, “yeşil büyüme”, “yeşil ekonomi” ve “sıfır atık” kavramlarını incelemiştir. Töke, veri zarflama analizi ile biyogaz tesislerinin etkinlik durumlarını karşılaştırmış ve verimliliklerinin hangi parametreler ile değiştiğini değerlendirmiştir. Töke bu çalışması ile kurulacak yeni biyogaz tesislerinin giriş parametrelerinin nasıl olabileceği hakkında bilgi vermiştir. EKAY tesisinin giriş parametrelerinin maksimum %10 yaşlıkta çöp kabul etmelerinin verimi artıracaklarını vurgulamıştır.

Kougias ve ark. [21] çalışmalarında biyogaz kavramını detaylıca ele almış ve biyogaz kaynaklarını tanımlamışlardır. Onlar eskiden beri süre gelen bir yapı olan biyogaz sistemlerinin geçmiş ve bugününü karşılaştırmıştır. Mevcut en son teknolojiyi özetleyerek biyogaz üretimi için anaerobik çürütme prosesi ile ilgili geleceğe yönelik perspektifler sunmuşlardır.

Morgan ve ark. [22] çalışmalarında, çöp gazından ne kadar ve nasıl elektrik üretebileceğini gösteren bir yazılımla bir elektrik enerjisi üretim projesi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada yaklaşık maliyet hesaplamaları yaparak bunları tüketilen elektrik miktarları ile karşılaştırmışlardır. Böylece yenilenebilir elektrik enerjisi üretim tesislerinden biri olan biyogaz tesislerinin yatırım maliyetlerinin yüksek olduğunu öte yandan bakım onarım maliyetlerinin düşük olduğunu belirtmişlerdir. Böylece bu EKAY tesislerinin yatırıma değer tesisler olduğunu ortaya koymuşlardır.

Cudjoe ve ark. [23] çalışmalarında, Pekin hükümetine ait olan on altı ilçenin çöpünü araştırmışlardır. Bu çöplerin karakterizasyonunu ve metan gazı üretim potansiyellerini belirlemişlerdir. Onlar, her bir ilçe için tek tek 2019-2038 yılları arasındaki enerji üretim potansiyellerini hesaplamışlardır. Çalışmada, sera gazı etkisinin araştırılarak çevreye olan zararları irdelenmiştir. Onlar hangi ilçenin maksimum ve minimum katı atık potansiyeli ile elektrik enerjisi üretim potansiyeline sahip olduğu belirlenmişlerdir. Sonunda, bu çalışma ile Pekin'in çöp gazından elektrik

Üretim potansiyelini belirleyerek ileriye yönelik devlet yatırımlarına yol göstermişlerdir.

Hoornweg ve ark. [24] 2012 yılında yaptığı çalışmada, katı atıkların insan ve evre sağlığı açısından zararlarını incelemişlerdir. Belediyelerin katı atık bertarafı yöntemlerini geliştirmesi ve iyileştirmesi yönünde çalışmaların yapılmasının gerekliliğini ortaya koymuşlardır. Katı atık bertarafının belediyelerin en önemli görevi olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca gelişen teknoloji ile küreselleşen dünyanın kişi başına düşen atık miktarını çıkartmışlardır. Yaptıkları alışma ile 2002 yılında kişi başına düşen çöp yani katı atık miktarının 0,64 kg belirlemişken 2025'te kişi başına düşen katı atık miktarının yaklaşık 1,42 kg olacağını n görmüşlerdir.

Jouhara ve ark. [25] ise eski bir atık yönetim anlayışı olan katı atıkların karışık olarak toplanması, bertaraf tesislerine iletilmesi veya taşınmasının ilkel bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Atığın, bertaraf sistemlerinden biri olan düzensiz depolama ve düzenli depolama sistemlerinde biriktirilmesi çevreye, insana ve hayvanlara olası zararlı etkilerinden dolayı yerinde bertaraf edilmesi için atık bertaraf yöntemlerinden hangisinin uygun olacağını araştırmışlardır. Yaptıkları alışma ile tüm bertaraf yöntemlerinin iyi ve kötü yanlarını karşılaştırmışlardır. Atığın en kolay, en az maliyetli ve en az çevresel etki bırakacak yöntemlerini değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, döngüsel ekosistemde kompostlaştırmanın en uygun bertaraf yöntemlerden biri olduğunu ortaya koymuşlardır.

Alzamora ve ark. [26] çalışmalarında atık bertaraf yöntemlerinin yüksek yatırım maliyetlerinden bahsetmişlerdir. Bu maliyetleri ülkelerin nasıl karşıladıklarını araştırmışlardır. Yüksek maliyetlere kurulan EKAY tesisleri nedeniyle ülkelerin vatandaşlarından belirli bir ücret aldığı ve ücretlerin ise her ülkede değişkenlik gösterdiğini belirlemişlerdir. Bazı ülkelerin sabit bir ücret alırken bazı ülkelerin ise atık miktarları kadar ücret aldıklarını tespit etmişlerdir. Ayrıca Alzamora ve ark. Ülkelerin ne kadar gelişmiş olursa cretlendirme sistemlerin de bir o kadar karışık olduğunu gözlemlemişlerdir.

Ulaşlı [27] yaptığı çalışmada, İstanbul ili Kadıköy ilçesinin mevcut atık yönetimini incelemiştir. İncelemede geri kazanımı olan atıkları belirlemiş ve EKAY tesislerinin kurulmasının uygun olacağının n grsnde bulunmuştur. Ulaşlı,

düzenli depolama alanlarının hızla dolması ve döngüsel ekonomiye katkıların sağlanması amacıyla yeni tesis önerilerinde bulunmuş ve sıfır atık kavramının uygulanabilirliğine değinmiştir.

Tüm bu literatür araştırmaları sonucunda, atık yönetiminin ülkeler, şehirler ve belediyeler açısından öneminin vurgulandığı görülmüştür. Literatür çalışmalarda, atık bertaraf yöntemleri incelenmiş, atık yönetiminin il temelli değil bölgesel temelli yapılması gerektiği değerlendirilmiştir. Atığın karışık olarak toplanması, tesislere transfer edilmesi ve bertaraf edilmesi aşamalarının günümüz teknoloji çağında ne denli eksik kaldığına hemen hemen her araştırmacı vurgu yapmıştır. Yeni bertaraf yöntemlerini araştırmacılar ve mühendisler önerilmişlerdir. Ayrıca gelişen teknoloji ile belediyelerin bu konuda neler yapabileceklerini açıklamışlardır.

Yapılan çalışmalar şehirlerde çöpün ne kadar önemli bir problem oluşturduğunu göstermektedir. Bu problemin en aza indirilmesi önemli bir konudur. Araştırmacılar çöp probleminin bertaraf edilmesi için pek çok yöntem önermişlerdir. Bu atıkların bertarafı; yakılarak, kompostlaştırarak ve piroliz yaparak gibi çeşitli yöntemlerdir. Bu yöntemlerin uygulanması esnasında bir enerji açığa çıkmaktadır. Bu enerjinin boşa gitmemesi için en iyi çevrim yöntemlerinden biri elektrik enerjisine çevrilmesidir. Bu yöntem en çok başvurulan çevrim yöntemidir. Burada şu bilinmeyenler ortaya çıkmaktadır: birincisi gelecek çöpten ne kadar metan gazı üretileceği ve ikincisi bu metan gazının ne kadarının elektrik enerjisine çevrilebileceği bilinmeyenleridir. Bu tez çalışmasının en önemli konularından biri üretilebilecek elektrik enerjisi miktarının hesaplanmasıdır.

Bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkı ise katı atık depolama sahalarına kurulan veya kurulacak EKAY tesislerinin en yüksek verimde çalıştırılması ile kirletici etkisi çok yüksek olan ve YEK'lerden biri olan biyokütlenin bertarafının son teknolojiler ile değerlendirilerek elektrik enerjisi üretim verimliliğinin hesaplanıp maksimum fayda sağlayacak senaryoların uygulanabilirliğinin değerlendirilmesidir. Hali hazırda işletilmesine devam edilen İzmir'de bulunan Harmandalı DADT nezdinde araştırmalar yapılmış olup, diğer illerin hatta ülkelerin bu çalışmadan yararlanarak kuracakları veya kurduracakları tesislerin günümüzde değeri giderek anlaşılan katı atıkların ekonomiye maksimum şekilde kazandırılmasını sağlayarak verimli tesisler yapılmasına katkıda bulunmaktadır. Elektrik enerjisi üretim verimliliğini

artırmak için EKAY tesislerine gelecek çöplerin nasıl olmasının gerektiği, çöp serme ve sıkıştırmada dikkat edilmesi gereken hususların neler olduğu ve rigollemenin sürelerinin hangi aralıklarla olabileceği hakkında detaylı öneriler sunulmuştur. Aynı zamanda EKAY tesislerine belirli prosesler ekleyerek çöp kalitesinin artırılması dolayısı ile elektrik enerjisi üretim verimliliğinin yükseltilmesi için fikirler verilmiştir.



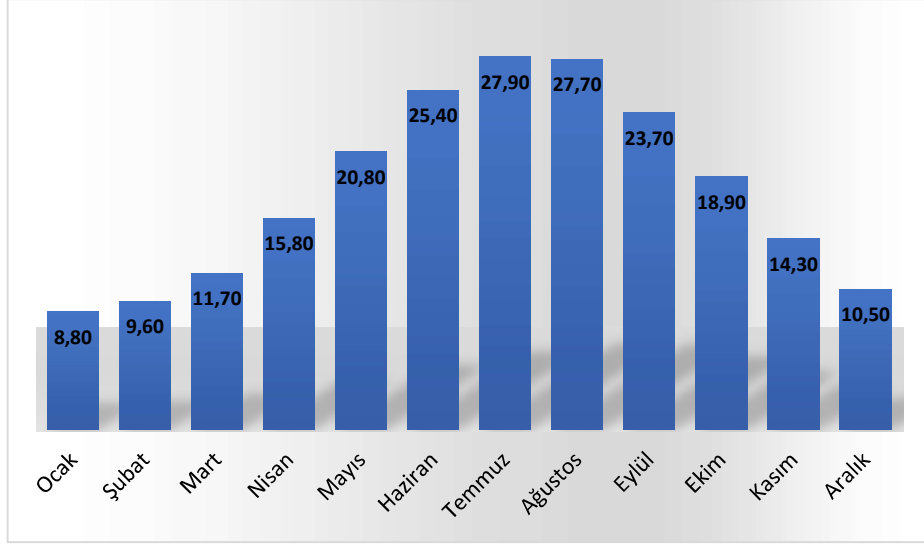
### 3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

#### 3.1. Materyal

##### 3.1.1. İzmir İli Verileri

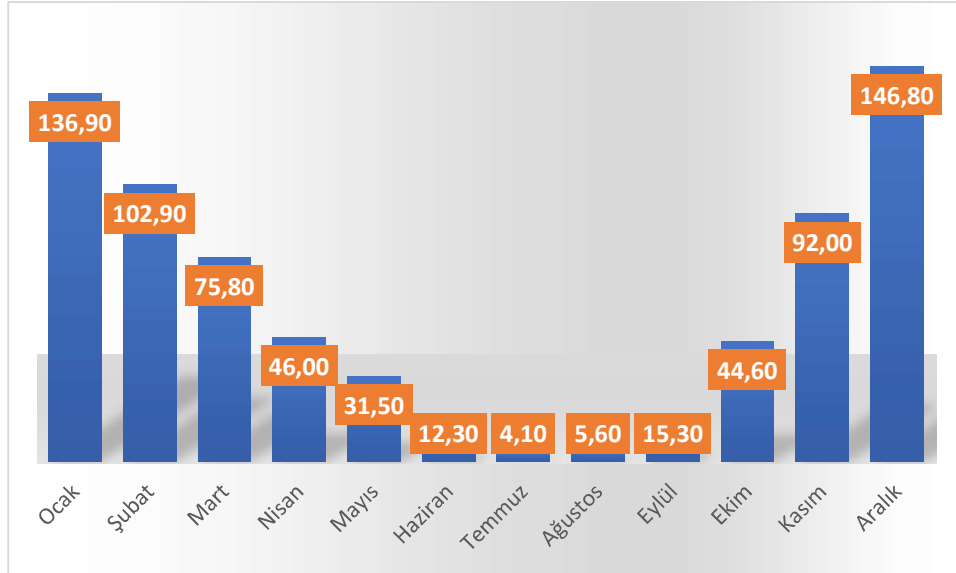
İzmir, Ege kıyı bölgesinde yer alan bir şehirdir. Madra Dağları ve Balıkesir kuzeyindedir. Kuşadası Körfezi ve Aydın güneyinde bulunur. Batısında Çeşme ve Tekne Burnu vardır. Doğuda ise Manisa il sınırları ile çevrilmiş ve batıda İzmir körfezi ile buluşmaktadır. İzmir'in kuzey-güney doğrultusu uzunluğu yaklaşık olarak 200 km, doğu-batı uzunluğu 180 km'dir. [28]. İzmir ili Ege Bölgesinin en önemli ticari şehirleri arasında yer alır. Burada dağlar kıyıya dik uzanır. İzmir Limanı'nın olması ticari vasfını daha da artırır. Dağların kıyıya dik olması nedeniyle iklimin iç kesimlere kadar etkin olmasını sağlar [29-30].

Katı atıktan elektrik enerjisi elde edinimini etkileyen iklim olarak İzmir'de Akdeniz iklimi görülmektedir. Bu iklim sayesinde yaz ayları sıcaktır ve bu nedenle kurak geçer. Kışlar denizin etkisi ile ılımandır. Dağların denize dik olarak uzanması geniş ovaların İzmir iline doğru ilerlemesine ve bereketli topraklarının olmasını sağlar. Biyo çeşitlilik fazladır. Bu beraberinde biyo atık çeşitliliğini getirir. Ancak, İzmir ilindeki dağların etkisi ile coğrafya farklılıkları oluşmaktadır. Bazı bölgelerinde yağış fazla iken bazı bölgelerinde yağış oranı düşük olmaktadır. Bu durum atıkların nem oranını etkiler. Temmuz ve Ağustos ayları en sıcak aylar olması nedeniyle atıktaki nem oranı düşüktür. Ocak ve Şubat ayları soğuk ve yağışlı aylardır. Bu durum atıktaki nem oranını artırır. Kara ve denizin birbirine göre sıcaklık farklılıkları rüzgar hızının yükselmesini sağlar. Ortalama yağış miktarı 58,03 mm'dir. İlin tüm ilçelerinde meteoroloji istasyonu bulunmaktadır [31]. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) verilerine bağlı olarak İzmir ilinin 1938-2021 yılları arasındaki ortalama sıcaklık verisi °C cinsinden Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Bu sıcaklık çöpten elde edilecek metan gazını ve dolayısıyla elektrik enerjisini etkilemektedir.



**Şekil 3.1.** 1938-2021 yılları arası İzmir ili ortalama sıcaklık verisi (C°)

Yağış miktarı çöpün ıslaklığını yüksek seviyelere çıkardığı için çöpten elde edilecek metan gazı miktarını düşürür. Bunun sonucunda elde edilecek elektrik enerjisi azalır. Bu durumda analizlerin yapılması için İzmir ilinin yağış miktarının bilinmesi önem taşır. İzmir'in 1938-2021 yılları arasındaki aylık toplam yağış miktarı MGM verilerine göre Şekil 3.2'de verilmiştir. Bu seksen yıllık veriye dikkat edildiğinde yaz aylarında minimum yağış gerçekleşirken kış aylarında maksimum yağış olmuştur.

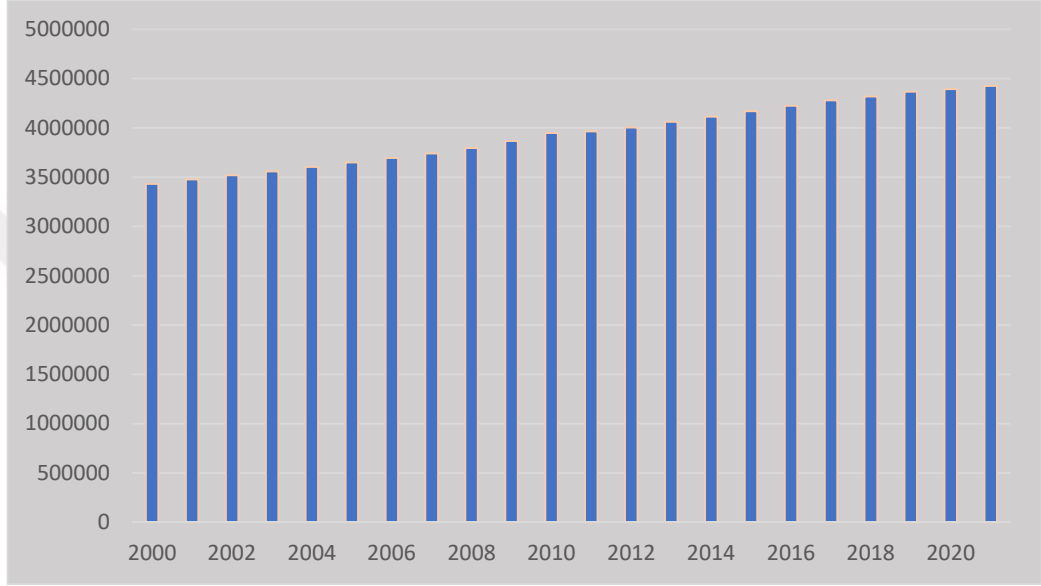


**Şekil 3.2.** İzmir ilinin aylık toplam yağış miktarı ortalaması

Büyükşehir statüsünü 1984 yılında alan İzmir, 6 Aralık 2012 tarihinde Resmi Gazete'de yayımlanan "6360 sayılı on üç ilde büyükşehir belediyesi ve yirmi altı ilçe kurulması ile bazı kanun ve kanun hükmünde kararnamelerde değişiklik yapılmasına

dair kanun” ile İzmir Büyükşehir Belediyesi’nin (İBB) sınırları, il mülki sınırları olmuştur.

İzmir’in Büyükşehir statüsü alması, İzmir’i sosyo-kültürel ve ekonomik açıdan yatırım alan bir il haline dönüştürmüştür. Söz konusu yatırımlar ile birlikte ilin nüfus sayısı artmaya başlamıştır. 2021 yılı itibarı ile İzmir ili nüfusu 4.425.789 olmuştur. Şekil 3.3’te TÜİK verilerine göre İzmir ilinin nüfus sayısı gösterilmiştir.



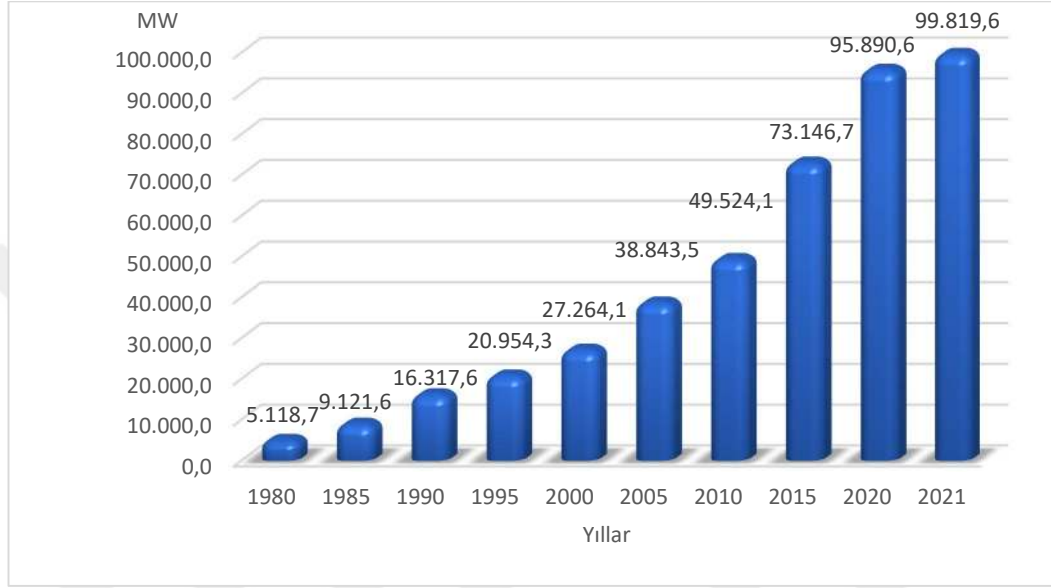
**Şekil 3.3.** İzmir ili nüfus değişimi

Şekil 3.3’te görüldüğü üzere, ilin nüfusu hızla artmaya başlamış ve buna paralel olarak elektrik enerji ihtiyacı artmıştır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) ile Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi’nin (TEDAŞ) bilgilerine göre 2020 yılında, İzmir’in enerji tüketimi 20.079.357 MWh olmuştur. Türkiye tüketim payı içerisindeki bu değer ortalama %8,80 olduğu belirtilmiştir. Kurulu güç değerlerine göre İzmir ili değerlendirildiğinde 2021 yılında Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi’nin (TEİAŞ) bilgilerine göre İzmir’in kurulu gücü 5.477 MW’tır. Bu değer Türkiye kurulu gücünün %5,52’sini oluşturur. Bu İzmir’in enerji tüketim miktarı, tüketim payı içerisindeki rolü, kurulu güç oranı ve payı yeni kurulacak EKAY planları için önemli verilerdir.

### 3.1.2. Biyogazın Yenilenebilir Enerji Kaynakları Arasındaki Yeri

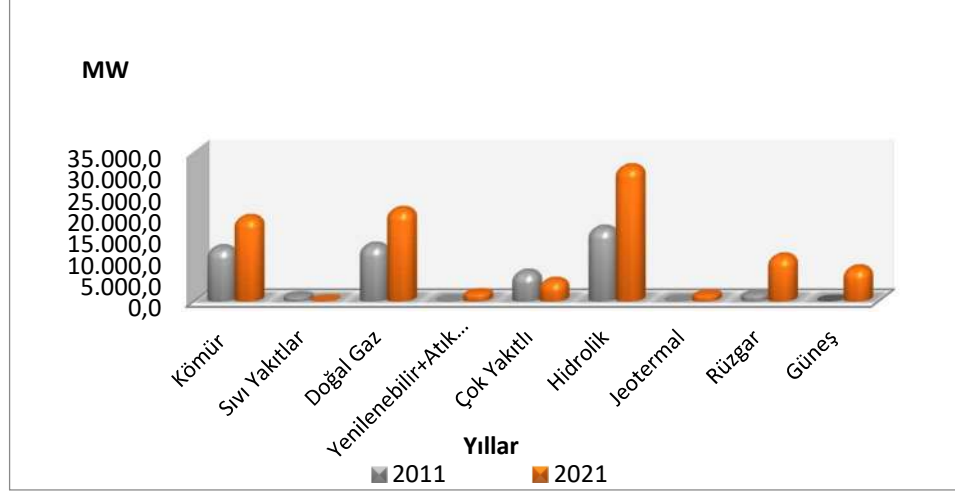
Nüfus sayısındaki artış, teknolojinin hızla gelişmesi, ısınma ihtiyaçları, karbon ayak izinin azaltılması çalışmaları vb. konular düşünüldüğünde temiz enerji olan

elektrik enerjisine olan ihtiyaç artmıştır. Artan talepleri karşılamak ve sürdürülebilir bir ekosistem oluşturabilmek için elektrik enerjisi üretim yöntemleri değiştirilmeye ve geliştirilmeye başlanmıştır. Ülkemizde yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi yatırımları teşvik edilmeye başlanmıştır. Teşvik ile beraber yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretim tesisleri kurulmaya başlanmıştır. Şekil 3.4'te Türkiye kurulu gücünün yıllar itibari ile gelişimi gösterilmiştir.



**Şekil 3.4.** Türkiye’deki kurulu gücün yıllar içinde gelişimi

Şekil 3.5’te Türkiye’nin 2011 ve 2021 yılları için birincil enerji kaynaklarına göre kurulu güçleri gösterilmiştir. YEK’ler bazında 2011 yılında kurulu güç 125,7 MW iken 2021 yılına kadar gerçekleştirilen yatırımlarla 2.051,1 MW’a yükselmiştir. Yıllar geçtikçe yenilenebilir kaynaklı yatırımlar artmış ve yeni tesisler kurulmaya başlanmıştır.



**Şekil 3.5.** 2011 ve 2021 yılları için birincil enerji kaynaklarına göre kurulu güç (MW)

Birincil kaynaklara göre santral adetleri ve sektörel dağılımları ile kurulu güçler Tablo 3.1’de verilmiştir. Böylece 2022 yılı itibariyle ülkemizin kurulu gücü 103.275,8 MW olmuştur.

**Tablo 3.1.** Birincil kaynaklara göre santral adetleri ile kurulu güçleri

| Birincil Kaynak | Santral Adedi | Kurulu Güç (MW) |
|-----------------|---------------|-----------------|
| Akarsu          | 609           | 8293            |
| Asfaltit Kömür  | 1             | 405             |
| Atık Isı        | 95            | 391,8           |
| Barajlı         | 141           | 23275,2         |
| Biyokütle       | 383           | 1827,2          |
| Doğalgaz        | 344           | 25304,3         |
| Fuel Oil        | 9             | 251,9           |
| Güneş           | 9203          | 9120,4          |
| İthal Kömür     | 16            | 10373,8         |
| Jeotermal       | 63            | 1686,3          |
| Linyit          | 47            | 10191,5         |
| LNG             | 1             | 2               |
| Motorin         | 1             | 1               |
| Nafta           | 1             | 4,7             |
| Rüzgar          | 358           | 11306,8         |
| Taş Kömürü      | 4             | 840,8           |
| <b>TOPLAM</b>   | <b>11276</b>  | <b>103275,7</b> |

Yıllar içerisinde elektrik enerjisine olan ihtiyacın artması ile birlikte, fosil yakıtlar hızla tüketilmeye başlanmıştır. Bu nedenle yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi gündeme gelmiştir. Tablo 3.2’den anlaşılacağı üzere, devlet teşvikleri

ile birlikte jeotermal, rüzgar, güneş, biyokütle gibi YEK'lerin kurulu güçleri yıllara bağlı olarak artmıştır.

**Tablo 3.2.** YEK'lerin Türkiye toplam kurulu gücü içindeki payının yıllar itibariyle gelişimi

| Yıllar | Barajlı | D.Göl ve Akarsu | Hidrolik Toplam | Jeotermal | Rüzgar | Güneş  | Biyokütle | Yenilenebilir Kurulu Gücü | Türkiye Toplam Kurulu Gücü | Yenilenebilir Payı % |
|--------|---------|-----------------|-----------------|-----------|--------|--------|-----------|---------------------------|----------------------------|----------------------|
| 2000   | 10501,4 | 673,8           | 11175,2         | 17,5      | 18,9   |        | 10        | 11221,6                   | 27264,1                    | 41,2                 |
| 2001   | 10959,4 | 713,5           | 11672,9         | 17,5      | 18,9   |        | 10        | 11719,3                   | 28332,4                    | 41,4                 |
| 2002   | 11469,4 | 771,5           | 12240,9         | 17,5      | 18,9   |        | 13,8      | 12291,1                   | 31845,8                    | 38,6                 |
| 2003   | 11752,4 | 826,3           | 12578,7         | 15        | 18,9   |        | 13,8      | 12626,4                   | 35587                      | 35,5                 |
| 2004   | 11752,4 | 893             | 12645,4         | 15        | 18,9   |        | 13,8      | 12693,1                   | 36824                      | 34,5                 |
| 2005   | 11967,4 | 938,6           | 12906,1         | 15        | 20,1   |        | 13,8      | 12955                     | 38843,5                    | 33,4                 |
| 2006   | 11966,9 | 1095,8          | 13062,7         | 23        | 59     |        | 19,8      | 13164,4                   | 40564,8                    | 32,5                 |
| 2007   | 12262   | 1132,9          | 13394,9         | 23        | 147,5  |        | 21,2      | 13586,6                   | 40835,7                    | 33,3                 |
| 2008   | 12422,8 | 1405,9          | 13828,7         | 29,8      | 363,7  |        | 38,2      | 14260,4                   | 41817,2                    | 34,1                 |
| 2009   | 12681,7 | 1871,7          | 14553,3         | 77,2      | 791,6  |        | 65        | 15487,1                   | 44761,4                    | 34,6                 |
| 2010   | 13067,1 | 2764,2          | 15831,2         | 94,2      | 1320,2 |        | 85,7      | 17331,3                   | 49524,1                    | 35                   |
| 2011   | 13529,3 | 3607,7          | 17137,1         | 114,2     | 1728,7 |        | 104,2     | 19084,2                   | 52911,1                    | 36,1                 |
| 2012   | 14744,6 | 4864,8          | 19609,4         | 162,2     | 2260,6 |        | 147,3     | 22179,5                   | 57059,4                    | 38,9                 |
| 2013   | 16142,5 | 6146,6          | 22289           | 310,8     | 2759,7 |        | 178       | 25537,5                   | 64007,5                    | 39,9                 |
| 2014   | 16606,9 | 7036,3          | 23643,2         | 404,9     | 3629,7 | 40,2   | 227       | 27945                     | 69519,8                    | 40,2                 |
| 2015   | 19077,2 | 6790,6          | 25867,8         | 623,9     | 4503,2 | 248,8  | 277,1     | 31520,8                   | 73146,7                    | 43,1                 |
| 2016   | 19558,6 | 7122,5          | 26681,1         | 820,9     | 5751,3 | 832,5  | 363,8     | 34449,6                   | 78497,4                    | 43,9                 |
| 2017   | 19776   | 7497,1          | 27273,1         | 1063,7    | 6516,2 | 3420,7 | 477,4     | 38751,1                   | 85200                      | 45,5                 |
| 2018   | 20536,1 | 7755,3          | 28291,4         | 1282,5    | 7005,4 | 5062,8 | 621,9     | 42264                     | 88550,8                    | 47,7                 |
| 2019   | 20642,5 | 1860,5          | 28503           | 1514,7    | 7591,2 | 5995,2 | 791,3     | 44395,3                   | 91267                      | 48,6                 |
| 2020   | 22925   | 8058,9          | 30983,9         | 1613,2    | 8832,4 | 6667,4 | 1105,3    | 49202,2                   | 95890,6                    | 51,3                 |
| 2021   | 23280,4 | 8212,2          | 31492,6         | 1676,2    | 10607  | 7815,6 | 1642,7    | 53234,1                   | 99819,6                    | 53,3                 |

2020 yılı itibariyle yenilenebilir kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi kurulu gücü payının, Türkiye toplam kurulu gücü içerisindeki payına oranı %51,3 olmuştur. Böylece yenilenebilir elektrik enerjisi üretim kaynakları ülkemizde daha verimli kullanılmaya başlanmıştır.

### 3.1.3. Biyokütle Potansiyeli

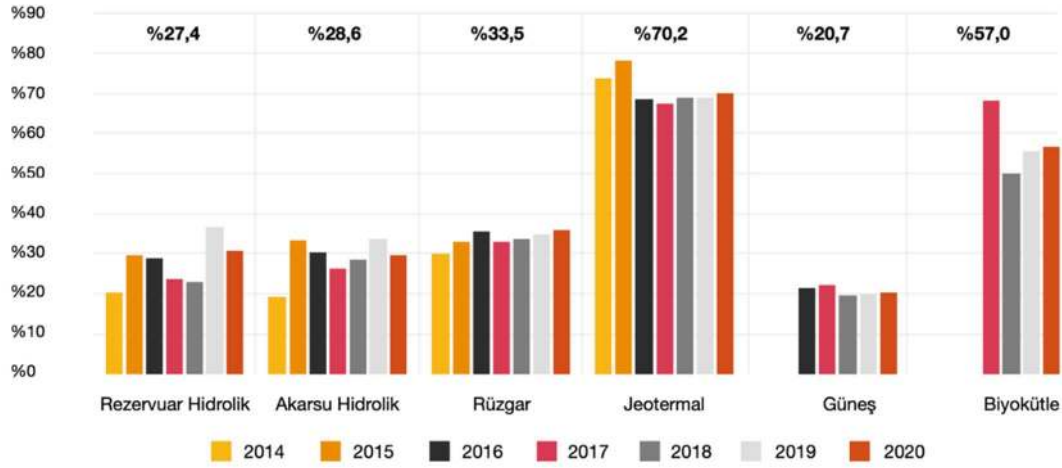
İzmir'de doğal kaynakların hızla tüketilmesinin önüne geçebilmek ve 2021 yılında imzalan Paris Anlaşması gereği sürdürülebilir bir enerji döngüsü ile emisyon sıfır taahhüdü çerçevesinde çeşitli planlar yapılmıştır. Bunlar İBB Sürdürülebilir Enerji ve İklim Eylem Planları ile İzmir Yeşil Şehir Eylem Planıdır. Yürütülen çalışmalar kapsamında, YEK'lerden elektrik enerjisi üretimi araştırmaları yapılmış, YEK'ler tespit edilmiş ve gelecek senaryoları oluşturulmuştur. Bu senaryolar kapsamında, İzmir çöp eylem planı konu edilmiş ve entegre sistemler ile YEK'lerden biri olan biyokütleden elektrik enerjisi üretimi planlanmıştır. Bu doğrultuda İzmir

ilinin biyokütle potansiyeli araştırılmış ve raporlanmıştır. Raporlara istinaden İzmir EKAY planları oluşturulmuştur.

Biyokütle bu planlarda hızla artan popülasyon ve endüstrileşme ile yükselen enerji taleplerini sürdürebilir olarak karşılayan önemli bir YEK olarak tanımlanmaktadır. Tarımsal, hayvansal, kentsel ve endüstriyel atıklar gibi tüm organik maddeler biyokütle olarak tanımlanır. Bu kaynakların dönüşmesi sonucunda oluşan enerji YEK'ler arasındaki biyokütle enerjisi olarak tanımlanır [32-34].

Biyokütle potansiyeli, biyoenerji üretilmesi için gerekli olan kaynak miktarlarının ve türlerinin birleşimidir. Biyokütle potansiyeli ile yeni yatırımlar yapılarak sürdürülebilir biyoenerji döngüsü tamamlanmaktadır [35]. Bu kavramlar arasında yer alan biyokütle kaynakları ise biyoenerji potansiyelini belirleyen unsurlar olarak tanımlanmaktadır. Örnek olarak; tarımsal, evsel ve hayvansal atıklar önemli biyokütle kaynakları olarak verilebilir [36].

Biyokütlenin elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir [37]. Bu yöntemler genel olarak üç basamakta incelenmektedir. Bunlar; termokimyasal, biyokimyasal ve fiziksel yöntemlerdir [38]. Termokimyasal yöntemler; doğrudan yakma, piroliz ve gazlaştırma şeklinde üç ana başlık altında incelenir. Biyokimyasal yöntemler; anaerobik çürüme ve fermantasyon şeklinde iki ana başlık altındadır. Tezde çalışılan Harmandalı DADT'de biyokimyasal yöntemlerden olan anaerobik çürüme yöntemi kullanılmaktadır. Sonucu yöntem olan fiziksel yöntem de esterleşme adı verilen yöntem kullanılır [39-40]. Bu çalışmanın sonucunda İzmir için termokimyasal yöntemlerden biri olan doğrudan yakma prosesi önerilmiştir. Çünkü DADT çöplerin bertaraf edilmesinde yetersiz kalmaktadır. Bu durum çevre kirliliğine neden olmakta ve ilkel bir yöntem şeklinde yorumlanmaktadır. Şekil 3.6'da 2014-2020 yılları arasında YEK'lerin kapasiteleri yüzdelik olarak verilmiştir. Tablo 3.3'te ise YEK'lerin yıllık çalışma süreleri ile kapasite faktörü tablosu sunulmuştur.



**Şekil 3.6.** 2014-2020 yılları arasında YEK'lerin kapasite faktörleri dağılımı (%)

**Tablo 3.3.** YEK'lerin çalışma süreleri (saat) ile kapasite faktörü (%)

| Kaynak    | Yıllık Çalışma Saati | Kapasite Faktörü (%) |
|-----------|----------------------|----------------------|
| Rüzgar    | 4000                 | 45%                  |
| Güneş     | 2000                 | 23%                  |
| Biyokütle | 7500                 | 85%                  |
| Jeotermal | 8000                 | 92%                  |

Şekil 3.6 ile Tablo 3.3 değerlendirildiğinde, biyokütle potansiyelinin çok yüksek olduğu ve yatırımlara açık bir sektör olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu (EPDK) tarafından gerçekleştirilen 2020 Haziran ayındaki alınan EPDK Kurul Kararına göre biyokütle santrallerinden yıllık üretilebilecek enerji miktarı 7 bin 500 saat belirlenmiştir. Bu santrallerin kapasite faktörü %85 olarak tanımlanmıştır. Böylece biyokütlenin YEK elektrik enerjisi üretimi içerisindeki önemi de vurgulanmıştır.

Atık Yönetimi Yönetmeliği 2 Nisan 2015 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Buna göre kamu kurum kuruluşları ile atık üreten tüm kurumların görev ve sorumlulukları belirlenmiştir. Bu doğrultuda ilçe belediyelerine atıkların toplanması görevi verilirken büyükşehir belediyelerine ise atık bertaraf tesislerin kurulması, işletilmesi ve/veya işlettilmesi, atıkların bertaraf tesislerine transferleri ve kurum/kuruluşlar arasında koordineyi sağlaması görevleri verilmiştir.

Bu bağlamda İzmir'in atıkları İBB, Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığınca hazırlanan sıfır atık planlamaları doğrultusunda alınan karar ile birlikte yeni adıyla İklim Değişikliği ve Sıfır Atık



Bergama EKAY tesisidir. Yüksek yatırım maliyetleri ve finansman eksikliği ile kamu hiyerarşisi nedenlerinden dolayı tesis yatırımların yapılmasında gecikmeler yaşanmış ve yatırım iptalleri olmuştur. Bu nedenlerle İzmir ilinde aktif faaliyet gösteren dört tesis bulunmaktadır. Bunlar Harmandalı DADT, Güney 1 Ödemiş EKAY tesisi, Kuzey 1 Bergama EKAY tesisi ile Tire DADT'dir.

Şekil 3.8'de, İzmir iline ait üç KABT gösterilmektedir. Harmandalı DADT 1992 yılından bu yana faaliyet göstermekte olup, Kuzey 1 Bergama EKAY ve Güney 1 Ödemiş EKAY tesisleri 2021 yılında devreye alınmıştır.



(a)



(b)



(c)

**Şekil 3.8.** İzmir ili a) Kuzey 1 Bergama EKAY tesisi, b) Harmandalı DADT ve c) Güney 1 Ödemiş EKAY tesisleri

### 3.1.5. İzmir İli Atık Verileri

2022 yılında gerçekleştirilen çalışmalar ve kantar verileri doğrultusunda, hangi ilçelerden hangi transfer istasyonuna geldikleri belirlenen atıklar, transfer araçları ile birlikte tesislere iletilmektedirler. Tablo 3.4 ve Tablo 3.5'te yaz dönemi aylarında çöp miktarları artmış, kış dönemi aylarında ise azalmıştır. Ancak merkez ilçelerin çöpleri hem yaz hem de kış aylarında yaklaşık aynı kalmıştır.

**Tablo 3.4. 2022 yılı Ocak-Haziran ayları arasındaki atık miktarları**

| ATIK TRANSFERLER VE İKMAL ŞUBE MÜDÜRLÜĞÜ TESİSLERE GÖNDERİLEN 2022 YILLARI ARASI VERİ |                       |                             |                                                       |                    |                    |                    |                    |                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| İlçeler                                                                               | Transfer İstasyonları | Tesisler                    | 2022 YILI TONAJ DAĞILIMI TRANSFERLERDEN GELEN (KG/AY) |                    |                    |                    |                    |                    |
|                                                                                       |                       |                             | OCAK                                                  | ŞUBAT              | MART               | NİSAN              | MAYIS              | HAZİRAN            |
| Aliğa*                                                                                | Aliğa                 | Harmandalı, Bergama         | 2.330.000                                             | 2.373.600          | 2.449.750          | 2.466.100          | 2.247.950          | 2.154.850          |
| Bakçova*                                                                              | Gediz                 | Harmandalı, Ödemiş          | 34.781.660                                            | 31.033.610         | 31.702.770         | 30.831.620         | 29.817.290         | 31.952.830         |
| Konak**                                                                               |                       |                             |                                                       |                    |                    |                    |                    |                    |
| Buca***                                                                               |                       |                             |                                                       |                    |                    |                    |                    |                    |
| Gaziemir**                                                                            |                       |                             |                                                       |                    |                    |                    |                    |                    |
| Narlıdere**                                                                           |                       |                             |                                                       |                    |                    |                    |                    |                    |
| Karabağlar**                                                                          |                       |                             |                                                       |                    |                    |                    |                    |                    |
| Bergama                                                                               |                       | Bergama                     | 2.992.950                                             | 3.232.050          | 2.976.750          | 2.847.800          | 2.679.100          | 2.639.600          |
| Bornova*                                                                              | Bornova               | Harmandalı, Ödemiş, Bergama | 9.432.270                                             | 8.971.250          | 8.910.800          | 9.502.440          | 8.843.040          | 8.836.950          |
| Çeşme*                                                                                | Çeşme                 | Harmandalı, Ödemiş, Bergama | 1.800.570                                             | 1.948.100          | 2.349.000          | 2.606.150          | 3.649.240          | 3.972.110          |
| Çiğli                                                                                 |                       | Harmandalı                  | 6.316.700                                             | 11.821.150         | 12.335.800         | 6.589.500          | 10.685.550         | 10.616.600         |
| Dikili*                                                                               | Dikili                | Bergama                     | 1.384.450                                             | 1.230.850          | 1.278.650          | 1.511.550          | 1.961.250          | 2.196.950          |
| Foça*                                                                                 | Foça                  | Harmandalı, Bergama         | 829.200                                               | 792.500            | 1.000.100          | 1.010.050          | 1.056.150          | 1.227.500          |
| Gaziemir**                                                                            | Kısıklı               | Harmandalı, Ödemiş, Bergama | 2.451.730                                             | 2.219.790          | 2.319.920          | 2.374.260          | 2.281.780          | 2.475.650          |
| Menderes**                                                                            |                       |                             |                                                       |                    |                    |                    |                    |                    |
| Torbalı**                                                                             |                       |                             |                                                       |                    |                    |                    |                    |                    |
| Buca***                                                                               |                       |                             |                                                       |                    |                    |                    |                    |                    |
| Karabağlar**                                                                          |                       |                             |                                                       |                    |                    |                    |                    |                    |
| Karaburun*                                                                            | Karaburun             | Harmandalı                  | 351.800                                               | 349.650            | 351.000            | 515.680            | 667.910            | 582.110            |
| Karşıyaka*                                                                            | Karşıyaka             | Harmandalı                  | 1.431.000                                             | 2.322.000          | 2.483.000          | 1.869.650          | 1.106.290          | 1.031.400          |
| Kemalpaşa*                                                                            | Kemalpaşa             | Harmandalı, Bergama         | 3.678.000                                             | 3.385.210          | 3.472.650          | 3.444.460          | 3.651.700          | 3.473.900          |
| Kınık*                                                                                | Kınık                 | Bergama                     | 972.950                                               | 931.000            | 945.830            | 804.500            | 702.150            | 720.400            |
| Beydağ*                                                                               | Çaylı                 | Ödemiş                      | 0 (Transfer İstasyonu Aktif Değil)                    | 825.620            | 812.630            | 787.410            | 710.120            | 622.030            |
| Kiraz*                                                                                |                       |                             |                                                       |                    |                    |                    |                    |                    |
| Konak**                                                                               | Halkapınar            | Harmandalı, Ödemiş, Bergama | 18.318.240                                            | 19.550.490         | 21.392.100         | 20.606.950         | 22.127.510         | 22.147.060         |
| Bayraklı*                                                                             |                       |                             |                                                       |                    |                    |                    |                    |                    |
| Bornova**                                                                             |                       |                             |                                                       |                    |                    |                    |                    |                    |
| Karşıyaka*                                                                            |                       |                             |                                                       |                    |                    |                    |                    |                    |
| Buca***                                                                               |                       |                             |                                                       |                    |                    |                    |                    |                    |
| Menderes**                                                                            | Gümüldür              | Harmandalı, Ödemiş          | 1.245.540                                             | 1.257.220          | 1.262.270          | 1.595.920          | 2.131.020          | 2.857.290          |
| Seferihisar*                                                                          | Türkelli              | Harmandalı, Bergama         | 4.116.700                                             | 3.556.910          | 3.836.390          | 4.037.490          | 3.957.520          | 4.439.740          |
| Menemen*                                                                              |                       |                             |                                                       |                    |                    |                    |                    |                    |
| Aliğa**                                                                               | Foça**                | Ödemiş                      | 4.151,07                                              | 3.547,17           | 3.104,14           | 4.079,98           | 2.738,38           | 3.900,47           |
| Foça**                                                                                |                       |                             |                                                       |                    |                    |                    |                    |                    |
| Ödemiş                                                                                |                       | Ödemiş                      | 4.151,07                                              | 3.547,17           | 3.104,14           | 4.079,98           | 2.738,38           | 3.900,47           |
| Seferihisar*                                                                          | Seferihisar           | Harmandalı                  | 1.090.100                                             | 1.277.580          | 1.250.780          | 1.428.350          | 1.518.220          | 3.000.000          |
| Selçuk*                                                                               | Selçuk                | Harmandalı, Ödemiş          | 870.660                                               | 1.035.210          | 1.161.410          | 1.214.500          | 1.391.230          | 1.531.940          |
| Tire*                                                                                 | Tire                  | Ödemiş                      | -                                                     | -                  | -                  | -                  | -                  | -                  |
| Torbalı**                                                                             | Torbalı               | Harmandalı, Ödemiş          | 6.337.710                                             | 6.140.620          | 6.255.100          | 6.278.810          | 6.123.480          | 6.025.260          |
| Bayındır*                                                                             |                       |                             |                                                       |                    |                    |                    |                    |                    |
| Urla*                                                                                 | Urla                  | Harmandalı, Ödemiş          | 4.069.780                                             | 3.854.500          | 4.200.450          | 4.515.140          | 4.870.450          | 4.953.070          |
| Güzelbahçe*                                                                           |                       |                             |                                                       |                    |                    |                    |                    |                    |
| Narlıdere**                                                                           |                       |                             |                                                       |                    |                    |                    |                    |                    |
| <b>TOPLAM</b>                                                                         |                       |                             | <b>104.806.161</b>                                    | <b>108.112.457</b> | <b>112.750.254</b> | <b>106.842.410</b> | <b>112.181.688</b> | <b>117.461.140</b> |

Tablo 3.4'te 2022 yılında Ocak-Haziran aylarında hangi ilçelerden hangi transfer istasyonlarına geldiği ve hangi tesislere yönlendirildiği ile tesislere yönlendirilen atık miktarları verilmiştir. Yaz mevsiminde yazlık bölgelerde bulunan

ilçelerden kış aylarına oranla daha fazla çöp geldiği ve atık miktarının arttığı görülmektedir.

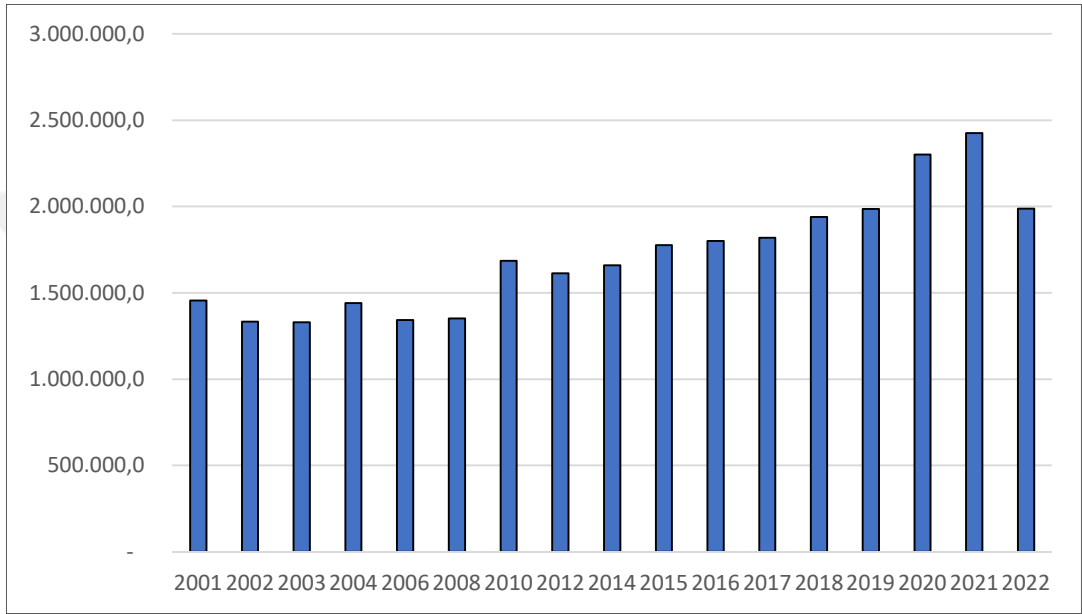
Tablo 3.5’te ise 2022 yılında Temmuz-Aralık aylarında hangi ilçelerden hangi transfer istasyonlarına çöplerin geldiği, hangi tesislere çöplerin yönlendirildiği ve tesislere yönlendirilen çöp miktarları verilmiştir. Özellikle Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında yazlık bölgede bulunan transfer istasyonlarına getirilen atığın arttığı görülmektedir.

**Tablo 3.5. 2022 yılı Temmuz-Aralık ayları arasındaki atık miktarları**

| ATIK TRANSFERLER VE İKMAL ŞUBE MÜDÜRLÜĞÜ TESİSLERE GÖNDERİLEN 2022 YILLARI ARASI VERİ |                       |                             |                                                       |             |             |             |             |             |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| İlçeler                                                                               | Transfer İstasyonları | Tesisler                    | 2022 YILI TONAJ DAĞILIMI TRANSFERLERDEN GELEN (KG/AY) |             |             |             |             |             |
|                                                                                       |                       |                             | TEMMUZ                                                | AĞUSTOS     | EYLÜL       | EKİM        | KASIM       | ARALIK      |
| Aliğa*                                                                                | Aliğa                 | Harmandalı, Bergama         | 1.466.500                                             | 1.290.150   | 2.831.050   | 2.337.350   | 2.298.550   | 2.312.336   |
| Bağcı*                                                                                | Gediz                 | Harmandalı, Ödemiş          | 33.378.700                                            | 31.403.670  | 31.163.480  | 31.023.680  | 29.263.190  | 31.122.457  |
| Konak**                                                                               |                       |                             |                                                       |             |             |             |             |             |
| Buca***                                                                               |                       |                             |                                                       |             |             |             |             |             |
| Gazimir**                                                                             |                       |                             |                                                       |             |             |             |             |             |
| Narlıdere**                                                                           |                       |                             |                                                       |             |             |             |             |             |
| Karabağlar**                                                                          |                       |                             |                                                       |             |             |             |             |             |
| Bergama                                                                               |                       | Bergama                     | 2.454.710                                             | 2.724.950   | 2.581.280   | 2.406.210   | 2.619.550   | 2.703.154   |
| Bornova*                                                                              | Bornova               | Harmandalı, Ödemiş, Bergama | 8.858.020                                             | 9.122.150   | 9.940.050   | 9.928.780   | 9.934.500   | 10.147.856  |
| Çeşme*                                                                                | Çeşme                 | Harmandalı, Ödemiş, Bergama | 6.467.730                                             | 6.757.520   | 4.586.450   | 2.695.590   | 2.315.110   | 2.506.984   |
| Çiğli                                                                                 |                       | Harmandalı ?                | 7.189.350                                             | 12.063.750  | 7.934.350   | 11.676.200  | 9.018.950   | 9.946.656   |
| Dikili*                                                                               | Dikili                | Bergama                     | 3.600.470                                             | 3.577.400   | 2.309.600   | 1.555.550   | 1.361.550   | 1.612.843   |
| Foça*                                                                                 | Foça                  | Harmandalı, Bergama         | 1.496.050                                             | 1.510.950   | 1.760.900   | 923.350     | 839.400     | 899.657     |
| Gazimir**                                                                             | Kısıkkı               | Harmandalı, Ödemiş, Bergama | 2.622.700                                             | 2.616.070   | 2.428.590   | 2.270.730   | 2.313.970   | 2.496.631   |
| Menderes**                                                                            |                       |                             |                                                       |             |             |             |             |             |
| Torbalı**                                                                             |                       |                             |                                                       |             |             |             |             |             |
| Buca***                                                                               |                       |                             |                                                       |             |             |             |             |             |
| Karabağlar**                                                                          |                       |                             |                                                       |             |             |             |             |             |
| Karaburun*                                                                            |                       |                             |                                                       |             |             |             |             |             |
| Karaburun*                                                                            | Karaburun             | Harmandalı                  | 1.029.390                                             | 1.034.630   | 620.230     | 541.280     | 369.070     | 411.159     |
| Karşıyaka*                                                                            | Karşıyaka             | Harmandalı                  | 1.825.730                                             | 1.120.100   | 1.645.970   | 4.805.880   | 4.606.930   | 4.957.186   |
| Kemalpaşa*                                                                            | Kemalpaşa             | Harmandalı, Bergama         | 3.485.700                                             | 3.794.000   | 3.308.450   | 2.964.900   | 3.363.530   | 3.149.989   |
| Kınık*                                                                                | Kınık                 | Bergama                     | 753.600                                               | 869.950     | 904.200     | 781.100     | 774.100     | 841.523     |
| Beydağ*                                                                               | Çaylı                 | Ödemiş                      | 740.830                                               | 832.880     | 727.760     | 769.840     | 831.560     | 813.698     |
| Kiraz*                                                                                |                       |                             |                                                       |             |             |             |             |             |
| Konak**                                                                               | Halkapınar            | Harmandalı, Ödemiş, Bergama | 22.268.920                                            | 24.380.050  | 22.776.280  | 23.237.530  | 23.334.770  | 23.786.194  |
| Bayraklı*                                                                             |                       |                             |                                                       |             |             |             |             |             |
| Bornova**                                                                             |                       |                             |                                                       |             |             |             |             |             |
| Karşıyaka*                                                                            |                       |                             |                                                       |             |             |             |             |             |
| Buca***                                                                               |                       |                             |                                                       |             |             |             |             |             |
| Menderes**                                                                            | Gümüldür              | Harmandalı, Ödemiş          | 4.380.840                                             | 4.260.350   | 2.751.080   | 1.865.430   | 1.510.680   | 1.789.354   |
| Seferihisar*                                                                          | Türkelli              | Harmandalı, Bergama         | 5.011.980                                             | 5.982.950   | 3.365.150   | 3.999.650   | 3.748.800   | 3.899.432   |
| Menemen*                                                                              |                       |                             |                                                       |             |             |             |             |             |
| Aliğa**                                                                               |                       |                             |                                                       |             |             |             |             |             |
| Foça**                                                                                |                       |                             |                                                       |             |             |             |             |             |
| Ödemiş                                                                                |                       | Ödemiş                      | 7.541,80                                              | 4.423,21    | 4.168,52    | 3.987,66    | 3.626,43    | 3.914.530   |
| Seferihisar*                                                                          | Seferihisar           | Harmandalı                  | 2.242.800                                             | 2.798.580   | 2.179.040   | 1.710.780   | 1.382.290   | 1.425.840   |
| Selçuk*                                                                               | Selçuk                | Harmandalı, Ödemiş          | 1.980.630                                             | 2.295.700   | 1.674.830   | 1.373.230   | 1.542.820   | 1.750.069   |
| Tire*                                                                                 | Tire                  | Ödemiş                      | -                                                     | -           | -           | -           | -           | -           |
| Torbalı**                                                                             | Torbalı               | Harmandalı, Ödemiş          | 6.902.530                                             | 7.433.230   | 6.480.360   | 6.268.850   | 6.166.950   | 6.289.980   |
| Bayındır*                                                                             |                       |                             |                                                       |             |             |             |             |             |
| Urla*                                                                                 | Urla                  | Harmandalı, Ödemiş          | 5.408.590                                             | 5.676.870   | 4.710.480   | 3.308.960   | 4.182.250   | 4.369.880   |
| Güzelbahçe*                                                                           |                       |                             |                                                       |             |             |             |             |             |
| Narlıdere**                                                                           |                       |                             |                                                       |             |             |             |             |             |
| TOPLAM                                                                                |                       |                             | 123.573.312                                           | 131.550.323 | 116.683.749 | 116.448.858 | 111.782.146 | 121.147.408 |

Şekil 3.9’da yıllar içerisinde İzmir’in organik atık miktarlarının gelişimi gösterilmiştir. İzmir ili hem göç hem de koronavirüs hastalığı (COVID-19)

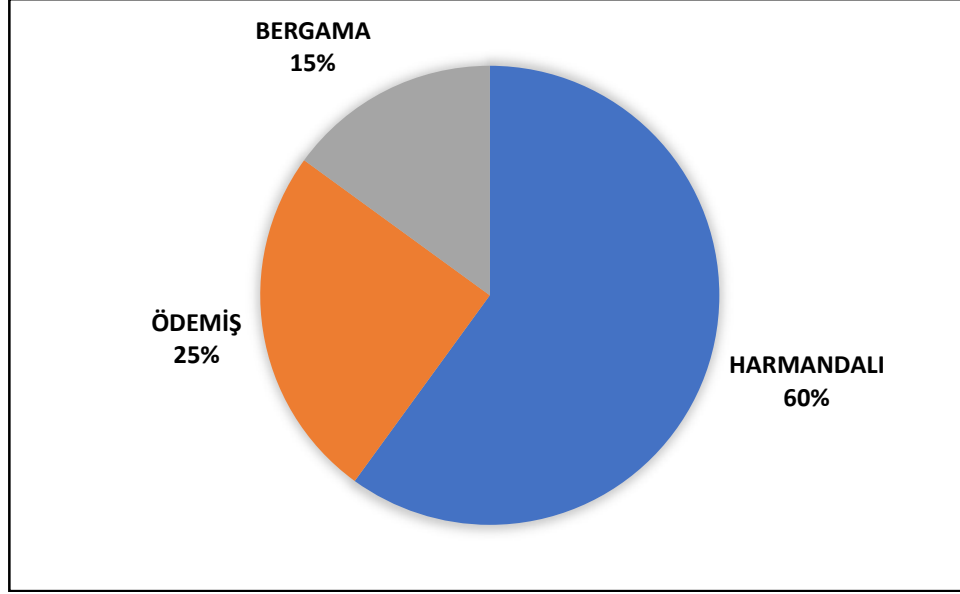
pandemisinin yaşam koşullarını değiştirmesi sonucunda, oluşan organik atık miktarları 2020-2022 yılları arasında hızlıca yükselmiştir. COVID-19 pandemisinin bir sonucu olan uzaktan çalışma programları da evde tüketilen gıdaları arttırmıştır. Daha çok organik atığın çıkmasına neden olmuştur. 2020-2021 yıllarındaki tesislere getirilen organik atık miktarları sırası ile 2.301.580 ton ve 2.424.786 ton olmuştur. Ancak 2022 yılında tesislere getirilen organik atık miktarı 1.987.157 ton olmuştur. Bu veri elde edilecek elektrik enerji miktarı için oldukça önemli bir veridir.



**Şekil 3. 9.** İzmir ili yıl temelli organik atık miktarı değişimi

2022 yılı itibari ile Kuzey 1 Bergama EKAY tesisine getirilen atık miktarı yaklaşık 750 ton/gün'dür. Güney 1 Ödemiş EKAY tesisine getirilen atık miktarı yaklaşık 1.250 ton/gün'dür. Harmandalı DADT'ye getirilen atık miktarı ise yaklaşık 3 bin ton/gün'dür. İzmir ilinin 2022 yılı itibarı ile günlük çöp miktarı 5 bin ton civarındadır.

Şekil 3.10'da İzmir ilinin çöpünün hangi tesislere ne oranda gönderildiği verilmiştir. Bu çöpün yaklaşık %60'ı Harmandalı DADT, %25'i Güney 1 Ödemiş EKAY tesisinde ve %15'i ise Kuzey 1 Bergama EKAY tesisinde bertaraf edilmektedir. Tire DADT'ye ise yaklaşık 250 ton/gün'lük atık gönderilmektedir. Tire DADT'nin bu grafikte yer almamasının nedeni Ödemiş EKAY tesisinden çıkan inert (elek sonu, işlem göremeyecek atık) atığın bu tesiste depolanmasıdır.



**Şekil 3.10.** İzmir KABT'lerine getirilen atık miktarları (ton/gün, %)

### **3.1.6. Harmandalı Düzenli Atık Depolama Tesis**

İzmir çöpünün en fazla bertaraf edildiği tesis ve bu tez kapsamında incelenen Harmandalı DADT'dir. Harmandalı DADT, İzmir ili Çiğli ilçesi sınırlarında yer almaktadır. Tesis, İzmir Körfezi'nin kuzeyine yakın olup İzmir il merkezinin kuzeyinde, oldukça eğimli bir arazi üzerinde yer almaktadır. Sahada yapılan ölçümler neticesinde atık depolama alanı 1.150.000 m<sup>2</sup>'lik bir alanı kaplar. Harmandalı DADT Çiğli ilçesine sekiz km uzaklıktadır. Kurulu bölgedeki en yakın yerleşim alanına uzaklığı ise yaklaşık yarım km'dir.

Harmandalı DADT, 1992 yılından beri ülkemizin ilk düzenli depolama sahası olarak faaliyetine devam etmektedir. İzmir ilinin hızlı göç alması, çöp miktarlarının artması ve gelişen teknolojiler ile birlikte çöp bertarafının sağlanması için proje değerlendirilmiş ve çalışmalara başlanmıştır.

Harmandalı DADT'de rehabilitasyon çalışmaları, elektrik enerjisi üretilmesi ve çöplerin serme/sıkıştırma çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda Harmandalı DADT'de gerçekleştirilen projeler; mevcut sahaların şev kararlılığının ve üst örtüsü teşkilinin projelendirilmesidir. Bununla birlikte depo gazının toplama sisteminin projelendirilmesi ve değerlendirilmesidir. Ek olarak yüzey sularının ve sızıntı sularının drenajının projelendirilmesidir. Bunlarla birlikte gaz ve yeraltı suyunun izleme kuyuları ile izleme programının projelendirilmesidir. Ulaşım için

evre transfer yollarının yapılmasıdır. En sonunda üretilecek elektrik enerjisinin analizidir. Harmandalı DADT prosesleri ekil 3.11’de verilmiştir.



**Şekil 3.11.** Harmandalı DADT a)2800 ton/gün atık kabul, b)gaz toplama rigolleri ve sızıntı suyu drenaj hatları imalatı, c)gaz toplama üniteleri (buster ve chiller nitesi ile gaz balonu), d)elektrik üretimi, e)kompostlaştırılacak atıklar ve f)kompost retimi

Söz konusu çalışmaların gerçekleştirilebilmesi için, depolama alanının mevcut durumu, detaylı bir şekilde incelenerek ve gerekli analizler yapılarak ayrıntılı bir biçimde ortaya konmuştur. Bu kapsamda sahanın jeolojik durumu, meteorolojik verileri, çöp miktarları ve karakterizasyonu gibi parametreler geriye dönük şekilde raporlanmıştır.

Atık Yönetimi Yönetmeliği kapsamında belirlenen kurallar çerçevesinde İlçe belediyeleri tarafından toplanan evsel (belediye) atıklar toplanmaktadır. Bunlar İBB bünyesinde yer alan Transfer İstasyonlarına getirilerek Semitreyler tırlar ile DADT ve EKAY tesislerine iletilmektedir.

Bu bağlamda hali hazırda 20 ilçenin atıkları ilçe belediyeleri tarafından toplanarak İklim Değişikliği ve Sıfır Atık Dairesi Başkanlığı bünyesinde işletilen Transfer İstasyonları vasıtası ile Harmandalı DADT’ye getirilmektedir. Söz konusu tesise getirilen atıklar, önce kantar sisteminde tartılmakta ve tonaj bilgileri kayıt altına alınmaktadır. Giriş işlemleri tamamlanan araçlar döküm sahaları içerisinde bulunan platformlara yönlendirilmektedir. Şekil 3.12’de Harmandalı DADT’de bulunan kantar ve çöp depolama platformlarının birer rneği gösterilmiştir. Tablo 3.6’da Harmandalı

DADT içerisinde bulunan lotlar ve depolama kapasiteleri m<sup>2</sup> ve ton cinsinden gösterilmiştir.



(a)



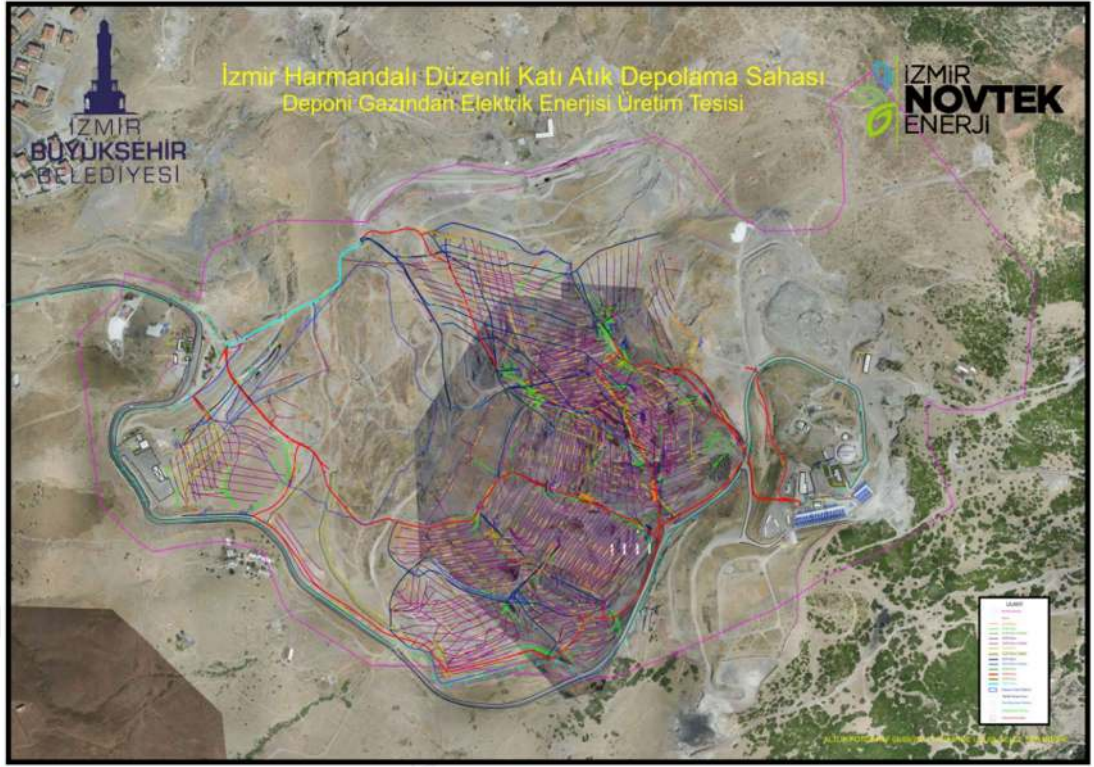
(b)

**Şekil 3.12.** Harmandalı DADT’de bulunan a) kantar ve b) lotlar

**Tablo 3.6.** 1992-2012 yılları arasında Harmandalı DADT sahası evsel atık lotları

| Lot Adı       | İşletme Yılı  | Yaklaşık Alan (m <sup>2</sup> ) | Depolanan Atık Miktarı (Ton) |
|---------------|---------------|---------------------------------|------------------------------|
| Lot A         | 1992-1998     | 77.761,72                       | 2.727.000,00                 |
| Lot B         | 1998-2002     | 264.912,63                      | 2.877.000,00                 |
| Lot C         | 2002-2004     | 28.205,35                       | 1.433.000,00                 |
| Lot D         | 2004-2006     | 100.226,59                      | 1.692.000,00                 |
| Lot E         | 2006-2017     | 217.482,79                      | 12.678.813,00                |
| <b>Toplam</b> | <b>25 YIL</b> | <b>688.589,08</b>               | <b>21.344.036,00</b>         |

2013 yılından itibaren Harmandalı DADT’de çöp depolama lotları ömürlerini tamamlamaya başlamış olup, çöp depolama ve serme/sıkıştırma işlemleri platformlar halinde devam etmektedir. Hali hazırda çöp alımına devam edilen platformlar Şekil 3.13’teki haritada görülmektedir. Şekil 3.13’teki haritada görüldüğü üzere G, Vadi, J ve S platformlarına çöp alımına devam edilmektedir ve bu alanlar siyah renkle filtrelenmiştir.



**Şekil 3.13.** Harmandalı DADT biyogaz tesisinin aktif gaz sahası

Harmandalı DADT'ye getirilen atıklar depolama platformlarına götürülmeden önce altı ayda bir olacak şekilde atık içeriğinin belirlenebilmesi amacı ile karakterizasyon işlemine tabi tutulurlar. Atığın içeriğinin belirlenmesi hem ilçelerin gelir dengelerini belirlemekte hem de yatırım amaçlı tesislerin kurulabilmesine olanak sağlamaktadır.

Platformlara getirilen katı atıklar, dozer ve ekskavatör ile birlikte serme/sıkıştırma işlemlerine tabi tutulurlar. Atıkların transfer istasyonlarına getirilmesi ile karakterizasyon işlemine tabi tutulması işlemleri Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

**Şekil 3.14.** Tesislerdeki; a) ilçe belediyelerinin çöp transferi, b) il genelinde bulunan çöp transfer istasyonu örneği, c) çöp karakterizasyon işlemi ve d) çöpün incelenmesi ve raporlanması

Katı atık karakterizasyonu, EKAY sisteminin en önemli kısmıdır. Katı atık yönetiminin yapılması için bertaraf tesislerine gelen katı atıkların içeriklerinin belirlenmesi ve bunların sınıflandırılması oldukça büyük bir öneme haizdir [41].

Yerleşim biriminde yaşayan insanların sayıları arttıkça KABT'lere gelen atık çeşitliliği de değişmektedir. Katı atık çeşitliliğindeki en önemli olan insanların yaşam tarzlarıdır. Bunu da belirleyen iklim koşulları olmaktadır. Katı atık çeşitliliği bulunan bölgeden bölgeye de farklılık göstermektedir. Ayrıca toplumların gelir düzeyleri de bu katı atık miktarlarında ve çeşitliliğinde önemli rol oynar [42].

İzmir ili için her yıl kış ve yaz dönemine ait İşlenmemiş Kentsel Katı Atıkların Bileşiminin Belirlenmesi İçin Standart Test Yöntemi (ASTM - Standard Test Method for Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste) standartlarına uygun bir şekilde kentsel katı atık karakterizasyonu yapılmaktadır.

Karakterizasyon aşamasında ilçeler yüksek, orta, düşük gelirli ve çarşı mahalleleri olarak dörde bölünmüştür. Daha sonrasında ilçe belediyeler ile görüşülmüş ve belirlenen mahallelerinden numune getirmeleri talep edilmiştir.

İlçe belediyeleri numuneleri belirlenen saatte karakterizasyonun yapılacağı alana iletmişlerdir. Karakterizasyon örnekleri seçiminde üstü ve altı açık, demirden üretilmiş, sızma ve akmaya dayanıklı, taşıma sapları içeren ve ASTM standartlarında önerilen 91 – 136 kg’lık örneklerde çalışılmıştır. Belirlenen kriterleri karşıladığı için 0,5 m<sup>3</sup>’lük örnek ölçek kabı tercih edilmiştir. Örnek seçilmesinde ölçek kabı tam dolu olacak biçimde sıkıştırma yapmaksızın tamamen doldurulmuştur. Sonrasında numune ayırımı için belirlenen 15 kriterde ayırım yapılmıştır. Bunlar; kağıt-karton, cam, pet, poşet, plastikler, metaller, organik atık, park bahçe atıkları, elektrik elektronik atıklar, tehlikeli atıklar, kompozit, tekstil, çocuk bezi, diğer yanabilir, diğer yanamayandır.

Ayırımı tamamlanan numunelerin karakterleri belirlenip ağırlıkları kaydedilmiş ve raporlaştırılmıştır. 2022 yılında gerçekleştirilen karakterizasyon çalışmasında; organik atık, park ve bahçe atıklarının oluşturduğu biyobozunur atıkların muhtevası kış döneminde %43,76 olmuştur. Bu oran yaz döneminde %47,86 değerine çıkmıştır. Kağıt-karton, cam, pet, plastik ve metal atıkların oluşturduğu ambalaj atık muhtevası yaz döneminde %22,6 olmuştur. Bunun içinde %8,15 kağıt-karton, %7,99 cam, %2,09 pet, %3,26 plastik ve %1,14 metal olmuştur. Bu oran kış döneminde %17,02 olarak gerçekleşmiştir. Bunun muhtevasında %5,76 kağıt-karton, %5,79 cam, %1,69 pet, %2,51 plastik ve %1,33 metal olmuştur. Diğer yanabilir atık muhtevası kış karakterizasyonunda %21,18 seviyesindeyken, yaz karakterizasyonunda %15,05’e gerilemiştir. Ayrıca laboratuvarda atığın nem muhtevası, kızdırma kaybı ve kalorifik değeri de analiz edilmiştir. Kış karakterizasyonu için atık nem muhtevası ortalama %55,08’dir, yaz karakterizasyonu için atık nem muhtevası ise %57,27’dir. Kalorifik değeri kış döneminde 1.710,90 kcal/kg, yaz döneminde 1.697,75 kcal/kg mertebesinde. Kızdırma kaybı değerleri ise kış döneminde ortalama %83,15, yaz döneminde ortalama %83,04 olup bu değer atığın termal olarak kütle kaybını temsil etmektedir. Elde edilen sonuçlar ile atık projeksiyonu tamamlanmıştır. 2020-2021 yılına ait örnek çöp karakterizasyon sonuçları Tablo 3.7 – 3.11’de sunulmuştur.

**Tablo 3.7. 2020 yılı yaz atık karakterizasyon sonuçları**

| İZMİR İLİ 2020 YILI YAZ EVSEL KATI ATIK KARAKTERİZASYONU | Urla  |       |       |         | Top. % | Harmandalı |       |       |       | Top. % |
|----------------------------------------------------------|-------|-------|-------|---------|--------|------------|-------|-------|-------|--------|
|                                                          | YÜZDE | YÜZDE | YÜZDE | YÜZDE   |        | YÜZDE      | YÜZDE | YÜZDE | YÜZDE |        |
| MUTFAK ATIKLARI                                          | 35,77 | 53,58 | 47,89 | 42,16   | 44,9   | 52,15      | 48,18 | 41,87 | 36,65 | 44,7   |
| KAĞIT                                                    | 0     | 2,04  | 0     | 0       | 0,5    | 0          | 4,68  | 0     | 0,42  | 1,3    |
| KARTON                                                   | 7,14  | 5,14  | 7,3   | 4,03321 | 5,9    | 5,29       | 0,46  | 10,31 | 5,06  | 5,3    |
| HACİMLİ KARTON                                           | 0     | 1     | 0     | 0       | 0,3    | 0          | 0     | 0     | 7,46  | 1,9    |
| PLASTİK                                                  | 7,08  | 8,2   | 9,09  | 10,1    | 8,6    | 4,66       | 6,3   | 13,8  | 4,34  | 7,3    |
| CAM                                                      | 11,26 | 2,88  | 2,05  | 6,83274 | 5,8    | 1,23       | 3,52  | 5,23  | 6,24  | 4,1    |
| METAL                                                    | 2,62  | 2,57  | 0     | 1,23369 | 1,6    | 0,95       | 0,4   | 0,56  | 0,36  | 0,6    |
| HACİMLİ METAL                                            | 0     | 0     | 0     | 0       | 0,0    | 0          | 0     | 0     | 0     | 0,0    |
| ATIK ELEKTRİK ELEKTRONİK                                 | 0     | 0     | 0,8   | 0       | 0,2    | 0,32       | 0     | 0,87  | 0     | 0,3    |
| TEHLİKELİ ATIK                                           | 2,62  | 5,86  | 1,19  | 0,59312 | 2,6    | 0,79       | 3,29  | 1,51  | 1,05  | 1,7    |
| PARK BAHÇE ATIKLARI                                      | 0     | 0     | 0     | 4,22301 | 1,1    | 12,48      | 7,63  | 3,73  | 11,51 | 8,8    |
| DİĞER YANMAYAN (Moloz ve Seramik)                        | 0     | 0     | 0     | 0       | 0,0    | 0          | 9,13  | 0     | 2,92  | 3,0    |
| DİĞER YANABİLEN                                          | 33,5  | 18,73 | 31,69 | 30,82   | 28,7   | 20,46      | 16,41 | 17,92 | 5,51  | 15,1   |
| DİĞER YANABİLİR HACİMLİ ATIK                             | 0     | 0     | 0     | 0       | 0,0    | 0,32       | 0     | 2,3   | 17,19 | 5,0    |
| DİĞER YANMAYAN HACİMLİ ATIK                              | 0     | 0     | 0     | 0       | 0,0    | 1,34       | 0     | 1,9   | 1,27  | 1,1    |
| DİĞERLERİ                                                | 0     | 0     | 0     | 0       | 0,0    | 0          | 0     | 0     | 0     | 0,0    |
| TOPLAM                                                   | 100   | 100   | 100   | 100     | 100,0  | 100        | 100   | 100   | 100   | 100,0  |

**Tablo 3.8. 2020 yılı kış atık karakterizasyon sonuçları**

| İZMİR İLİ 2020 YILI KIŞ EVSEL KATI ATIK KARAKTERİZASYONU | Güney-1 ÖDEMİŞ |       |       |       | Top. %  | Güney-2 KISIK |       |       |       | Top. %  |
|----------------------------------------------------------|----------------|-------|-------|-------|---------|---------------|-------|-------|-------|---------|
|                                                          | Yüzde          | Yüzde | Yüzde | Yüzde |         | Yüzde         | Yüzde | Yüzde | Yüzde |         |
| MUTFAK ATIKLARI                                          | 52,3           | 72,6  | 71,19 | 33,3  | 57,345  | 38,44         | 40,4  | 58,3  | 47,4  | 46,135  |
| KAĞIT                                                    | 0              | 1,2   | 0,4   | 0,5   | 0,515   | 1,7           | 0     | 1,5   | 0,0   | 0,8     |
| KARTON                                                   | 3,24           | 3,62  | 3,67  | 3,0   | 3,3925  | 2,71          | 2,27  | 3,23  | 2,6   | 2,69    |
| HACİMLİ KARTON                                           | 0              | 0     | 0     | 0     | 0       | 0             | 0     | 0     | 2,1   | 0,5175  |
| PLASTİK                                                  | 2,05           | 1,89  | 11,03 | 7,6   | 5,6475  | 4,96          | 6,58  | 4,8   | 5,3   | 5,4025  |
| CAM                                                      | 4,98           | 6,3   | 8,98  | 2,5   | 5,68    | 12,01         | 10,51 | 10,69 | 7,8   | 10,2475 |
| METAL                                                    | 1,4            | 0,6   | 0,2   | 0,6   | 0,695   | 0             | 0,55  | 0,93  | 0,2   | 0,4225  |
| HACİMLİ METAL                                            | 0              | 0     | 0     | 0     | 0       | 0             | 0     | 0     | 0     | 0       |
| ATIK ELEKTRİK ELEKTRONİK                                 | 0              | 0     | 0     | 0     | 0       | 0,85          | 0     | 0     | 0,3   | 0,2925  |
| TEHLİKELİ ATIK                                           | 5,63           | 1,03  | 2,09  | 2,7   | 2,86    | 1,24          | 0,73  | 2,08  | 2,9   | 1,745   |
| PARK BAHÇE ATIKLARI                                      | 24,73          | 1,2   | 0     | 47,4  | 18,3225 | 6,74          | 8,54  | 0,78  | 4,4   | 5,1075  |
| DİĞER YANMAYAN (Moloz ve Seramik)                        | 0              | 8,63  | 0     | 0     | 2,1575  | 0             | 0     | 0     | 16,7  | 4,17    |
| DİĞER YANABİLEN                                          | 4,87           | 0,09  | 0,91  | 2,5   | 2,0825  | 19,14         | 8,97  | 5,09  | 5,6   | 9,6975  |
| DİĞER YANABİLİR HACİMLİ ATIK                             | 0,75           | 2,5   | 1,53  | 0,0   | 1,205   | 11,78         | 21,4  | 12,49 | 4,7   | 12,59   |
| DİĞER YANMAYAN HACİMLİ ATIK                              | 0,05           | 0,34  | 0     | 0,0   | 0,0975  | 0,43          | 0     | 0,1   | 0     | 0,1325  |
| DİĞERLERİ                                                | 0              | 0     | 0     | 0     | 0       | 0             | 0,05  | 0,01  | 0,14  | 0,05    |
| TOPLAM                                                   | 100            | 100   | 100   | 100   | 100     | 100           | 100   | 100   | 100   | 100     |

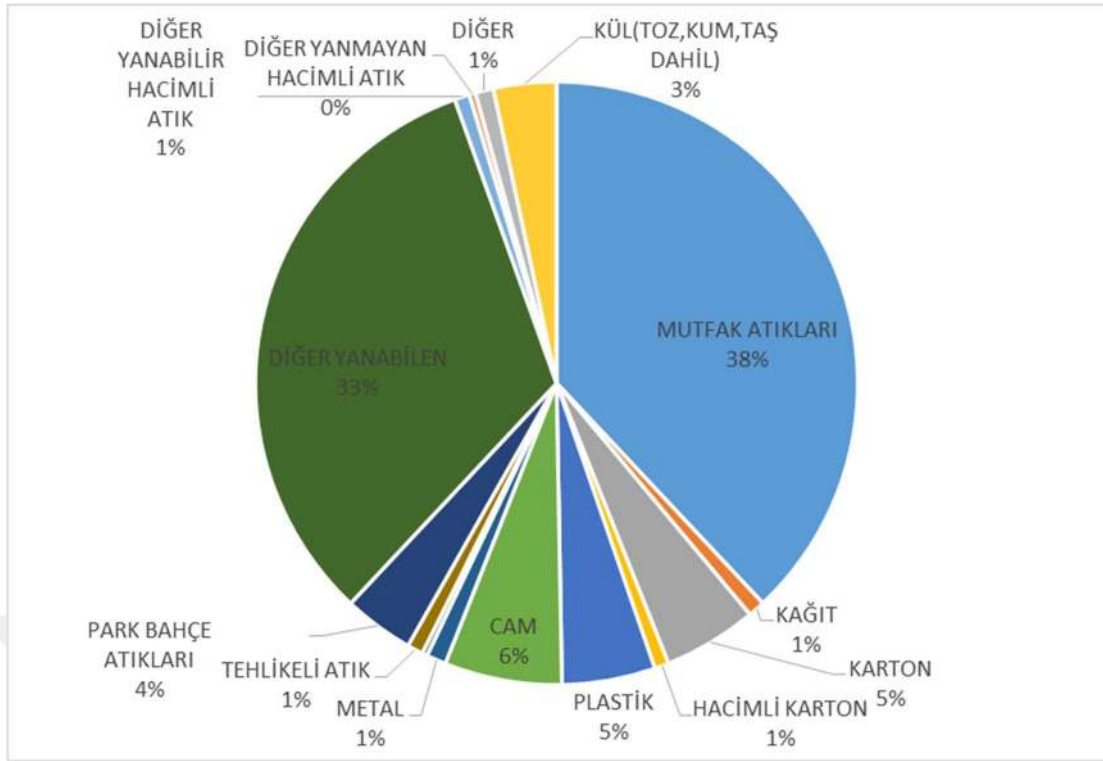
**Tablo 3.9. 2021 yılı Konak ilçesi atık karakterizasyon sonuçları**

| İLÇE                         | KONAK             |        |       |              |       |       |                    |       |       |               |        |        |
|------------------------------|-------------------|--------|-------|--------------|-------|-------|--------------------|-------|-------|---------------|--------|--------|
| Gelir Seviyesi / Mahalle     | Yüksek / Alsancak |        |       | Orta / Hatay |       |       | Düşük / Kadifekale |       |       | Çarşı / Çarşı |        |        |
| KATI ATIK BİLEŞENLERİ        | kg                |        |       | kg           |       |       | kg                 |       |       | kg            |        |        |
|                              | DARA              | BRÜT   | NET   | DARA         | BRÜT  | NET   | DARA               | BRÜT  | NET   | DARA          | BRÜT   | NET    |
| MUTFAK ATIKLARI              | 2,40              | 36,15  | 33,75 | 4,80         | 37,35 | 32,55 | 2,40               | 28,25 | 25,85 | 4,80          | 66,20  | 61,40  |
| KAĞIT                        | 1,20              | 3,60   | 2,40  | 1,20         | 2,10  | 0,90  | 1,20               | 1,40  | 0,20  | 0,00          | 0,00   | 0,00   |
| KARTON                       | 2,40              | 5,10   | 2,70  | 2,40         | 3,95  | 1,55  | 1,20               | 2,00  | 0,80  | 3,60          | 7,65   | 4,05   |
| HACİMLİ KARTON               | 1,20              | 1,65   | 0,45  | 0,00         | 0,00  | 0,00  | 0,00               | 0,00  | 0,00  | 0,00          | 0,00   | 0,00   |
| PLASTİK                      | 3,60              | 6,55   | 2,95  | 2,40         | 4,20  | 1,80  | 2,40               | 3,80  | 1,40  | 2,40          | 4,70   | 2,30   |
| CAM                          | 1,20              | 6,15   | 4,95  | 1,20         | 7,15  | 5,95  | 1,20               | 4,95  | 3,75  | 1,20          | 10,25  | 9,05   |
| METAL                        | 1,20              | 2,25   | 1,05  | 1,20         | 2,10  | 0,90  | 1,20               | 1,35  | 0,15  | 1,20          | 1,40   | 0,20   |
| HACİMLİ METAL                | 0,00              | 0,00   | 0,00  | 0,00         | 0,00  | 0,00  | 0,00               | 0,00  | 0,00  | 0,00          | 0,00   | 0,00   |
| ATIK ELEKTRİK ELEKTRONİK     | 0,00              | 0,00   | 0,00  | 0,00         | 0,00  | 0,00  | 0,00               | 0,00  | 0,00  | 0,00          | 0,00   | 0,00   |
| TEHLİKELİ ATIK               | 1,20              | 1,90   | 0,70  | 1,20         | 1,55  | 0,35  | 1,20               | 1,85  | 0,65  | 1,20          | 1,60   | 0,40   |
| PARK BAHÇE ATIKLARI          | 1,20              | 5,35   | 4,15  | 0,00         | 0,00  | 0,00  | 0,00               | 0,00  | 0,00  | 1,20          | 7,20   | 6,00   |
| DİĞER YANABİLEN              | 7,20              | 53,85  | 46,65 | 9,60         | 35,10 | 25,50 | 6,00               | 26,65 | 20,65 | 8,40          | 51,90  | 43,50  |
| DİĞER YANABİLİR HACİMLİ ATIK | 0,00              | 0,00   | 0,00  | 0,00         | 0,00  | 0,00  | 0,00               | 0,00  | 0,00  | 1,20          | 2,55   | 1,35   |
| DİĞER YANMAYAN HACİMLİ ATIK  | 0,00              | 0,00   | 0,00  | 0,00         | 0,00  | 0,00  | 0,00               | 0,00  | 0,00  | 1,20          | 3,15   | 1,95   |
| DİĞER                        | 0,00              | 0,00   | 0,00  | 0,00         | 0,00  | 0,00  | 1,20               | 1,90  | 0,70  | 0,00          | 0,00   | 0,00   |
| KÜL(TOZ,KUM,TAŞ DAHİL)       | 0,00              | 0,00   | 0,00  | 1,20         | 5,30  | 4,10  | 2,40               | 21,50 | 19,10 | 0,00          | 0,00   | 0,00   |
| TOPLAM                       | 22,80             | 122,55 | 99,75 | 25,20        | 98,80 | 73,60 | 20,40              | 93,65 | 73,25 | 26,40         | 156,60 | 130,20 |

**Tablo 3.10. 2021 yılı Seferihisar ilçesi atık karakterizasyon sonuçları**

| İLÇE                         | SEFERİHİSAR      |        |       |             |       |       |                  |       |       |               |        |       |
|------------------------------|------------------|--------|-------|-------------|-------|-------|------------------|-------|-------|---------------|--------|-------|
| Gelir Seviyesi / Mahalle     | Yüksek / Sığacık |        |       | Orta / Ulaş |       |       | Düşük / Turabiye |       |       | Çarşı / Çarşı |        |       |
| KATI ATIK BİLEŞENLERİ        | kg               |        |       | kg          |       |       | kg               |       |       | kg            |        |       |
|                              | DARA             | BRÜT   | NET   | DARA        | BRÜT  | NET   | DARA             | BRÜT  | NET   | DARA          | BRÜT   | NET   |
| MUTFAK ATIKLARI              | 2,40             | 19,80  | 17,40 | 2,40        | 25,85 | 23,45 | 2,40             | 13,70 | 11,30 | 6,00          | 38,95  | 32,95 |
| KAĞIT                        | 1,20             | 2,60   | 1,40  | 0,00        | 0,00  | 0,00  | 0,00             | 0,00  | 0,00  | 1,20          | 1,90   | 0,70  |
| KARTON                       | 1,20             | 2,55   | 1,35  | 0,00        | 0,00  | 0,00  | 3,60             | 6,24  | 2,64  | 3,60          | 6,60   | 3,00  |
| HACİMLİ KARTON               | 0,00             | 0,00   | 0,00  | 0,00        | 0,00  | 0,00  | 0,00             | 0,00  | 0,00  | 0,00          | 0,00   | 0,00  |
| PLASTİK                      | 3,60             | 9,95   | 6,35  | 2,40        | 6,80  | 4,40  | 2,40             | 3,20  | 0,80  | 3,60          | 5,90   | 2,30  |
| CAM                          | 3,60             | 25,70  | 22,10 | 1,20        | 2,75  | 1,55  | 1,20             | 3,10  | 1,90  | 1,20          | 3,35   | 2,15  |
| METAL                        | 1,20             | 2,25   | 1,05  | 1,20        | 1,60  | 0,40  | 1,20             | 4,40  | 3,20  | 1,20          | 1,45   | 0,25  |
| HACİMLİ METAL                | 0,00             | 0,00   | 0,00  | 0,00        | 0,00  | 0,00  | 0,00             | 0,00  | 0,00  | 0,00          | 0,00   | 0,00  |
| ATIK ELEKTRİK ELEKTRONİK     | 1,20             | 4,55   | 3,35  | 1,20        | 1,60  | 0,40  | 0,00             | 0,00  | 0,00  | 1,20          | 1,50   | 0,30  |
| TEHLİKELİ ATIK               | 1,20             | 3,75   | 2,55  | 2,40        | 3,45  | 1,05  | 1,20             | 1,50  | 0,30  | 2,40          | 3,90   | 1,50  |
| PARK BAHÇE ATIKLARI          | 2,40             | 13,60  | 11,20 | 1,20        | 8,00  | 6,80  | 0,00             | 0,00  | 0,00  | 0,00          | 0,00   | 0,00  |
| DİĞER YANABİLEN              | 8,40             | 31,75  | 23,35 | 7,20        | 32,80 | 25,60 | 4,80             | 24,30 | 19,50 | 9,60          | 42,45  | 32,85 |
| DİĞER YANABİLİR HACİMLİ ATIK | 1,20             | 5,00   | 0,00  | 2,40        | 13,85 | 0,00  | 1,20             | 5,00  | 0,00  | 0,00          | 0,00   | 0,00  |
| DİĞER YANMAYAN HACİMLİ ATIK  | 0,00             | 0,00   | 0,00  | 0,00        | 0,00  | 0,00  | 0,00             | 0,00  | 0,00  | 0,00          | 0,00   | 0,00  |
| DİĞER                        | 0,00             | 0,00   | 0,00  | 0,00        | 0,00  | 0,00  | 1,20             | 2,00  | 0,80  | 0,00          | 0,00   | 0,00  |
| KÜL(TOZ,KUM,TAŞ DAHİL)       | 1,20             | 2,15   | 0,95  | 1,20        | 2,25  | 1,05  | 1,20             | 5,50  | 4,30  | 1,20          | 1,90   | 0,70  |
| TOPLAM                       | 28,80            | 123,65 | 91,05 | 22,80       | 98,95 | 64,70 | 20,40            | 68,94 | 44,74 | 31,20         | 107,90 | 76,70 |

Genel anlamda İzmir çöpünün yaklaşık %38'i organik atık, %33'u diğer yanabilen, %6'sı cam, %5'i plastik ve %5'i ise kartondur. Altı ayda bir karakterizasyona tabi tutulan atıklar ölçümleri tamamlandıktan sonra depolama platformlarına yönlendirilmektedir. Şekil 3.15'te İzmir il geneli atık karakterizasyonu gösterilmiştir.



**Şekil 3. 15.** İzmir il geneli atık karakterizasyonu

Harmandalı DADT’de serme/sıkıştırma işlemi tamamlanan çöpler dört aylık süre ile metan ( $CH_4$ ) oluşumuna bırakılırlar. Bu çöpler yaklaşık  $45^{\circ}C$  ısıda oksijensiz ortamda metan üretmeye başlarlar [43-44]. Biyobozunma işlemi ile %55-60 kalitede metan üretilmesi sağlanmış olur [45-46]. Bu işlem sonrasında ise dikey ve yatay rigolleme işlemleri ile oluşan metanın sahadan gaz jeneratörlerine gelmesi emiş ünitesi ile sağlanır.

Harmandalı DADT’de 2022 yılı Aralık ayı sonuna kadar toplamda 137.109,00 m’lik rigol hattı döşenmiştir. Şekil 3.16 (a), (b) ve (c)’de dört ay süreyle bekletilen çöpten metan gazı üretilmesi ve rigolleme işlemi verilmiştir. Şekil 3.16 (d), (e) ve (f)’de sırasıyla açılmış rigol hatları, emiş ünitesine giden ana hatlar ve çöplerin platformlara depolanarak serme/sıkıştırma işlemi verilmiştir.



**Şekil 3.16.** Harmandalı DADT'deki a, b, c) rigol hatlarının yerleştirilmesi işlemi, d) rigol hatlarının kazılması işlemi, e) motorlara gazı taşıyan ana rigol hatlarının imalat işlemleri ve f) çöplerin platformlarda depolanması ve serme/sıkıştırma işlemi

Depolama sahası gazının bileşimi sahanın yaşından etkilenmektedir [47-48]. Tablo 3.11’de depolama sahası gazları için kritik değerleri özetlenmektedir. Depolama sahası gazı, genellikle %0-%85 oranında metan (CH<sub>4</sub>) ve %0-%88 oranında karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) içermektedir. Diğer gazlar, depolama sahası gazında çok küçük miktarlarda bulunmaktadır.

**Tablo 3.11.** Harmandalı DADT’de oluşan deponi gazı bileşenleri

| Bileşen         | Sembol           | Hacim %            |
|-----------------|------------------|--------------------|
| Metan           | CH <sub>4</sub>  | 0-85               |
| Karbon dioksit  | CO <sub>2</sub>  | 0-88               |
| Karbon Monoksit | CO               | 0-3                |
| Hidrojen        | H <sub>2</sub>   | 0-3,6              |
| Oksijen         | O <sub>2</sub>   | 0-31               |
| Azot            | N <sub>2</sub>   | 0-82,5             |
| Amonyak         | NH <sub>3</sub>  | 0-0,35 hacimce ppm |
| Hidrojen sülfür | H <sub>2</sub> S | 0-70 hacimce ppm   |

Tablo 3.12’de ise depolama sahasında biriktirilen gazın fiziksel özellikleri sıralanmıştır. KABT planlanırken saha içindeki gazın fiziksel özellikleri kazanım yöntemini belirlemektedir.

**Tablo 3.12.** Harmandalı DADT çöp depolama sahası gazı fiziksel özellikleri

| Gaz             | Formül           | Birim Ağırlık (kg/m <sup>3</sup> ) | Alt Kalorifik Değer (kJ/Nm <sup>3</sup> ) | Kritik Sıcaklık (°C) | Havdaki Tutuşma Aralığı alt/üst (hac.%) | Yanma Hızı (m/s) | Minumum Tutuşma Enerjisi (MJ) | Tutuşma Sıcaklığı (°C) | Su Çözünürlüğü (g/l) | Özellikler                                          |
|-----------------|------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------|-----------------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------|
| Metan           | CH <sub>4</sub>  | 0,717                              | 35.600                                    | -82,5                |                                         | 0,4              | 0,6-0,7                       | 600                    | 0,0645               | Kokusuz, renksiz, zehirsiz                          |
| Karbon Dioksit  | CO <sub>2</sub>  | 1,977                              |                                           | 31,1                 |                                         |                  |                               |                        | 1,688                | Kokusuz, renksiz, düşük konsantrasyonlarda zehirsiz |
| Oksijen         | O <sub>2</sub>   | 1,429                              |                                           | -118,8               |                                         |                  |                               |                        | 0,043                | Kokusuz, renksiz, zehirsiz                          |
| Azot            | N <sub>2</sub>   | 1,25                               |                                           | -147,1               |                                         |                  |                               |                        | 0,019                | Kokusuz, renksiz, zehirsiz, yanıcı değil            |
| Karbon Monoksit | CO               | 1,25                               | 12.640                                    | -139                 | 12,5/74                                 | 0,5              |                               | 600                    | 0,028                | Kokusuz, renksiz, zehirli, yanıcı değil             |
| Hidrojen        | H <sub>2</sub>   | 0,09                               | 10.760                                    | -239,9               |                                         | 2,8              | 0,05                          | 560                    | 0,001                | Kokusuz, renksiz, zehirsiz, yanıcı                  |
| Hidrojen Sülfür | H <sub>2</sub> S | 1,539                              |                                           | 100,4                | 4,3/45,5                                |                  |                               |                        | 3,846                | Renksiz, zehirli                                    |
| Hava            |                  |                                    |                                           |                      |                                         |                  |                               |                        |                      | Kokusuz, renksiz, zehirsiz, yanıcı değil            |

## 3.2. Yöntem

### 3.2.1. Harmandalı Düzenli Atık Depolama Tesisinde Elektrik Üretimi

DADT’lerde metan gazı oranını belirlemek elektrik enerjisi çevrimi açısından oldukça değerlidir. Depolama alanlarındaki metan gazı miktarı, metan gazı miktarının

diğer gazlar karşısındaki oranı ve diğer gazların yoğunluk hesaplamaları bazı istatistiksel modeller ile anlamlandırılabilir. Araştırmacılar ve bilim insanları, farklı yaklaşım modelleri ile depolama sahalarındaki halihazırda üretilen gaz miktarını belirlemişlerdir. Ayrıca ileride üretilebilecek gaz miktarı ve bu gaz miktarının muhtevasını gösteren modeller tasarlamışlardır. LandGEM, TNO (Uygulamalı Bilimsel Araştırma Organizasyonu - Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek), Tabasaran Rettenberger ve Multi Phase Model (Afvalzorg) bu modellere örnek olarak verilebilmektedir [49].

LandGEM modeli, Amerika Birleşik Devleti Çevre Koruma Ajansı tarafından geliştirilerek çöp depolama sahalarında depolanan deponi gazı potansiyelini belirlemek için kullanılmaktadır. Yıllık deponi gaz miktarı aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir:

$$Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 k L_0 \left( \frac{M_i}{10} \right) e^{-ktj} \quad (3.1)$$

Burada;  $Q_{CH_4}$  hesap yılındaki yıllık metan oluşumunu ( $m^3/yıl$ ),  $i$  bir yıllık zaman artışını,  $n$  hesaplanacak yıl-atık kabulünün yapıldığı ilk yılı,  $j$  0,1 yıllık zaman artışını,  $k$  metan oluşum oranını ( $yıl^{-1}$ ),  $L_0$  potansiyel metan oluşum kapasitesini ( $m^3/ton$ ),  $M_i$   $i$  yılında kabul edilen atık kütlesini (ton) ve  $e^{-ktj}$   $i$  yılında kabul edilen  $M_i$  atık kütlesindeki  $j$ 'nci atığın yaşını ifade etmektedir.

TNO modeli, Hollanda TNO araştırma enstitüsü tarafından geliştirilmiş ve katı atığın içerisindeki parçalanmış organik karbon miktarlarını ölçerek deponi gaz miktarını belirlemektedir. Söz konusu deponi gaz miktarı aşağıdaki eşitlik ile elde edilir:

$$G_t = d * 1,87 * M * C_{org} * k * e^{-kt} \quad (3.2)$$

Burada,  $G_t$  belirli bir yıl içinde oluşan toplam deponi gazı miktarını ( $m^3$ ),  $M$ , DADT'lere getirilen atık miktarını (ton),  $C_{org}$ , katı atık içerisindeki organik karbon miktarını (kg OK/ton),  $k$ , atığın bozunma hızını ( $1/yıl$ ),  $d$  ise üretim sabitini temsil etmektedir.

Tabasaran Rettenberger modelinde, belirli bir sürede oluşacak deponi gazı miktarını, atığın içerisinde bulunan karbonun parçalanma hızını kullanarak hesaplar. Söz konusu deponi gaz miktarı aşağıdaki eşitlik ile elde edilir:

$$G_t = 1,868 * C_{org} * (0,014 * T + 0,28) * (1 - 10^{-kt}) * M_t \quad (3.3)$$

Burada  $G_t$  belirli bir yıl içinde oluşan toplam deponi gazı miktarını ( $m^3$ ),  $C_{org}$ , katı atık içerisindeki organik karbon miktarını (kg OK/ton),  $M_t$ ,  $t$  yılda toplanan atık miktarını,  $T$  ise sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ) belirtmektedir.

Multi Phase modelinde (Afvalzorg) deponi gaz miktarı, tesise getirilen atık içindeki biyolojik ayrışabilen organik karbon oranı ve kümülatif atık miktarının karşılaştırılmasını esas alarak hesaplanır. Deponi gaz miktarı aşağıdaki eşitlik ile elde edilir [50-51]:

$$G_t = d * 1,87 * M * \sum_{i=1}^3 C_{0,i} * k_i * e^{-tk_i} \quad (3.4)$$

Burada  $M$  atık miktarını (ton),  $C_{0,i}$  atık fraksiyonu  $i$  için organik karbon miktarını (kg OK/ton),  $k_i$  atık fraksiyonu  $i$  için hız sabitini (1/yıl),  $d$  üretim faktörünü,  $G_t$  ise  $t$  yıl içerisinde oluşan toplam deponi gaz miktarını ( $m^3$ ) ifade etmektedir.

Harmandalı DADT içerisinde yer alan katı atık depolama sahasının gaz potansiyelinin belirlenmesi üretilen elektrik miktarını, elektrik üretim tesisinin kurulu gücünü ve gaz balonunun hacminin hesaplanmasında kullanılan parametrelerden biridir. Gaz potansiyelinin hesaplanması için EPA tarafından geliştirilmiş olan LandGEM modeli kullanılmıştır. Şekil 3.17’de kullanılan LandGEM modelin ara yüzü gösterilmektedir.



Şekil 3.17. LandGEM model ara yüzü

LandGEM modelinde gaz hesabı birinci derece ayrışma oranı denkleminin (3.1) kullanılması ile gerçekleştirilmektedir. Harmandalı DADT için LandGEM modelinin parametreleri belirlenmiştir. Bunlar, metan oluşum oranı  $k = 0,05 \text{ yıl}^{-1}$ , potansiyel metan oluşum kapasitesi  $L_0 = 170 \text{ m}^3/\text{ton}$ 'dur. (3.1) eşitliği ile gerçekleştirilen ara yüz ve giriş parametreleri Şekil 3.18(a) ve 3.18(b)'de verilmiştir. Bu parametreler; atık alım süreleri, yıl bazında tahmini atık değerleri ile model parametreleridir. Şekil 3.19'da ise girilen veriler neticesinde yıllara göre üretilen metan gazı miktarları ve deponi gazı miktarları gösterilmiştir.

landgem-v302 (Onarildi) [Korumali Görünüm] - Excel

Dosya Giriş Ekle Sayfa Düzeni Formüller Veri Gözden Geçir Görünüm Ne yapmak istediğinizi söyleyin...

B12 Methane Generation Rate, k (year<sup>-1</sup>)

USER INPUTS Landfill Name or Identifier: Harmandali

1: PROVIDE LANDFILL CHARACTERISTICS

Landfill Open Year: 1992

Landfill Closure Year: 2025

Have Model Calculate Closure Year? ☐ Yes ☒ No

Waste Design Capacity: short tons

2: DETERMINE MODEL PARAMETERS

Methane Generation Rate, k (year<sup>-1</sup>):

Potential Methane Generation Capacity, L<sub>0</sub> (m<sup>3</sup>/Mg): CAA Conventional - 170

NMOC Concentration (ppmv as hexane): CAA - 4,000

Methane Content (% by volume): CAA - 50% by volume

4: ENTER WASTE ACCEPTANCE RATES

Input Units: short tons/year

| Year | Input Units (short tons/year) | Calculated Units (Mg/year) |
|------|-------------------------------|----------------------------|
| 1992 | 638.750                       | 580.682                    |
| 1993 | 688.450                       | 625.864                    |
| 1994 | 718.490                       | 653.173                    |
| 1995 | 803.350                       | 730.318                    |
| 1996 | 889.980                       | 809.073                    |
| 1997 | 927.710                       | 843.373                    |
| 1998 | 986.960                       | 897.236                    |
| 1999 | 1.023.230                     | 930.209                    |
| 2000 | 1.058.150                     | 961.955                    |
| 2001 | 1.086.480                     | 987.709                    |
| 2002 | 1.099.280                     | 999.345                    |
| 2003 | 1.119.920                     | 1.018.109                  |
| 2004 | 1.186.850                     | 1.078.955                  |

(a)

landgem-v302 (Onarildi) [Korumali Görünüm] - Excel

Dosya Giriş Ekle Sayfa Düzeni Formüller Veri Gözden Geçir Görünüm Ne yapmak istediğinizi söyleyin...

J56 =(M56+P56+S56+V56+Y56+AB56+AE56+AH56+AK56+AN56+AQ56+AT56+AW56+AZ56+BC56+BF56+BI56+BL56)

METHANE Landfill Name or Identifier: Harmandali

First-Order Decomposition Rate Equation:  $Q_{CH_4} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=0.1}^1 k L_0 \left( \frac{M_i}{10} \right) e^{-k t_{ij}}$

Where,

Q<sub>CH<sub>4</sub></sub> = annual methane generation in the year of the calculation (m<sup>3</sup>/year)

i = 1-year time increment

n = (year of the calculation) - (initial year of waste acceptance)

j = 0.1-year time increment

k = methane generation rate (year<sup>-1</sup>)

L<sub>0</sub> = potential methane generation capacity (m<sup>3</sup>/Mg)

M<sub>i</sub> = mass of waste accepted in the i<sup>th</sup> year (Mg)

t<sub>ij</sub> = age of the j<sup>th</sup> section of waste mass M<sub>i</sub> accepted in the i<sup>th</sup> year (decimal years, e.g., 3.2 years)

Model Parameters from User Inputs:

k = 0.050 year<sup>-1</sup>

L<sub>0</sub> = 170 m<sup>3</sup>/Mg

When Model Calculates Closure Year...

Final Non-Zero Acceptance Entered = 929.091 megagrams in 2022

Waste Design Capacity = megagrams

Closure Year (with 80-year limit) = 2025

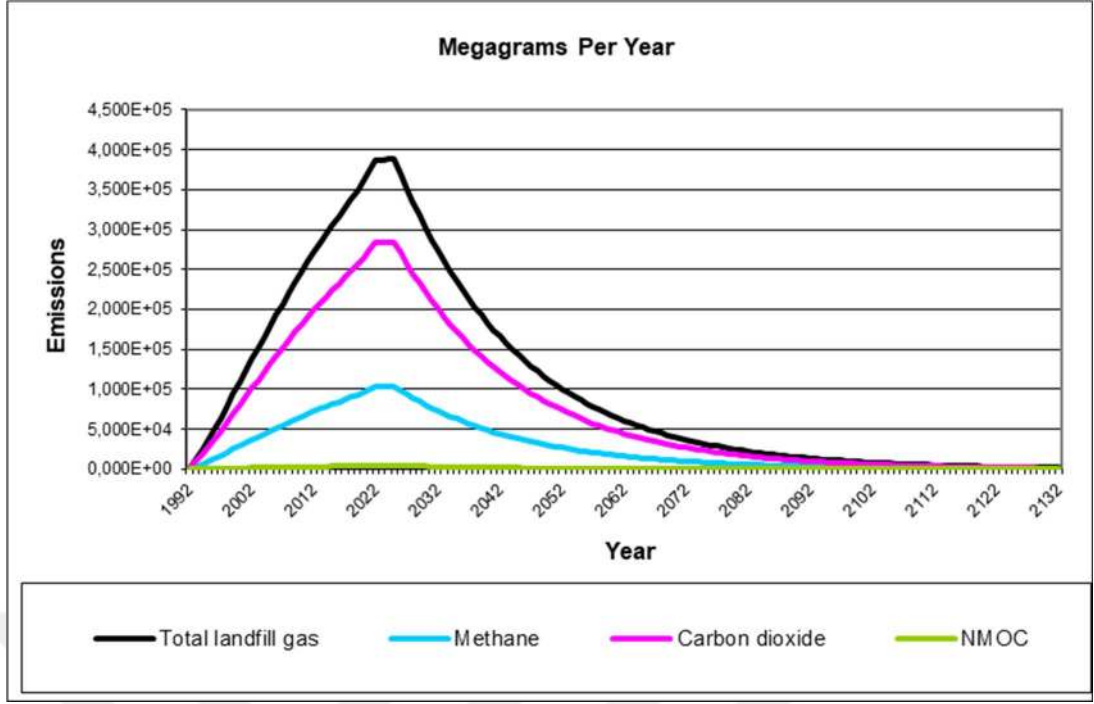
Actual Closure Year (without limit) = 2025

Model Waste Acceptance Limit = 80 years

(b)

Şekil 3.18. LandGEM; a) model giriş parametreleri ve b) hesaplama ara yüzü

LandGEM modelinde metan içeriği hacimce %50 olarak tanımlanmıştır. Saha ölçümleri ile bu oran doğrulanmıştır. LandGEM modeli ile depolama alanındaki toplam deponi gaz, metan ve karbondioksit emisyonları hesaplanmıştır.



Şekil 3.19. LandGEM modeli hesaplanan gaz miktarları ve yıllara göre dağılımları

Şekil 3.19 incelendiğinde, en büyük gaz oluşumu atık dökümünün tahmini olarak terk edileceği yıl olan 2025'te gözlenmektedir. Harmandalı DADT nezdinde LandGEM modeli ile gerçekleştirilen hesaplamada, deponi gazının oluşumu 2025 yılında, toplamda  $3,109 \times 10^8$  m<sup>3</sup>/yıl, total deponi gazının ise  $1,554 \times 10^8$  m<sup>3</sup>/yıl metan gazının oluşacağı öngörülmüştür. Aşağıda LandGEM modelinde kullanılan korelasyon işleminin eşitlikleri verilmiştir.

$$\begin{aligned}
 \sum_{i=1}^n xi &= \sum_{i=1}^n (xi - \bar{x}) = \sum_{i=1}^n xi - \sum_{i=1}^n \bar{x} = \sum_{i=1}^n xi - n\bar{x} \\
 &= \sum_{i=1}^n xi - n(\sum_{i=1}^n xi)/n = \sum_{i=1}^n xi - \sum_{i=1}^n xi = 0
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

(3.5) eşitliğinde LandGEM modelin yaklaşım korelasyonlarının bir önceki verinin ortalama değerinden çıkarılarak sıfıra yaklaştırılması sonucunda oluşan matematiksel ifadeler yer almaktadır.

Tüm bu hesaplamaların gerçekleştirilmesi neticesinde, elektrik üretim tesisinin kurulabilmesi ve içerisindeki ekipmanların belirlenebilmesi önem arz etmektedir. Bu hesaplamalar için bazı mühendislik kabulleri yapılmalıdır. Harmandalı DADT için iki

adet kabul yapılmıştır. Bunlar elektrik üretim tesisinin amortisman süresi ve depolama sahası içerisinde çekilebilecek gaz miktarlarıdır.

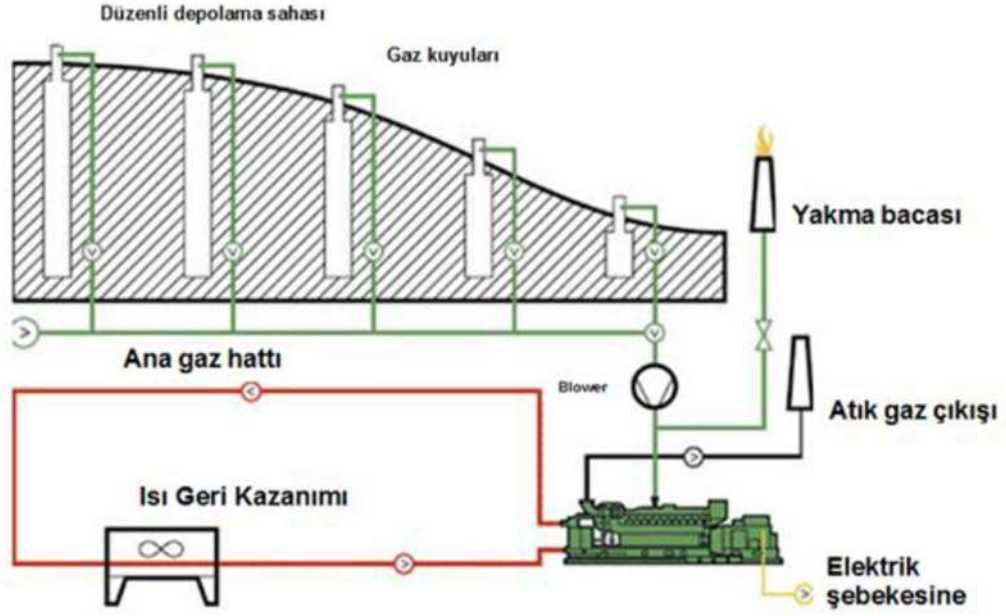
Elektrik üretim tesisinin amortisman süresi dört yıl, depolama sahası içerisinde çekilebilecek gaz miktarı ise %50 olarak kabul edilmiştir. Böylece kurulacak tesislerin kapasiteleri ve büyüklükleri belirlenmiştir.

### **3.2.2. Harmandalı Düzenli Atık Depolama Tesisi Elektrik Üretim Prosesi**

Sahada depolanan ve serme sıkıştırma işlemine tabi tutulan katı atıklar dört ay süre ile bekletilmektedir. Bekletilen atıklar metan ve diğer gazları üretmeye başladığında rigolleme işlemlerine başlanılmaktadır. Rigolleme işlemleri tamamlanan platformlardan gazların çekilebilmesi için ana gaz aktarma istasyonları kurulmaktadır. Bu istasyonların kurulmasına müteakip sahadan buster ünitesi yardımı ile gaz çekilip elektrik üretim alanına iletilmektedir.

Öte yandan gazların iletimi aşamasında bazı problemlerle karşılaşılmaktadır. Bunlardan en önemlisi deponi gazların ekzotermik tepkimeler sonucunda oluşmasında kaynaklı olan sıcaklık faktörüdür. Bunun için gazların soğutulması hem elektrik üretimini hem de gaz jeneratörlerinin atık ısı akışını kolaylaştırması için elzemdir. Bu nedenle buster ünitesi ile çekilen gazlar chiller ünitesinden geçirilmektedir. Belirli dereceye ve yoğunluğa getirilen gazlar ise elektrik çevrimde kullanılabilmesi için elimine yöntemine kullanılmaktadır.

Harmandalı DADT’de yıkama ve filtreleme metotları ile metan gazı sistemde kalacak şekilde elimine edilmektedir. Elimine edilen metan gazı gaz motorlarına iletilmektedir. 1,47 MWh üretim kapasitesine sahip gaz motorları haznesinde metan gazını sıkıştırarak bujilerin yardımı ile yakılmaktadır. Bu yakma neticesinde 1500 d/dk dönen alternatörler sayesinde 400 V’luk elektrik enerjisi üretilmektedir. Yükseltici transformatörler sayesinde 400 V’luk enerji 34,5 kV’a yükseltilerek enterkonnekte hatta iletilmektedir. Şekil 3.20’de Harmandalı DADT’nin prosesi verilmektedir.



**Şekil 3.20.** Harmandalı DADT'nin genel prosesi

Depo gazından (LFG – landfill gases) yararlanma şekilleri; biyooksidasyonu, bacada yakma, ticari CO<sub>2</sub> üretimi, içten yanmalı motorlar, gaz türbinleri, ORC (organik rankin döngüsü - organic rankine cycle) motorları, buhar sistemleri, yakıt hücreleri, metanol üretimi, sızıntı suyu buharlaştırılması, doğrudan kullanım ve CNG (compressed natural gas) dönüştürme şeklinde sıralanabilir [52-54]. Bunlardan en yaygın olanı gaz motorlarında elektrik elde edilmesidir ve üç ana aşamadan oluşur [55]. Bunlar; gaz toplama ve şartlandırma grubu, gaz jeneratör grubu ve elektrik üretim ve dağıtım sistemidir [56]. Gaz toplama ve şartlandırma grubunda; gaz iletim hatları, sızıntı suyu boşaltma sistemi, yoğunlaşan su tahliye sistemi ve gaz toplama istasyonu (manifold) bulunmaktadır. Gaz jeneratör grubunda; gaz motoru, jeneratör, kontrol sistemi ve motor şalteri bulunmaktadır. Elektrik üretim ve dağıtım sisteminde; yükseltici trafo, OG (orta gerilim) anahtarlama sistemi ve OG enerji nakli yer almaktadır [57-60]. Harmandalı DADT'de gaz motorları ile elektrik enerjisi üretimi prosesi kullanılarak, deponi gazından yararlanılmaktadır.

Gaz jeneratörleri müşteri taleplerine göre farklı tasarım ve özelliklerde üretilmektedir. Şekil 3.21'de gösterilen gaz jeneratörleri konteyner tip gaz jeneratörleridir [61-62]. Bu tip jeneratörlerin avantajları güçlü soğutma sistemlerinin bulunması, uzaktan kontrol avantajı, korunaklı olması ve kojeneratif sistemlere

uyumlu olmalarıdır. Dezavantajları ise yüksek gürültü, küçük bir problemde ani duruş vermeleridir [63].

Harmandalı DADT bünyesinde 22 adet konteyner tipi gaz jeneratörü, 22 adet yükseltici transformatör, iki adet buster ünitesi, iki adet chiller ünitesi, bir adet flare ünitesi, bir adet uzaktan kontrol binası ve bir adet idari ofis bulunmaktadır. Herhangi bir acil durumda (deprem, sel, heyelan vb. durumlar) gaz jeneratörlerinin elektrik enerjisi üretimi durmaktadır. Bu duruş ile birlikte çöp depolama sahasında metan gazı üretimi durmamaktadır. Bu nedenle CO<sub>2</sub>'den 21 kat daha fazla sera gazı etkisine sahip metan gazı açıkta yakılarak bertaraf edilmektedir. Bu bertaraf flare ünitesi ile gerçekleştirilmektedir. Genel anlamda Harmandalı DADT'nin elektrik enerjisi üretim alanı Şekil 3.21'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.21.** Harmandalı DADT elektrik üretim alanı

Harmandalı DADT'de gaz jeneratörlerinden elektrik enerjisi üretim sisteminin kurulması projelendirilmiştir. Bu projede kurulu güç ve balon hacmi hesaplaması LandGEM modeli ile belirlenen metan ve deponi gazı miktarına göre hesaplanmıştır.

Haziran 2021 ayı ile birlikte her biri 1,47 MWe üretim kapasitesine sahip 22 adet gaz jeneratörünün kurulumu tamamlanmış olup elektrik üretimine 32,34 MW/h'lik kapasite ile kesintisiz devam edilmektedir. Harmandalı DADT günde 776,16 MWe'lik elektrik enerjisi üretmektedir. Bu da yaklaşık 190.000 hanenin elektrik ihtiyacını karşılamaktadır. Ayrıca Tesis kendi kulvarlarında Türkiye'nin ikinci en büyük deponi gazından elektrik enerjisi üretimi tesisidir.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Çoklu Regresyon Yöntemi ile Elektrik Üretimi Verim Analizi

#### 4.1.1. Çoklu Regresyon Analizi ile Verim Analizi

Çoklu regresyon, bir iş veya işleyişin (verimlilik, modelleme vs.) bir bağımlı değişken ve ikiden fazla bağımsız değişken ile birlikte, ölçümlerden, deneysel sonuçlardan veya gözlemlerle elde edilen verilerin bir istatistiksel işlem bütünü ile korelasyona uğratılmasıdır. Çoklu regresyon analizinin amacı, bağımsız değişkenlerin olguya etkilerinin bütünsel veya tekli olacak şekilde irdelenmesi sağlamaktır [64]. Bu amaç doğrultusunda olguya etki eden bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni ne derece etkiledikleri önem kazanmaktadır. Doğru sonuca ulaşmak için anlamsız veriler değerlendirme dışı bırakılmaktadır. Böylece anlamlı veriler üzerinde korelasyon gerçekleştirilmektedir.

Yaklaşım modeli ile bir öncekinin ortalamasının kendisinden çıkartılması şekilde devam edilen ve bir korelasyon işleminin yapıldığı analizler regresyon analizi şeklinde adlandırılmaktadırlar. Regresyon analizi ile bağımlı değişkenin bağımsız değişkenler karşısında nasıl değiştiği anlaşılırken çoklu girdisi olan problemlerin ise istatistiksel çözümlerinin sağlanması kolaylaşmaktadır. Excelde gerçekleştirilebilen bu analizde, çoklu R kısmının bire yakın olması olasılığı arttırılmış olmaktadır. Bağımlı ve bağımsız değişkenlerin bir birleri ile olan durumları ise aralarında bulunan fark ile anlaşılabilir [65].

Bu tezde, çoklu regresyon yöntemi, elektrik enerjisi üretim tesisinin elektrik üretim verimliliğini tespit etmek amacıyla kullanılmıştır. Regresyon analizi, Microsoft Office programlarından biri olan excel programında gerçekleştirilmiştir. Excel programına uzantı eklenerek veri sekmesi çağırılmaktadır. Veri sekmesi içerisindeki Regresyon bloğu regresyon işlemini gerçekleştirmektedir. Girilen bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni ne derece etkilediği elde edilen sonuçlar ile anlaşılmaktadır. Analizde çoklu R kısmı etkiye oranını yani bu tezde verimi belirtmektedir.

Bu tez kapsamında Harmandalı DADT'nin elektrik üretim verimliliği incelenmiştir. Veri analizlerinde herhangi bir hata ile karşılaşmamak için elde edilen verilerin ve değerlendirmeleri tek tek gözden geçirilmiştir. Bu gözlemlerden biri olan

elektrik enerjisi üretimi veriminin yıllık olarak analizi yapıldığında hatalı sonuçlar elde edildiği tespit edilmiştir. Harmandalı DADT'nin elektrik enerjisi üretim verimliliği hesaplanmasında bir hata ile karşılaşmamak için veriler yıllık değil aylık olarak değerlendirilmiştir. Yıllık gerçekleştirilen verim analizlerinde tesisin elektrik üretim verimliliğinin belli dönemlerde maksimum olduğu belirlenmiştir. Ancak verimin maksimum olduğu günlerde gaz jeneratörlerinin duruş yaptığı, gaz verimliliğinin düşük olduğu ve rigollemenin yavaş olduğu tespit edilmiştir. Böylece veri analizinin hatalı olduğu değerlendirilmiştir. Aylık gerçekleştirilen verimlilik analizlerinde ise verimliliği etkileyen parametrelerin değişimlerinin anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle analizler ay ay değerlendirilmiştir.

#### 4.1.2. Harmandalı Düzenli Atık Depolama Tesisi Verileri

Çöp depolama sahalarının elektrik üretimi genellikle gaz jeneratörleri ile gerçekleştirilmektedir. Depolama sahalarındaki metan gazı kalitesi elektrik üretimi için kritik parametrelerdendir. Günlük gerçekleştirilen gaz analizlerinde, metan gazı kalitesinin %55-%60 arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu değer gaz jeneratörleri için en uygun değerdir. Geçmiş yıllarda gerçekleştirilen gaz ölçümleri kontrol edildiğinde metan gazı kalitesinin yaklaşık bu değerler arasında olduğu görülmüştür. Bundan dolayı verimlilik hesabı gerçekleştirilirken metan gazı kalitesi parametresi kullanılmamıştır.

Harmandalı DADT' nin kurulu gücünün hesaplanması aşağıda verilmiştir:

$$\begin{aligned} \text{Kurulu güç} &= \text{metan gazı miktarı} \times \text{metan gazı ısı değeri} \\ &\times \text{gaz jeneratörlerinin çevrim faktörü} \end{aligned} \quad (4.1)$$

Bu projede gerçekleştirilen çalışmalar ve hesaplamalar neticesinde tesisin kurulu gücü 39,69 MWe olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplama neticesinde 1,47 MWe üretim kapasitesine sahip 27 adet gaz jeneratörünün kullanılması gerektiği belirlenmiştir ( $27 \times 1,47 = 39,69 \text{ MW}$ ).

Harmandalı DADT'de kullanılan balon hacmi aşağıdaki eşitlikle bulunur:

*Balon hacmi*

$$= \text{gaz jeneratörünün saatlik bertaraf ettiği gaz miktarı} \quad (4.2) \\ \times \text{gaz jeneratörü sayısı}$$

Her bir gaz jeneratörünün bertaraf ettiği metan gazı miktarı yaklaşık 650-750 m<sup>3</sup> civarındadır. Bu doğrultuda gaz jeneratörlerinin yaklaşık bir saat boyunca aktif çalışabilmesi için gereken metan gazı miktarı  $700 \times 27 = 18.900,00 \text{ m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Bu hesap neticesinde balonun hacmi 20.000 m<sup>3</sup> civarında olması gerektiği değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler neticesinde 20.000 m<sup>3</sup>'lük gaz bolunu ve 27 adet gaz jeneratörü Harmandalı DADT'ye kurulmuştur.

Harmandalı DADT'nin deneme üretimi sırasında, sistemin kararlı hale gelmesi, eksik noktalar, bakım ve acil müdahale senaryoları oluşturulmuştur. Bunun nedeni elektrik üretimindeki aksaklıklarını en aza indirilmesidir. Planlanan üretim miktarının, üretimden bir gün önce Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi'ne (EPIAŞ) bildirilmesi zorunludur. Böylece üretilecek elektrik enerjisi miktarı devlete karşı taahhüt edilmiş olur. Herhangi bir nedenle taahhüt edilen miktarda elektrik enerjisi üretimi yapılamadığı takdirde tesis, sözleşme gereği cezai işleme tabii tutulur. Bu cezai işleme tabi tutulmamak ve CO<sub>2</sub>'ten 21 kat daha fazla sera etkisine sahip CH<sub>4</sub> (metan) gazının atmosfere salınımının engellenmesi için verimlilik analizleri ile tesisin sürdürülebilirliğinin sağlanması önem arz etmektedir.

Her elektrik üretim tesisinde olduğu gibi Harmandalı DADT elektrik üretiminde problemlerle karşılaşmaktadır. Elektrik üretiminde karşılaşılan bu problemler elektrik üretiminin verimliliğini düşürmektedir. Verimliliği düşüren problemler ise üç başlık altında sıralanmaktadır. Bunlar; personel nedenli problemler, çöp depolama sahası nedenli problemler ve bakım-arıza süreleri nedenli problemlerdir. Personel nedenli problemlere; uzun olan çalışma süreleri, maruz kalınan deponi gaz neticesinde personelin sık hastalanması ve konusunda yeterli personel bulunamaması örnek olarak verilebilmektedir. Çöp sızıntı sularının metan gazı kararlılığını bozması, yanlış yükleme programları, kapatmaların geç kalması, plansızlık vb. gibi nedenler çöp depolama sahası nedenli problemlerdir. Bakımı yapacak teknik personel yetersizliği, yurtdışı menşeli ürünlere müdahalenin yapılamaması, yapılsa bile uzun sürmesi,

gerekli ekip, ekipman ve yedek parçanın yurtdışından gelmesi gibi problemler ise bakım ve arıza nedenli problemlere örneklerdir.

Yukarıda bahsi geçen tüm bu problemlere rağmen YEK'lerin en verimli şekilde kullanılması, atığın bertaraf edilmesi ve elektrik enerjisi üretiminin devamlılığı hususları gelişen teknolojinin ve mühendislik birikiminin bir sonucudur. Gerçekleştirilen çalışmalar ve gözlemlerde yapılan birkaç değişikliğin, elektrik üretimini çok azda olsa arttırdığı tespit edilmiştir. Personel kaynaklı verim düşüklüğünde, personel çalışma sürelerinin bir günde altı saati geçmeyecek şekilde dört ayrı postaya ayrıldığında hem çalışma süreleri düzelmiş hem de personelin maruz kaldığı deponi gazı miktarı azalmıştır. Böylece personellerin sık hasta olmalarının önüne geçilmiş ve proses sürdürülebilir hale gelmiştir. Çöp depolama alanından kaynaklı nedenlerin çözümüne çöp depolama platformlarının tek tek haritalanması ve çöp yükleme planlarının oluşturulması gerektiği değerlendirilmiştir. Bu planlar ile çöp depolama bir düzen ile sağlanmıştır. Çöp depolamanın yedi metreyi geçmeyecek şekilde yapılması ile iş makinalarının tek seferde rigol hatlarını açmasıyla sağlanmaktadır. Bu zamandan ve işçilikten tasarrufu netice vermiştir. Ayrıca çöp kapama süreleri dolum planları ile belirlenmiştir. Daha fazla verim sağlanabilmesi için çöp kapamalarının platforma serme sıkıştırma işlemi uygulandıktan sonra dört ile yedi saat içerisinde gerçekleştirilerek verimi artışı sağlanmıştır. Kapatmaların optimum şekilde sağlanan platformlarda metan gazı miktarının %8 daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bu fazlalık bağımlı değişken olan elektrik enerjisi üretimine yansımıştır.

Aynı zamanda elektrik üretim verilerinin takibinin gerçekleştirilmesi ileride kurulacak tesislere ışık olacaktır. Bu nedenle Harmandalı DADT'de mühendisler EPİAŞ şeffaflık platformu ile elektrik üretim, elektrik piyasaları, elektrik tüketim, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması (YEKDEM), elektrik iletim vb. verilerini takip etmektedir. Harmandalı DADT'nin bir günlük elektrik üretim verisi aşağıdaki Şekil 4.1'de sunulmuştur.

| EXIST ŞEFFAFLIK PLATFORMU                                                                                                                                                                                                                                                                    |       |              |           |        |        |           |             |          |           |         |       |           |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------|-----------|--------|--------|-----------|-------------|----------|-----------|---------|-------|-----------|--|
| <b>PLATFORM HAKKINDA</b><br><b>KESİNLEŞMEMİŞ PTF</b><br><b>ELEKTRİK PIYASALARI</b><br><b>ELEKTRİK ÜRETİM</b><br><b>Planlama</b><br><b>KGÜP</b><br><b>KUDÜP</b><br><b>EAK</b><br><b>Gerçekleşen Üretim</b><br><b>Lisanslı Santral Yatırımları</b><br><b>ELEKTRİK TÜKETİM</b><br><b>YEKDEM</b> |       |              |           |        |        |           |             |          |           |         |       |           |  |
| <b>Kesinleşmiş Günlük Üretim Planı (KGÜP)</b><br>Veri Kaynağı: TEİAŞ                                                                                                                                                                                                                         |       |              |           |        |        |           |             |          |           |         |       |           |  |
| Baslangıç Tarihi: 10.01.2022    Bitiş Tarihi: 11.01.2022    Organizasyon Adı: İZMİR NOVTEK ENERJİ EL    UEVCS Adı: TÖMÜ    Bölge: TÖMÜ    Uygula                                                                                                                                             |       |              |           |        |        |           |             |          |           |         |       |           |  |
| Tarih                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Saat  | Toplam (MWh) | Doğal Gaz | Rüzgar | Linyit | Taş Kömür | İthal Kömür | Fuel Oil | Jeotermal | Barajlı | Nafta | Biyokütle |  |
| 10.01.2022                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 00:00 | 25.50        | 0.00      | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00        | 0.00     | 0.00      | 0.00    | 0.00  | 25.50     |  |
| 10.01.2022                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 01:00 | 25.50        | 0.00      | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00        | 0.00     | 0.00      | 0.00    | 0.00  | 25.50     |  |
| 10.01.2022                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 02:00 | 25.50        | 0.00      | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00        | 0.00     | 0.00      | 0.00    | 0.00  | 25.50     |  |
| 10.01.2022                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 03:00 | 25.50        | 0.00      | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00        | 0.00     | 0.00      | 0.00    | 0.00  | 25.50     |  |
| 10.01.2022                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 04:00 | 25.50        | 0.00      | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00        | 0.00     | 0.00      | 0.00    | 0.00  | 25.50     |  |
| 10.01.2022                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 05:00 | 25.50        | 0.00      | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00        | 0.00     | 0.00      | 0.00    | 0.00  | 25.50     |  |
| 10.01.2022                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 06:00 | 25.50        | 0.00      | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00        | 0.00     | 0.00      | 0.00    | 0.00  | 25.50     |  |
| 10.01.2022                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 07:00 | 25.50        | 0.00      | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00        | 0.00     | 0.00      | 0.00    | 0.00  | 25.50     |  |
| 10.01.2022                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 08:00 | 25.50        | 0.00      | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00        | 0.00     | 0.00      | 0.00    | 0.00  | 25.50     |  |
| 10.01.2022                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 09:00 | 25.50        | 0.00      | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00        | 0.00     | 0.00      | 0.00    | 0.00  | 25.50     |  |
| 10.01.2022                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 10:00 | 25.50        | 0.00      | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00        | 0.00     | 0.00      | 0.00    | 0.00  | 25.50     |  |
| 10.01.2022                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 11:00 | 25.50        | 0.00      | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00        | 0.00     | 0.00      | 0.00    | 0.00  | 25.50     |  |
| 10.01.2022                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 12:00 | 25.50        | 0.00      | 0.00   | 0.00   | 0.00      | 0.00        | 0.00     | 0.00      | 0.00    | 0.00  | 25.50     |  |

**Şekil 4.1.** EPIAŞ şeffaflık platformu Harmandalı DADT elektrik üretim verisi

Ayrıca, İzmir ili atık verileri ile bu tez kapsamında hazırlanan çalışmalarda 2022 yılı itibari ile KABT'lere gelen katı atıkların İzmir ili nüfusuna oranlandığında kişi başına düşen atık miktarı 1,27 kg/gün olarak hesaplanmıştır. Hazırlanan 50 yıllık nüfus projeksiyonlarında geometrik yöntem ile hesaplandığında 2072 yılında kişi başına düşen atık miktarının 2,16 kg/gün olacağı ön görülmüştür. Sonrasında Harmandalı DADT nezdinde yapılan çalışmada 1 ton çöpün yaklaşık 50-240 m<sup>3</sup> arasında metan gazı oluşturduğu tespit edilmiştir. 1 m<sup>3</sup> metan gazından yaklaşık 2 kW elektrik enerjisi ürettiği belirlenmiştir.

#### 4.2. Verimlilik Analizi

Harmandalı DADT'de elde edilen elektrik enerjisi üretimi 2020 yılından bu yana gerçekleştirildiği için elektrik enerjisi üretim veri analizi 2020 ve 2021 yılları için aylık olarak yapılmıştır. 2021 yılı sonu ve 2022 yılı itibariyle tesiste meydana gelen çatlak, kabarma ve heyelanlar nedeni ile rigol hatları zarar görmüş, kopmuş ve kullanılamaz hale gelmiştir. Tüm bunlar göz önüne alındığında 2022 yılı içerisinde üretilen elektrik enerjisi miktarı, tesise getirilen çöp miktarı karşısında tutarsız olduğu gözlemlenmiştir. Bu tutarsızlık neticesinde tezin doğruluğu açısından, 2022 yılında üretilen elektrik enerjisi miktarı hesaplama alınmamıştır.

Literatürde gerçekleştirilen çalışmalarda DADT'lerin verimlilikleri en fazla %35-%40 aralığında olmaktadır [66] denilmektedir. Bu bağlamda Harmandalı DADT 2020-2021 yıllarına ait çoklu regresyon yöntemi ile aylık gerçekleştirilen elektrik enerjisi üretim verimlilikleri Tablo 4.1–4.24 arasında verilmiştir.

**Tablo 4.1. 2020 Ocak ayına ait regresyon analizi**

| <i>Regresyon İstatistikleri</i> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,312570007       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,097700009       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | -0,002555545      |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 31324,76878       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 31                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>df</i>         | <i>SS</i>            | <i>MS</i>     | <i>F</i>        | <i>Anlamlılık F</i> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 2868686988           | 956228995,9   | 0,974509688     | 0,419236483         |                   |                    |                     |
| Fark                            | 27                | 26493510754          | 981241139     |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 30                | 29362197742          |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>Katsayılar</i> | <i>Standart Hata</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-değeri</i> | <i>Düşük %95</i>    | <i>Yüksek %95</i> | <i>Düşük 95,0%</i> | <i>Yüksek 95,0%</i> |
| Kesişim                         | 1092760,567       | 688994,956           | 1,586021142   | 0,124378333     | -320940,3098        | 2506461,443       | -320940,3098       | 2506461,443         |
| X Değişkeni 1                   | -158,230938       | 154,0198535          | -1,02734118   | 0,313376105     | -474,2535735        | 157,7916975       | -474,2535735       | 157,7916975         |
| X Değişkeni 2                   | 110,0714704       | 444,4699437          | 0,2476466     | 0,806281482     | -801,9055237        | 1022,048464       | -801,9055237       | 1022,048464         |
| X Değişkeni 3                   | -739,1015075      | 784,3953441          | -0,942256367  | 0,354416587     | -2348,547811        | 870,3447964       | -2348,547811       | 870,3447964         |

**Tablo 4.2. 2020 Şubat ayına ait regresyon analizi**

| <i>Regresyon İstatistikleri</i> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,495886619       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,245903539       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | 0,155411964       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 8570,334684       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 29                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>df</i>         | <i>SS</i>            | <i>MS</i>     | <i>F</i>        | <i>Anlamlılık F</i> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 598788498,8          | 199596166,3   | 2,717419147     | 0,066041814         |                   |                    |                     |
| Fark                            | 25                | 1836265915           | 73450636,6    |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 28                | 2435054414           |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>Katsayılar</i> | <i>Standart Hata</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-değeri</i> | <i>Düşük %95</i>    | <i>Yüksek %95</i> | <i>Düşük 95,0%</i> | <i>Yüksek 95,0%</i> |
| Kesişim                         | 154874,8849       | 164003,4911          | 0,944338952   | 0,354034323     | -182896,6278        | 492646,3976       | -182896,6278       | 492646,3976         |
| X Değişkeni 1                   | 55,42125581       | 36,78183287          | 1,50675623    | 0,144406028     | -20,33234702        | 131,1748586       | -20,33234702       | 131,1748586         |
| X Değişkeni 2                   | -73,23162024      | 120,1966771          | -0,609264932  | 0,547846322     | -320,7813106        | 174,3180701       | -320,7813106       | 174,3180701         |
| X Değişkeni 3                   | -610,808172       | 247,1967557          | -2,470939274  | 0,020644002     | -1119,91942         | -101,6969236      | -1119,91942        | -101,6969236        |

**Tablo 4.3. 2020 Mart ayına ait regresyon analizi**

| <i>Regresyon İstatistikleri</i> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,138577314       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,019203672       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | -0,089773698      |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 1956,267894       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 31                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>df</i>         | <i>SS</i>            | <i>MS</i>     | <i>F</i>        | <i>Anlamlılık F</i> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 2023139,668          | 674379,8893   | 0,176217062     | 0,911567146         |                   |                    |                     |
| Fark                            | 27                | 103328570            | 3826984,074   |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 30                | 105351709,7          |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>Katsayılar</i> | <i>Standart Hata</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-değeri</i> | <i>Düşük %95</i>    | <i>Yüksek %95</i> | <i>Düşük 95,0%</i> | <i>Yüksek 95,0%</i> |
| Kesişim                         | 352293,7797       | 40628,9232           | 8,671009516   | 2,75573E-09     | 268930,1153         | 435657,4442       | 268930,1153        | 435657,4442         |
| X Değişkeni 1                   | 2,746581001       | 9,188986319          | 0,298899237   | 0,767305476     | -16,10766154        | 21,60082355       | -16,10766154       | 21,60082355         |
| X Değişkeni 2                   | -8,257902636      | 32,00438956          | -0,258024063  | 0,798344952     | -73,92548579        | 57,40968052       | -73,92548579       | 57,40968052         |
| X Değişkeni 3                   | 21,45504738       | 54,9642371           | 0,390345587   | 0,699343735     | -91,32225162        | 134,2323464       | -91,32225162       | 134,2323464         |

**Tablo 4.4. 2020 Nisan ayına ait regresyon analizi**

| <i>Regresyon İstatistikleri</i> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,346059384       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,119757097       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | 0,018190608       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 11676,13899       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 30                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>df</i>         | <i>SS</i>            | <i>MS</i>     | <i>F</i>        | <i>Anlamlılık F</i> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 482248169,9          | 160749390     | 1,179100493     | 0,336853207         |                   |                    |                     |
| Fark                            | 26                | 3544637767           | 136332221,8   |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 29                | 4026885937           |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>Katsayılar</i> | <i>Standart Hata</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-değeri</i> | <i>Düşük %95</i>    | <i>Yüksek %95</i> | <i>Düşük 95,0%</i> | <i>Yüksek 95,0%</i> |
| Kesişim                         | 136673,1113       | 233725,0171          | 0,584760301   | 0,563749465     | -343755,5419        | 617101,7644       | -343755,5419       | 617101,7644         |
| X Değişkeni 1                   | 50,40288806       | 52,9081214           | 0,952649361   | 0,349540942     | -58,35131301        | 159,1570891       | -58,35131301       | 159,1570891         |
| X Değişkeni 2                   | -281,6590348      | 168,692332           | -1,66966116   | 0,106984556     | -628,4110894        | 65,09301983       | -628,4110894       | 65,09301983         |
| X Değişkeni 3                   | 114,6515793       | 305,2628529          | 0,375583135   | 0,710273714     | -512,8252014        | 742,1283599       | -512,8252014       | 742,1283599         |

**Tablo 4.5. 2020 Mayıs ayına ait regresyon analizi**

| <i>Regresyon İstatistikleri</i> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,185012642       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,034229678       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | -0,073078136      |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 10838,42041       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 31                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>df</i>         | <i>SS</i>            | <i>MS</i>     | <i>F</i>        | <i>Anlamlılık F</i> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 112415113,4          | 37471704      | 0,318985882     | 0,811536642         |                   |                    |                     |
| Fark                            | 27                | 3171726641           | 1,17E+08      |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 30                | 3284141755           |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>Katsayılar</i> | <i>Standart Hata</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-değeri</i> | <i>Düşük %95</i>    | <i>Yüksek %95</i> | <i>Düşük 95,0%</i> | <i>Yüksek 95,0%</i> |
| Kesişim                         | 430533,0247       | 57881,62332          | 7,438164      | 5,31054E-08     | 311769,7436         | 549296,3058       | 311769,7436        | 549296,3058         |
| X Değişkeni 1                   | -10,32638093      | 12,97463612          | -0,79589      | 0,433038193     | -36,94813527        | 16,29537341       | -36,94813527       | 16,29537341         |
| X Değişkeni 2                   | -52,52322076      | 138,3349258          | -0,37968      | 0,707151906     | -336,3630431        | 231,3166015       | -336,3630431       | 231,3166015         |
| X Değişkeni 3                   | -145,6919376      | 293,419323           | -0,49653      | 0,623538038     | -747,7386587        | 456,3547835       | -747,7386587       | 456,3547835         |

**Tablo 4.6. 2020 Haziran ayına ait regresyon analizi**

| <b>Regresyon İstatistikleri</b> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,191806763       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,036789834       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | -0,0743498        |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 20376,21976       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 30                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <b>df</b>         | <b>SS</b>            | <b>MS</b>     | <b>F</b>        | <b>Anlamlılık F</b> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 412313308,5          | 137437769,5   | 0,331023531     | 0,802954554         |                   |                    |                     |
| Fark                            | 26                | 10794948628          | 415190331,9   |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 29                | 11207261937          |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <b>Katsayılar</b> | <b>Standart Hata</b> | <b>t Stat</b> | <b>P-değeri</b> | <b>Düşük %95</b>    | <b>Yüksek %95</b> | <b>Düşük 95,0%</b> | <b>Yüksek 95,0%</b> |
| Kesişim                         | 277779,4598       | 109109,9013          | 2,545868491   | 0,017171599     | 53500,84559         | 502058,0741       | 53500,84559        | 502058,0741         |
| X Değişkeni 1                   | 23,00281757       | 24,71573106          | 0,930695415   | 0,360572862     | -27,80109522        | 73,80673036       | -27,80109522       | 73,80673036         |
| X Değişkeni 2                   | 98,96981758       | 333,1169601          | 0,297102308   | 0,768749146     | -585,7619003        | 783,7015355       | -585,7619003       | 783,7015355         |
| X Değişkeni 3                   | -124,7543645      | 480,9607448          | -0,259385752  | 0,797380422     | -1113,383334        | 863,8746053       | -1113,383334       | 863,8746053         |

**Tablo 4.7. 2020 Temmuz ayına ait regresyon analizi**

| <b>Regresyon İstatistikleri</b> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,322210677       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,10381972        |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | 0,004244134       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 52378,52588       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 31                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <b>df</b>         | <b>SS</b>            | <b>MS</b>     | <b>F</b>        | <b>Anlamlılık F</b> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 8581333484           | 2860444495    | 1,042622233     | 0,389618146         |                   |                    |                     |
| Fark                            | 27                | 74074769284          | 2743509973    |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 30                | 82656102768          |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <b>Katsayılar</b> | <b>Standart Hata</b> | <b>t Stat</b> | <b>P-değeri</b> | <b>Düşük %95</b>    | <b>Yüksek %95</b> | <b>Düşük 95,0%</b> | <b>Yüksek 95,0%</b> |
| Kesişim                         | 171690,8769       | 261970,8365          | 0,655381642   | 0,517767723     | -365828,8799        | 709210,6338       | -365828,8799       | 709210,6338         |
| X Değişkeni 1                   | 30,68600402       | 63,23575155          | 0,48526353    | 0,631403754     | -99,06304074        | 160,4350488       | -99,06304074       | 160,4350488         |
| X Değişkeni 2                   | 230,688911        | 725,488237           | 0,317977466   | 0,752948397     | -1257,889993        | 1719,267815       | -1257,889993       | 1719,267815         |
| X Değişkeni 3                   | 1923,421377       | 1242,238843          | 1,548350696   | 0,133180757     | -625,4421904        | 4472,284945       | -625,4421904       | 4472,284945         |

**Tablo 4.8. 2020 Ağustos ayına ait regresyon analizi**

| <b>Regresyon İstatistikleri</b> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,405790174       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,164665665       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | 0,071850739       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 48112,49062       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 31                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <b>df</b>         | <b>SS</b>            | <b>MS</b>     | <b>F</b>        | <b>Anlamlılık F</b> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 12320324985          | 4106774995    | 1,774129144     | 0,175855712         |                   |                    |                     |
| Fark                            | 27                | 62499917357          | 2314811754    |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 30                | 74820242342          |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <b>Katsayılar</b> | <b>Standart Hata</b> | <b>t Stat</b> | <b>P-değeri</b> | <b>Düşük %95</b>    | <b>Yüksek %95</b> | <b>Düşük 95,0%</b> | <b>Yüksek 95,0%</b> |
| Kesişim                         | 1064927,575       | 308647,0451          | 3,45030867    | 0,00185567      | 431636,1495         | 1698219,001       | 431636,1495        | 1698219,001         |
| X Değişkeni 1                   | -131,4968988      | 64,46201722          | -2,039912874  | 0,05125272      | -263,7620329        | 0,768235247       | -263,7620329       | 0,768235247         |
| X Değişkeni 2                   | -487,6604918      | 744,4033483          | -0,655102496  | 0,517944664     | -2015,049998        | 1039,729015       | -2015,049998       | 1039,729015         |
| X Değişkeni 3                   | -2078,253562      | 1433,576439          | -1,449698464  | 0,158659917     | -5019,709448        | 863,2023239       | -5019,709448       | 863,2023239         |

**Tablo 4.9. 2020 Eylül ayına ait regresyon analizi**

| <i>Regresyon İstatistikleri</i> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,210250395       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,044205228       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | -0,066078784      |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 50205,29689       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 30                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>df</i>         | <i>SS</i>            | <i>MS</i>     | <i>F</i>        | <i>Anlamlılık F</i> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 3030968451           | 1010322817    | 0,400830797     | 0,753560995         |                   |                    |                     |
| Fark                            | 26                | 65534867736          | 2520571836    |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 29                | 68565836187          |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>Katsayılar</i> | <i>Standart Hata</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-değeri</i> | <i>Düşük %95</i>    | <i>Yüksek %95</i> | <i>Düşük 95,0%</i> | <i>Yüksek 95,0%</i> |
| Kesişim                         | 152935,7228       | 260620,2558          | 0,586814414   | 0,562389535     | -382776,8853        | 688648,3308       | -382776,8853       | 688648,3308         |
| X Değişkeni 1                   | 30,73043347       | 59,6315876           | 0,515338174   | 0,610670941     | -91,84405031        | 153,3049172       | -91,84405031       | 153,3049172         |
| X Değişkeni 2                   | 505,4008333       | 704,100654           | 0,717796284   | 0,479283304     | -941,8987889        | 1952,700455       | -941,8987889       | 1952,700455         |
| X Değişkeni 3                   | 861,665187        | 1288,412797          | 0,66878037    | 0,509530501     | -1786,705246        | 3510,03562        | -1786,705246       | 3510,03562          |

**Tablo 4.10. 2020 Ekim ayına ait regresyon analizi**

| <i>Regresyon İstatistikleri</i> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,447267156       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,200047909       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | 0,111164343       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 37164,33301       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 31                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>df</i>         | <i>SS</i>            | <i>MS</i>     | <i>F</i>        | <i>Anlamlılık F</i> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 9325808373           | 3108602791    | 2,250673755     | 0,105254517         |                   |                    |                     |
| Fark                            | 27                | 37292066498          | 1381187648    |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 30                | 46617874871          |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>Katsayılar</i> | <i>Standart Hata</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-değeri</i> | <i>Düşük %95</i>    | <i>Yüksek %95</i> | <i>Düşük 95,0%</i> | <i>Yüksek 95,0%</i> |
| Kesişim                         | 745682,8871       | 197885,4823          | 3,768254641   | 0,000814375     | 339655,4158         | 1151710,358       | 339655,4158        | 1151710,358         |
| X Değişkeni 1                   | -70,40793721      | 43,82473485          | -1,606579879  | 0,1197801       | -160,3288656        | 19,51299113       | -160,3288656       | 19,51299113         |
| X Değişkeni 2                   | -983,333645       | 499,3614107          | -1,969181726  | 0,05927365      | -2007,938346        | 41,27161665       | -2007,938346       | 41,27161665         |
| X Değişkeni 3                   | 1215,663894       | 900,9682277          | 1,349286086   | 0,188451918     | -632,9702101        | 3064,297998       | -632,9702101       | 3064,297998         |

**Tablo 4.11. 2020 Kasım ayına ait regresyon analizi**

| <i>Regresyon İstatistikleri</i> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,072488357       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,005254562       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | -0,109523758      |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 31376,4221        |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 30                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>df</i>         | <i>SS</i>            | <i>MS</i>     | <i>F</i>        | <i>Anlamlılık F</i> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 135208733,8          | 45069577,92   | 0,045780091     | 0,986698602         |                   |                    |                     |
| Fark                            | 26                | 25596476453          | 984479863,6   |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 29                | 25731685187          |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>Katsayılar</i> | <i>Standart Hata</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-değeri</i> | <i>Düşük %95</i>    | <i>Yüksek %95</i> | <i>Düşük 95,0%</i> | <i>Yüksek 95,0%</i> |
| Kesişim                         | 543566,472        | 158658,3565          | 3,426018547   | 0,002045908     | 217439,5495         | 869693,3945       | 217439,5495        | 869693,3945         |
| X Değişkeni 1                   | -7,187747403      | 34,19431785          | -0,210202977  | 0,835147849     | -77,47517439        | 63,09967958       | -77,47517439       | 63,09967958         |
| X Değişkeni 2                   | 18,1868068        | 430,4721784          | 0,042248507   | 0,966623377     | -866,6614285        | 903,0350421       | -866,6614285       | 903,0350421         |
| X Değişkeni 3                   | 252,5946047       | 877,4633391          | 0,287869126   | 0,775729152     | -1551,05712         | 2056,24633        | -1551,05712        | 2056,24633          |

**Tablo 4.12. 2020 Aralık ayına ait regresyon analizi**

| <i>Regresyon İstatistikleri</i> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,440327171       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,193888018       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | 0,10432002        |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 26273,71152       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 31                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>df</i>         | <i>SS</i>            | <i>MS</i>     | <i>F</i>        | <i>Anlamlılık F</i> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 4482932627           | 1494310876    | 2,164701922     | 0,11538793          |                   |                    |                     |
| Fark                            | 27                | 18638313767          | 690307917,3   |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 30                | 23121246394          |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>Katsayılar</i> | <i>Standart Hata</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-değeri</i> | <i>Düşük %95</i>    | <i>Yüksek %95</i> | <i>Düşük 95,0%</i> | <i>Yüksek 95,0%</i> |
| Kesişim                         | 860605,8257       | 153630,0955          | 5,601804926   | 6,07809E-06     | 545382,9075         | 1175828,744       | 545382,9075        | 1175828,744         |
| X Değişkeni 1                   | -92,11694186      | 37,50909425          | -2,455856205  | 0,020776044     | -169,0792461        | -15,15463763      | -169,0792461       | -15,15463763        |
| X Değişkeni 2                   | 304,4714032       | 420,1446511          | 0,724682326   | 0,474880648     | -557,5942133        | 1166,53702        | -557,5942133       | 1166,53702          |
| X Değişkeni 3                   | 656,3178492       | 637,2955693          | 1,029848442   | 0,312218883     | -651,3046478        | 1963,940346       | -651,3046478       | 1963,940346         |

**Tablo 4.13. 2021 Ocak ayına ait regresyon analizi**

| <i>Regresyon İstatistikleri</i> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,327635814       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,107345226       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | 0,008161363       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 24794,66025       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 31                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>df</i>         | <i>SS</i>            | <i>MS</i>     | <i>F</i>        | <i>Anlamlılık F</i> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 1996086201           | 665362066,9   | 1,082285187     | 0,373287387         |                   |                    |                     |
| Fark                            | 27                | 16598929773          | 614775176,8   |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 30                | 18595015974          |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>Katsayılar</i> | <i>Standart Hata</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-değeri</i> | <i>Düşük %95</i>    | <i>Yüksek %95</i> | <i>Düşük 95,0%</i> | <i>Yüksek 95,0%</i> |
| Kesişim                         | 708704,4358       | 178090,563           | 3,979460921   | 0,000467269     | 343292,784          | 1074116,088       | 343292,784         | 1074116,088         |
| X Değişkeni 1                   | -46,45066418      | 34,161766            | -1,359726666  | 0,185163968     | -116,5448182        | 23,6434898        | -116,5448182       | 23,6434898          |
| X Değişkeni 2                   | 18,44963893       | 407,1700566          | 0,045311876   | 0,964192197     | -816,9943086        | 853,8935864       | -816,9943086       | 853,8935864         |
| X Değişkeni 3                   | -837,580071       | 572,3789321          | -1,463331412  | 0,154922022     | -2012,004631        | 336,844489        | -2012,004631       | 336,844489          |

**Tablo 4.14. 2021 Şubat ayına ait regresyon analizi**

| <i>Regresyon İstatistikleri</i> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,292078354       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,085309765       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | -0,029026514      |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 37813,21631       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 28                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>df</i>         | <i>SS</i>            | <i>MS</i>     | <i>F</i>        | <i>Anlamlılık F</i> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 3200539434           | 1066846478    | 0,746130322     | 0,535191557         |                   |                    |                     |
| Fark                            | 24                | 34316143862          | 1429839328    |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 27                | 37516683296          |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>Katsayılar</i> | <i>Standart Hata</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-değeri</i> | <i>Düşük %95</i>    | <i>Yüksek %95</i> | <i>Düşük 95,0%</i> | <i>Yüksek 95,0%</i> |
| Kesişim                         | 648793,732        | 240174,2114          | 2,701346361   | 0,012468133     | 153098,5224         | 1144488,942       | 153098,5224        | 1144488,942         |
| X Değişkeni 1                   | -48,094183        | 52,23903228          | -0,920656086  | 0,366392148     | -155,9102466        | 59,72188058       | -155,9102466       | 59,72188058         |
| X Değişkeni 2                   | -497,1773875      | 565,1671393          | -0,879699744  | 0,387745738     | -1663,625033        | 669,2702583       | -1663,625033       | 669,2702583         |
| X Değişkeni 3                   | 1231,438785       | 1060,434898          | 1,16125826    | 0,256956871     | -957,1912757        | 3420,068845       | -957,1912757       | 3420,068845         |

**Tablo 4.15. 2021 Mart ayına ait regresyon analizi**

| <i>Regresyon İstatistikleri</i> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,115293999       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,013292706       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | -0,096341438      |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 30736,75085       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 31                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>df</i>         | <i>SS</i>            | <i>MS</i>     | <i>F</i>        | <i>Anlamlılık F</i> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 343640819            | 114546939,7   | 0,121246044     | 0,946792405         |                   |                    |                     |
| Fark                            | 27                | 25508192020          | 944747852,6   |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 30                | 25851832839          |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>Katsayılar</i> | <i>Standart Hata</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-değeri</i> | <i>Düşük %95</i>    | <i>Yüksek %95</i> | <i>Düşük 95,0%</i> | <i>Yüksek 95,0%</i> |
| Kesişim                         | 457656,215        | 198464,9433          | 2,305980127   | 0,029024041     | 50439,78795         | 864872,642        | 50439,78795        | 864872,642          |
| X Değişkeni 1                   | 0,989309691       | 42,50952893          | 0,023272657   | 0,98160393      | -86,233039          | 88,21165839       | -86,233039         | 88,21165839         |
| X Değişkeni 2                   | 130,5498515       | 409,8706905          | 0,318514728   | 0,752545363     | -710,435339         | 971,535042        | -710,435339        | 971,535042          |
| X Değişkeni 3                   | 496,540912        | 902,9360545          | 0,549918136   | 0,586896237     | -1356,130839        | 2349,212663       | -1356,130839       | 2349,212663         |

**Tablo 4.16. 2021 Nisan ayına ait regresyon analizi**

| <i>Regresyon İstatistikleri</i> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,173858725       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,030226856       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | -0,081670045      |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 23429,55647       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 30                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>df</i>         | <i>SS</i>            | <i>MS</i>     | <i>F</i>        | <i>Anlamlılık F</i> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 444860974,7          | 148286991,6   | 0,270131307     | 0,846334337         |                   |                    |                     |
| Fark                            | 26                | 14272547025          | 548944116,4   |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 29                | 14717408000          |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>Katsayılar</i> | <i>Standart Hata</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-değeri</i> | <i>Düşük %95</i>    | <i>Yüksek %95</i> | <i>Düşük 95,0%</i> | <i>Yüksek 95,0%</i> |
| Kesişim                         | 624260,6903       | 154077,2677          | 4,051607999   | 0,000408589     | 307550,3307         | 940971,0498       | 307550,3307        | 940971,0498         |
| X Değişkeni 1                   | -25,42903484      | 30,64953679          | -0,829671098  | 0,414277782     | -88,43005999        | 37,57199031       | -88,43005999       | 37,57199031         |
| X Değişkeni 2                   | -4,504893841      | 332,9809337          | -0,013528984  | 0,989309042     | -688,9570056        | 679,947218        | -688,9570056       | 679,947218          |
| X Değişkeni 3                   | 179,1728807       | 668,3491281          | 0,268082763   | 0,790751086     | -1194,638427        | 1552,984189       | -1194,638427       | 1552,984189         |

**Tablo 4.17. 2021 Mayıs ayına ait regresyon analizi**

| <i>Regresyon İstatistikleri</i> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,372472818       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,138736          |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | 0,04304           |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 36034,22782       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 31                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>df</i>         | <i>SS</i>            | <i>MS</i>     | <i>F</i>        | <i>Anlamlılık F</i> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 5647380862           | 1882460287    | 1,449757563     | 0,250328206         |                   |                    |                     |
| Fark                            | 27                | 35058570506          | 1298465574    |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 30                | 40705951368          |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>Katsayılar</i> | <i>Standart Hata</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-değeri</i> | <i>Düşük %95</i>    | <i>Yüksek %95</i> | <i>Düşük 95,0%</i> | <i>Yüksek 95,0%</i> |
| Kesişim                         | 203461,5519       | 205126,166           | 0,991884925   | 0,330060153     | -217422,5753        | 624345,6791       | -217422,5753       | 624345,6791         |
| X Değişkeni 1                   | 48,73626439       | 40,24132162          | 1,211099994   | 0,236351425     | -33,83210734        | 131,3046361       | -33,83210734       | 131,3046361         |
| X Değişkeni 2                   | 70,34693865       | 434,2356695          | 0,162001751   | 0,872510745     | -820,6310595        | 961,3249368       | -820,6310595       | 961,3249368         |
| X Değişkeni 3                   | 1639,87615        | 917,345498           | 1,787631981   | 0,08506628      | -242,361337         | 3522,113637       | -242,361337        | 3522,113637         |

**Tablo 4.18. 2021 Haziran ayına ait regresyon analizi**

| <i>Regresyon İstatistikleri</i> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,455302876       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,207300709       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | 0,115835406       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 31917,71029       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 30                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>df</i>         | <i>SS</i>            | <i>MS</i>     | <i>F</i>        | <i>Anlamlılık F</i> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 6926743761           | 2308914587    | 2,266440962     | 0,104436598         |                   |                    |                     |
| Fark                            | 26                | 26487245976          | 1018740230    |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 29                | 33413989737          |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>Katsayılar</i> | <i>Standart Hata</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-değeri</i> | <i>Düşük %95</i>    | <i>Yüksek %95</i> | <i>Düşük 95,0%</i> | <i>Yüksek 95,0%</i> |
| Kesişim                         | 1005276,336       | 198429,4862          | 5,066164085   | 2,8224E-05      | 597398,6861         | 1413153,987       | 597398,6861        | 1413153,987         |
| X Değişkeni 1                   | -73,22956045      | 40,87728434          | -1,791448762  | 0,084869863     | -157,2540218        | 10,79490089       | -157,2540218       | 10,79490089         |
| X Değişkeni 2                   | -489,9950789      | 434,8898057          | -1,126710887  | 0,27015669      | -1383,923877        | 403,9337193       | -1383,923877       | 403,9337193         |
| X Değişkeni 3                   | -1171,304807      | 860,0009419          | -1,361980842  | 0,18488862      | -2939,06206         | 596,4524468       | -2939,06206        | 596,4524468         |

**Tablo 4.19. 2021 Temmuz ayına ait regresyon analizi**

| <i>Regresyon İstatistikleri</i> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,361687261       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,130817674       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | 0,034241861       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 12603,3307        |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 31                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>df</i>         | <i>SS</i>            | <i>MS</i>     | <i>F</i>        | <i>Anlamlılık F</i> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 645490665,2          | 215163555,1   | 1,354559378     | 0,277703131         |                   |                    |                     |
| Fark                            | 27                | 4288786509           | 158843944,8   |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 30                | 4934277174           |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>Katsayılar</i> | <i>Standart Hata</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-değeri</i> | <i>Düşük %95</i>    | <i>Yüksek %95</i> | <i>Düşük 95,0%</i> | <i>Yüksek 95,0%</i> |
| Kesişim                         | 691203,0079       | 91040,65436          | 7,592245604   | 3,62977E-08     | 504403,015          | 878003,0007       | 504403,015         | 878003,0007         |
| X Değişkeni 1                   | -21,79109616      | 18,34362976          | -1,187938072  | 0,24520308      | -59,42911549        | 15,84692316       | -59,42911549       | 15,84692316         |
| X Değişkeni 2                   | 319,0788908       | 191,2912536          | 1,668026555   | 0,106868788     | -73,4183409         | 711,5761225       | -73,4183409        | 711,5761225         |
| X Değişkeni 3                   | -173,904011       | 351,933069           | -0,494139444  | 0,625204093     | -896,0110216        | 548,2029996       | -896,0110216       | 548,2029996         |

**Tablo 4.20. 2021 Ağustos ayına ait regresyon analizi**

| <i>Regresyon İstatistikleri</i> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,170120882       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,028941115       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | -0,078954317      |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 35110,65733       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 31                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>df</i>         | <i>SS</i>            | <i>MS</i>     | <i>F</i>        | <i>Anlamlılık F</i> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 991999314,1          | 330666438     | 0,268232994     | 0,84770432          |                   |                    |                     |
| Fark                            | 27                | 33284472970          | 1232758258    |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 30                | 34276472284          |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>Katsayılar</i> | <i>Standart Hata</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-değeri</i> | <i>Düşük %95</i>    | <i>Yüksek %95</i> | <i>Düşük 95,0%</i> | <i>Yüksek 95,0%</i> |
| Kesişim                         | 767571,9326       | 208861,7152          | 3,675024558   | 0,001038648     | 339023,0916         | 1196120,774       | 339023,0916        | 1196120,774         |
| X Değişkeni 1                   | -37,78820419      | 44,4899961           | -0,849364071  | 0,403147257     | -129,0741359        | 53,49772748       | -129,0741359       | 53,49772748         |
| X Değişkeni 2                   | 149,9223305       | 558,3859944          | 0,268492283   | 0,790361257     | -995,7910927        | 1295,635754       | -995,7910927       | 1295,635754         |
| X Değişkeni 3                   | -181,6366195      | 866,2136856          | -0,209690314  | 0,835483604     | -1958,960293        | 1595,687054       | -1958,960293       | 1595,687054         |

**Tablo 4.21. 2021 Eylül ayına ait regresyon analizi**

| <i>Regresyon İstatistikleri</i> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,083570534       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,006984034       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | -0,107594731      |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 17107,71027       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 30                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>df</i>         | <i>SS</i>            | <i>MS</i>     | <i>F</i>        | <i>Anlamlılık F</i> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 53518908,61          | 17839636,2    | 0,060954001     | 0,979868953         |                   |                    |                     |
| Fark                            | 26                | 7609517521           | 292673750,8   |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 29                | 7663036430           |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>Katsayılar</i> | <i>Standart Hata</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-değeri</i> | <i>Düşük %95</i>    | <i>Yüksek %95</i> | <i>Düşük 95,0%</i> | <i>Yüksek 95,0%</i> |
| Kesişim                         | 566000,3046       | 123430,721           | 4,585570755   | 0,000100374     | 312284,8239         | 819715,7853       | 312284,8239        | 819715,7853         |
| X Değişkeni 1                   | 5,591245658       | 24,73629463          | 0,226034082   | 0,822942407     | -45,25493615        | 56,43742746       | -45,25493615       | 56,43742746         |
| X Değişkeni 2                   | 68,93308314       | 225,2130051          | 0,306079496   | 0,761981631     | -393,9988789        | 531,8650451       | -393,9988789       | 531,8650451         |
| X Değişkeni 3                   | -38,31504641      | 470,6070476          | -0,081416219  | 0,935734465     | -1005,661687        | 929,031594        | -1005,661687       | 929,031594          |

**Tablo 4.22. 2021 Ekim ayına ait regresyon analizi**

| <i>Regresyon İstatistikleri</i> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,310138881       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,096186126       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | -0,004237638      |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 20487,51215       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 31                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>df</i>         | <i>SS</i>            | <i>MS</i>     | <i>F</i>        | <i>Anlamlılık F</i> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 1206078680           | 402026226,5   | 0,957802436     | 0,426813878         |                   |                    |                     |
| Fark                            | 27                | 11332930161          | 419738154,1   |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 30                | 12539008841          |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>Katsayılar</i> | <i>Standart Hata</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-değeri</i> | <i>Düşük %95</i>    | <i>Yüksek %95</i> | <i>Düşük 95,0%</i> | <i>Yüksek 95,0%</i> |
| Kesişim                         | 469869,3775       | 118885,7618          | 3,952276288   | 0,000502057     | 225935,9434         | 713802,8116       | 225935,9434        | 713802,8116         |
| X Değişkeni 1                   | 15,87395734       | 24,21700092          | 0,655488159   | 0,517700215     | -33,81522416        | 65,56313884       | -33,81522416       | 65,56313884         |
| X Değişkeni 2                   | -63,46499079      | 275,8568076          | -0,23006498   | 0,819775436     | -629,4764068        | 502,5464252       | -629,4764068       | 502,5464252         |
| X Değişkeni 3                   | 763,9847758       | 487,3007974          | 1,567788889   | 0,128576983     | -235,8738711        | 1763,843423       | -235,8738711       | 1763,843423         |

**Tablo 4.23. 2021 Kasım ayına ait regresyon analizi**

| <i>Regresyon İstatistikleri</i> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,297117221       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,088278643       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | -0,016919975      |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 41820,95692       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 30                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>df</i>         | <i>SS</i>            | <i>MS</i>     | <i>F</i>        | <i>Anlamlılık F</i> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 4403062004           | 1467687335    | 0,839161624     | 0,484748976         |                   |                    |                     |
| Fark                            | 26                | 45473803383          | 1748992438    |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 29                | 49876865387          |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>Katsayılar</i> | <i>Standart Hata</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-değeri</i> | <i>Düşük %95</i>    | <i>Yüksek %95</i> | <i>Düşük 95,0%</i> | <i>Yüksek 95,0%</i> |
| Kesişim                         | 259181,1967       | 292013,0175          | 0,88756727    | 0,382910849     | -341060,1572        | 859422,5506       | -341060,1572       | 859422,5506         |
| X Değişkeni 1                   | 56,99387424       | 56,07369502          | 1,016410176   | 0,318799659     | -58,2672566         | 172,2550051       | -58,2672566        | 172,2550051         |
| X Değişkeni 2                   | -173,13642        | 589,5300836          | -0,293685471  | 0,771329894     | -1384,932862        | 1038,660022       | -1384,932862       | 1038,660022         |
| X Değişkeni 3                   | 1556,208125       | 1205,075788          | 1,291377805   | 0,207936082     | -920,8606326        | 4033,276883       | -920,8606326       | 4033,276883         |

**Tablo 4.24.** 2021 Aralık ayına ait regresyon analizi

| <i>Regresyon İstatistikleri</i> |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|---------------------------------|-------------------|----------------------|---------------|-----------------|---------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| Çoklu R                         | 0,341265175       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| R Kare                          | 0,11646192        |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Ayarlı R Kare                   | 0,018291022       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Standart Hata                   | 32982,88433       |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| Gözlem                          | 31                |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
| ANOVA                           |                   |                      |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>df</i>         | <i>SS</i>            | <i>MS</i>     | <i>F</i>        | <i>Anlamlılık F</i> |                   |                    |                     |
| Regresyon                       | 3                 | 3871682176           | 1290560725    | 1,186318167     | 0,333495427         |                   |                    |                     |
| Fark                            | 27                | 29372507779          | 1087870658    |                 |                     |                   |                    |                     |
| Toplam                          | 30                | 33244189955          |               |                 |                     |                   |                    |                     |
|                                 | <i>Katsayılar</i> | <i>Standart Hata</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-değeri</i> | <i>Düşük %95</i>    | <i>Yüksek %95</i> | <i>Düşük 95,0%</i> | <i>Yüksek 95,0%</i> |
| Kesişim                         | 845603,9512       | 198100,5555          | 4,268559213   | 0,000216758     | 439135,1861         | 1252072,716       | 439135,1861        | 1252072,716         |
| X Değişkeni 1                   | -32,06042365      | 40,27585897          | -0,796020854  | 0,432963332     | -114,6996602        | 50,57881286       | -114,6996602       | 50,57881286         |
| X Değişkeni 2                   | -66,15737696      | 432,6950311          | -0,152896087  | 0,87961715      | -953,974246         | 821,6594921       | -953,974246        | 821,6594921         |
| X Değişkeni 3                   | -1369,274094      | 778,286902           | -1,759343618  | 0,089847983     | -2966,18691         | 227,6387224       | -2966,18691        | 227,6387224         |

Tablolarda belirtilen *Çoklu R*, bize bağımsız değişkenler karşısında değişen bağımlı değişkenin verimlilik oranını göstermektedir. Burada *t Stat* ve *P değeri* karşılaştırıldığında, bağımsız değişkenlerin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Dolayısıyla tüm bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkeni neredeyse aynı oranda etkiledikleri değerlendirilebilmektedir. Çoklu regresyon analizinde *t Stat* ve *P değeri* öncelikli olarak incelenmektedir. Bu değerlerden hangileri 0,5 değerine yakın ise onlar bağımlı değişkeni yüksek oranda etkilediği belirlenmektedir. Bu değere çok uzak çıkan sonuçlar ise elimine edilerek değerlendirme dışı bırakılmaktadır.

Bu tezde, dört adet verimlilik noktası tespit edilmiş ve biri değerlendirme dışı bırakılmıştır. Çoklu regresyon analizinde elektrik enerjisi üretim miktarı (MWh) bağımlı değişkeni, Harmandalı DADT'ye getirilen atık miktarları (ton/gün), çöplerin kapatılması süreleri (saat) ile gaz jeneratörlerinin bakımı süreleri (saat) üç adet bağımsız değişkeni ifade etmektedir. Bağımsız değişken sayısı tesis girdileri sonucunda arttırılabilmektedir. Ancak Harmandalı DADT'de elektrik enerjisi üretimini en çok etkileyen üç parametre; atık miktarları, çöplerin kapatma süreleri ve gaz jeneratörlerinin bakım süreleridir. Bu analizde söz konusu üç parametre kullanılmıştır. Üç bağımsız değişkenin farklı korelasyonları bize elektrik üretim verimini genel anlamıyla göstermektedir.

Harmandalı DADT'ye getirilen çöp miktarı fazla olduğu dönemlerde organik atık miktarı da fazla olmuş ve üretilen metan gazı miktarı yüksek değer almıştır. Ayrıca çöpün kapatılma süreleri ve gaz jeneratörlerinin bakım süreleri ne kadar hızlıysa

Üretim yapan gaz jeneratörü sayısı düşmeyecek, böylece üretilen elektrik miktarı da fazla olacaktır. 2020 yılı ile 2021 yılı verileri incelendiğinde, bağımsız değişkenlerin en iyi olduğu durumlarda elektrik enerjisi üretiminin yükseldiği görülmüştür. 2020 yılı için Şubat, Ağustos, Ekim ve Aralık aylarında, 2021 yılında ise Haziran ayında verimliliğin %40'ın üzerine çıktığı görülmüştür. Bu dönemlerde çöp kapatmaları ile tesis bakımları optimum düzeyde yapılmış olup Harmandalı DADT maksimum verimine yakın çalıştırılmıştır.

Ancak DADT'lerin verimliliklerini düşüren çok fazla parametre vardır. Bunlardan en etkili olanlardan biri hidrojen sülfür gazının gaz jeneratörlerine bıraktığı çapaklanma etkisidir. Sülfür apağı gaz jeneratrlerindeki yanma işlemine kısıtlayarak arızalar ortaya çıkartmaktadır. Bu nedenle Harmandalı DADT bazı zamanlarda maksimum verimlerde alıştırılamamıştır. Bu arızaların önlenmesi için günlük yapılan rutin bakımlarda apaklanmanın yıkanması işlemleri uygulanmıştır.

Verimliliğin çok düşük çıktığı 2020 yılı Kasım ayı ile 2021 yılı Eylül ayında Harmandalı DADT büyük bakımlara girdiği ve o tarihlerde uzun süreli duruşların olduğu belirlenmiştir. Bu duruşlar sırasında, verimliliği düşüren ve gaz jeneratörü apaklanmaların neden olduğu arızalardan kaynaklanan parça değişimleri yapılmıştır. Bu yöntem ile arızalar giderilmiş ve gaz jeneratörlerinin verimleri yükselmiştir.

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

EKAY planı doğrultusunda İzmir ilinde sürdürülebilir bir atık yönetiminin sağlanması, geri dönüşüm ile ülke ekonomisine katkı sağlanması, çevre bilincinin gelişimi ile çevresel zararın en aza indirilmesinin sağlanması planlanmış ve uygulamaya başlanmıştır.

Bu çalışma vasıtasıyla, gelişmiş teknolojileri kullanan ve İzmir iline ait toplam evsel atığın %60'ını bertaraf eden Harmandalı DADT'nin bertaraf yönteminin iyileştirilmesi ve deponi gazından elektrik enerjisi üretim verimliliğini LandGEM modeli ile modelleyerek ve çoklu regresyon yöntemiyle verimlilik değerlendirmeleri yapılmıştır. Bu değerlendirmeler neticesinde atık miktarlarının, atık karakterlerinin, çöp kapatma sürelerinin, gaz jeneratörü arıza-bakım sürelerinin elektrik enerjisi üretim verimliliğine ne derece etki ettiği yapılan analizlerde ortaya çıkmıştır. Yeni kurulacak veya kurulabilecek tesislerin planlamasında bu etkilerin göz önünde bulundurulması önemlidir.

Harmandalı DADT'de dört ana enerji verimlilik noktası tespit edilmiştir. Bunlar; saha kapatmalarının zamanlanması, organik atık miktarı ile doğru orantılı olarak metan kalitesi, hidrojen sülfür bertarafı için desülfürizasyon ünitesi ve işletme problemleridir.

Harmandalı DADT sahasında depolanan çöpün üzeri ince bir toprak ile kapatılmadığı takdirde metan gazı oluşumu esnasında açığa çıkan ekzotermik enerji havaya karışarak, metan gazı miktarını azalttığı ve metan gazını üreten anpotajen bakterilerin hızlı şekilde ölmesine neden olduğu tespit edilmiştir. Bu problemi en aza indirmek için alınan tedbirlerle çöpün üzerinin kapatılması 50 cm'lik killi toprak ile yapılmış ve böylece metan gazı kalitesinin yükseldiği gözlemlenmiştir.

Harmandalı DADT sahasında çalışan ekipler koordineli bir şekilde çalıştırdıklarında, çöplerin serilmesi sıkıştırılması, çöplerin kapatılması ve rigolleme imalatlarının optimum seviyede gerçekleştirilmesi üretilen elektrik enerjisi miktarını arttırmıştır. Gerçekleştirilen regresyon analizi sonucunda 2020 yılı için Şubat, Ağustos, Ekim ve Aralık aylarında, 2021 yılında ise Haziran ayında verimliliğin %40'ın üzerine çıktığı görülmüştür. Bu aylarda gerçekleştirilen çöp kapatma süreleri,

gaz jeneratörü tamir ve bakım süreleri, çöp karakterizasyonundaki organik atık miktarlarının optimum seviyede olduğu belirlenmiştir.

Bakım ve arıza süreleri nedeniyle çok fazla elektrik enerjisi üretim potansiyeli kaybolmaktadır. Bunun engellenmesi için konusunda uzman teknik bir kadro yetiştirilmesi önerilmiştir. Bununla beraber, danışmanlık hizmetleri alınarak konu hakkında gelişim sağlanabileceği değerlendirilmiştir. Ayrıca işletmenin aksamaması için ürün siparişleri her günün sonunda kontrol edilmeli, eksilen malzemeler tedarik edilmelidir.

İzmir ilinde karışık şekilde toplanan belediye atıkları sahada herhangi bir mekanik ayrıştırma sistemine girmeden prosese girdiği için metan gazı oluşum miktarı azdır. Saha laboratuvarında gerçekleştirilen organik atık çürütme deneylerinde 1 m<sup>3</sup> organik atıktan 250-300 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> gazının oluştuğu tespit edilmiştir. Ancak 1 m<sup>3</sup> karışık atıktan ise maksimum 150 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> gazının oluştuğu belirlenmiştir. Karışık çöp atıkları arttığında zaman üretilen elektrik enerjisi miktarının düştüğü değerlendirilmiştir. Ayrıca karışık olarak depolanan katı atıkların, depolama lotlarının ömrünü hızlı bir şekilde tükettiği ve karışık atıkta üreyebilen diğer çeşitli gazların miktarlarının arttığı Harmandalı DADT’de belirlenmiştir. Bu problemin en aza indirilmesi için Harmandalı DADT’de ön mekanik çöp ayırma tesisinin kurulması önerilmiştir. Bu tesis ile lotlarda depolanacak organik atık miktarı artacak ve bu doğrultuda elektrik enerjisi üretimi yükselecektir. Ayrıca karışık şekilde sahaya getirilen atıklar ön mekanik ayırma tesisi sayesinde katma değer haline getirilecektir. Böylece hem sürdürülebilir atık yönetimi anlayışı belirlenmiş hem de atıklar katma değere dönüştürülmüş olacaktır.

Harmandalı DADT sahasında oluşan metan gazının her platformda aynı oranda üretilmemesinden kaynaklanan regülasyon eşitlemesinin geciktirilmesi gaz jeneratörlerinin arıza vermesine neden olduğu görülmüştür. Bu arızanın, gaz jeneratörlerinin acil durmasına, istenilen kalitede alternatif akım çıkışının yakalanamamasına ve tesisin ana tevzi istasyonunda bağlantı dışı kalmasına neden olduğu belirlenmiştir. Bu problemi ortadan kaldırmak için metan gazı regülasyonunun düzenli bir şekilde yönetilmesi gerekmiştir. Sahadan çekilen metan gazının doğrudan gaz jeneratörlerine iletilmesi değil gaz balonunda şartlandırıldıktan sonra gaz jeneratörlerine iletilmesi önerilmiş ve uygulanmıştır. Bu yöntemlerle gaz jeneratörlerine gelen metan gazı regülasyonu sağlanmış ve gaz jeneratörlerinin aşırı

arıza vermesi engellenmiştir. Bu avantaj elektrik enerjisi üretim verimliliğini artırmıştır.

Çöplerin karışık olarak depolanması sonucunda metan gazı ve farklı deponi gazları Harmandalı DADT’de oluşmuştur. Bu durum kaliteli metan gazı üretimini olumsuz etkilemiştir. Kaliteli metan üretilmemesi nedeniyle Harmandalı DADT lotlarında üreyen çeşitli gazlar gaz jeneratöründeki buji ve dönen alternatör kısımlarında çapaklanmalara neden olmuştur. Bu çapaklanmalar gaz jeneratörlerinin durmasına ve fazla arıza vermesine neden olmuştur. Gaz emişini sağlayan buster ünitesi önüne desülfürizasyon ünitesi kurularak gaz jeneratörlerinin çapaklanma sorunları giderilmiştir.

Gaz jeneratörlerinden çıkan ve çevreye salınan atık ısının yaklaşık 500-700°C olmasından dolayı ısı kaybolmaktadır. Bu ısı, Harmandalı DADT işletme binalarının ısıtmasında kullanılabilir veya kojeneratif sistem ile elektrik enerjisi üretiler. Bu da hem verimliliği arttıracak hem de enerjiye olan ihtiyacı azaltacaktır.

Harmandalı DADT’de 2020-2021 yıllarında gerçekleştirilen karakterizasyon ile daha önce gerçekleştirilen karakterizasyonlar ile karşılaştırıldığında organik madde miktarının arttığı görülmüştür. Bu oran 2020 yılında %9,8 olmuş ve 2021 yılında daha da artarak %10,3 olarak gerçekleşmiştir. Böylece doğru orantılı olarak üretilen metan gazı miktarının arttığı ve elektrik enerjisi üretim miktarının yükseldiği belirlenmiştir. Bu yıllar COVID 19 Pandemi koşulları yılına rastlamaktadır. Bu yılda insanlar evde daha çok tüketmeye başlamış ve paket ürünlerden kaçınıp evde pişirilen yiyecekleri tercih etmişlerdir. Harmandalı DADT’ye bu COVID-19 sürecinde gelen çöp miktarının içerisindeki organik çöp oranının artması metan gazını artırmış ve böylece elektrik enerjisi üretim miktarı artmıştır.

Tüm bu veriler ile gelecekte yeni teknolojilere uygun EKAY tesisleri ile çöp yakma tesislerinin kurulması İzmir ili için önerilmektedir. Kurulacak EKAY tesislerinde organik çöp miktarlarının yüksek olması elektrik enerjisi üretimini artıracaktır. Gelen çöplerin ayrılması işlemi için bir ayırma tesisinin kurulması önemlidir. KABT bölgesinde göçüklerin olmaması yerleştirilen rigollerin gaz iletimini etkilemeyecek ve metan gazı kararlılığı sağlanacaktır. KABT’lerde desülfürizasyon

ünitelerının kurulması gaz jeneratörlerinin arızalarını azaltacak böylece enerji verimliliğine katkı sağlayacaktır. Çöp serme ve sıkıştırma işlemleri yapıldıktan sonra rigolleme kazısının yedi metre yapılması en uygun değer olarak tespit edilmiştir. Çöp kapatmalarının 50 cm'lik havayı kesen killi toprak ile yapılması metan gazı kalitesini artırmaktadır. Atıktan üretilen metan gazı kalitesinin ve düzeninin artması doğrudan elektrik enerjisi üretimini etkilediği için metan gazının balonlarla regüle edildikten sonra gaz jeneratörlerine verilmesi üretilen elektrik enerjisinin kararlılığı için önemlidir.



## KAYNAKLAR

- [1] Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi. Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi, 4(2), 33-54.
- [2] Mai, L., Sun, X. F., Xia, L. L., Bao, L. J., Liu, L. Y., & Zeng, E. Y. (2020). Global riverine plastic outflows. Environmental Science & Technology, 54(16), 10049-10056.
- [3] Rasmeni, Z. Z., & Madyira, D. M. A review of the current municipal solid waste management practices in Johannesburg City townships. Procedia Manufacturing. 2019, 35, 1025–1031.
- [4] Gautam, M., & Agrawal, M. (2021). Greenhouse gas emissions from municipal solid waste management: a review of global scenario. Carbon Footprint Case Studies, 123-160.
- [5] Güllü, G. (2022). Kentsel dönüşümde sıfır atık yönetimi. İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4(2), 112-120.
- [6] Resmî Gazete Tarihi: 02.04.2015 Resmî Gazete Sayısı: 29314 Atık Yönetimi Yönetmeliği.
- [7] Resmî Gazete Tarihi: 05.03.2015 Resmî Gazete Sayısı: 29287 Kompost Tebliği.
- [8] Öztürk, M. (2009). Vahşi Çöp Depolamaya Son.
- [9] Benli, Y. K., & Altıntaş, O. (2022). Dünyada ve Türkiye’de belediye atıklarının yönetimi. Pearson Journal, 7(21), 1-27.
- [10] Ram, C., Kumar, A., & Rani, P. (2021). Municipal solid waste management: A review of waste to energy (WtE) approaches. Bioresources, 16(2).
- [11] Ceylan, A. B., Aydın, L., Nil, M., Mamur, H., Polatoğlu, İ., & Sözen, H. (2021). A new hybrid approach in selection of optimum establishment location of the biogas energy production plant. Biomass Conversion and Biorefinery, 1-16.
- [12] Selçuk, İ. A. (2014). Şehir planlamada nüfus kavramı ve tahmininde kullanılan matematiksel yöntemler. Artium, 2(2), 191-206.
- [13] Mehan, A. (2011). Modeling the quantity of municipal solid waste in Istanbul by using artificial intelligence and statistical techniques. Sigma, 3, 165-175.
- [14] Karakaya, İ. (2008). İstanbul için stratejik kentsel katı atık yönetimi yaklaşımı (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [15] De Vega, C. A., Benítez, S. O., & Barreto, M. E. R. (2008). Solid waste characterization and recycling potential for a university campus. Waste management, 28, S21-S26.

- [16] Al-Khatib, I. A., Monou, M., Zahra, A. S. F. A., Shaheen, H. Q., & Kassinos, D. (2010). Solid waste characterization, quantification and management practices in developing countries. A case study: Nablus district–Palestine. *Journal of environmental management*, 91(5), 1131-1138.
- [17] Cucchiella, F., D’Adamo, I., & Gastaldi, M. (2017). Sustainable waste management: waste to energy plant as an alternative to landfill. *Energy Conversion and Management*, 131, 18-31.
- [18] Korkmaz, Y., Aykanat, S., & Çil, A. (2012). Organik atıklardan biyogaz ve enerji üretimi, *SAÜ Fen Edebiyat Dergisi* (2012-1), ss. 489-497.
- [19] Yılmaz, A. (2019). Türkiye’de biyogaz üretimi ve kurulu santrallerin ürettiği elektrik enerjisi. *Ecological Life Sciences*, 14(1), 12-28.
- [20] Töke, L. B. (2020). Kompost ve biyogaz tesislerinde veri zarflama analizi ile etkinlik ölçümü (Doctoral dissertation, Necmettin Erbakan University (Turkey)).
- [21] Kougias, P. G., & Angelidaki, I. (2018). Biogas and its opportunities—a review. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, 12(3), 1-12.
- [22] Morgan, S. M., & Yang, Q. (2001). Use of landfill gas for electricity generation. *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and radioactive waste management*, 5(1), 14-24.
- [23] Cudjoe, D., & Han, M. S. (2020). Economic and environmental assessment of landfill gas electricity generation in urban districts of Beijing municipality. *Sustainable Production and Consumption*, 23, 128-137.
- [24] Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). What a waste: a global review of solid waste management.
- [25] Jouhara, H., Czajczyńska, D., Ghazal, H., Krzyżyńska, R., Anguilano, L., Reynolds, A. J., & Spencer, N. (2017). Municipal waste management systems for domestic use. *Energy*, 139, 485-506.
- [26] Alzamora, B. R., & Barros, R. T. D. V. (2020). Review of municipal waste management charging methods in different countries. *Waste Management*, 115, 47-55.
- [27] Ulaşlı, Kübra. Geri kazanılabilir atıkların yönetimi ve sıfır atık projesi uygulamaları: Kadıköy Belediyesi. MS thesis. Hasan Kalyoncu Üniversitesi, 2018.
- [28] Ozturkoglu, Y., Ozbiltekin, M., Gozacan, N., & Surgec, I. (2018). City logistics: sample implementation of Izmir city. *Journal of Management Marketing and Logistics*, 5(3), 206-213.

- [29] Özçağlar, A. (2005). Türkiye’de mülki idare bölümlerinin idari coğrafya analizi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 3(1), 1-25.
- [30] Birdal, C. A., Korkmaz, E., Erşen, G., & Atun, R. (2018). Coğrafi bilgi sistemleri ile iklim değişikliklerinin izlenmesi: İzmir ili örneği.
- [31] Erkek, E., Kalaycı, Ö., Başaran, N., Ayça, Ö. N. E. R., Rutkay, A. T. U. N., Lamba, H., ... & Ağaçsapan, B. (2020). Biyoklimatik konfor ve arazi kullanımı arasındaki ilişkinin CBS ve UA teknikleri kullanılarak incelenmesi: İzmir ili örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(1), 174-188.
- [32] Üçgül, İ., & Akgül, G. (2010). Biyokütle teknolojisi. *Yekarum*, 1(1).
- [33] Topal, M., & Arslan, E. I. (2008). Biyokütle enerjisi ve Türkiye. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 17, 19.
- [34] Şenol, H., Elibol, E. A., Açikel, Ü., & Şenol, M. (2017). Türkiye’de biyogaz üretimi için başlıca biyokütle kaynakları. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 81-92.
- [35] Dem R. T. A., M., & Vedat, G. Ü. N. (2007). Avrupa ve Türkiye'deki biyokütle enerjisi. *Celal Bayar University Journal of Science*, 3(1), 49-56.
- [36] Bridgwater, T. (2006). Biomass for energy. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(12), 1755-1768.
- [37] Field, C. B., Campbell, J. E., & Lobell, D. B. (2008). Biomass energy: the scale of the potential resource. *Trends in Ecology & Evolution*, 23(2), 65-72.
- [38] Pedley, J. B. (2012). *Thermochemical data of organic compounds*. Springer Science & Business Media.
- [39] Mutlu, N., Tolay, M., Karaca, C., & Öztürk, H. H. (2020). Biyokütle gazlaştırma teknolojisindeki gelişmeler. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 15(2), 53-59.
- [40] Mackie, R. I., Stroot, P. G., & Varel, V. H. (1998). Biochemical identification and biological origin of key odor components in livestock waste. *Journal of Animal Science*, 76(5), 1331-1342.
- [41] Saltabaş, F., Soysal, Y., Yıldız, Ş., & Balahorli, V. (2009). Evsel katı atık termal bertaraf yöntemleri ve İstanbul'a uygulanabilirliği. *Türkiye Katı Atık Yönetimi Sempozyumu*.
- [42] Miezah, K., Obiri-Danso, K., Kádár, Z., Fei-Baffoe, B., & Mensah, M. Y. (2015). Municipal solid waste characterization and quantification as a measure towards effective waste management in Ghana. *Waste Management*, 46, 15-27.

- [43] Chidambarampadmavathy, K., Karthikeyan, O. P., & Heimann, K. Sustainable bio-plastic production through landfill methane recycling. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017, 71, 555–562.
- [44] Salihoglu, G., Salihoglu, N. K., Ucaroglu, S., & Banar, M. Food loss and waste management in Turkey. *Bioresource Technology*. 2018, 248, 88–99.
- [45] Mojiri, A., Zhou, J. L., Ratnaweera, H., Ohashi, A., Ozaki, N., Kindaichi, T., & Asakura, H. Treatment of landfill leachate with different techniques: an overview. *Water Reuse*. 2021, 11(1), 66–96.
- [46] Luttenberger, L. R. Waste management challenges in transition to circular economy—case of Croatia. *Journal of Cleaner production*. 2020, 256, 120495.
- [47] Khan, I. U., Othman, M. H. D., Hashim, H., Matsuura, T., Ismail, A. F., Rezaei-DashtArzhandi, M., & Azelee, I. W. Biogas as a renewable energy fuel—a review of biogas upgrading, utilisation and storage. *Energy Conversion and Management*. 2017, 150, 277–294.
- [48] Cinar, S., Cinar, S. O., Wiecezorek, N., Sohoo, I., & Kuchta, K. Integration of artificial intelligence into biogas plant operation. *Processes*. 2021, 9(1), 85.
- [49] Sarptaş, H. (2005). Katı atık depo gazı enerji potansiyelinin matematiksel modelleme yaklaşımı ile tahmini. *TTMD Isıtma, Soğutma, Havalandırma, Klima, Yangın ve Sıhhi Tesisat Dergisi*, 102, 48-55.
- [50] Scharff, H., & Jacobs, J. (2006). Applying guidance for methane emission estimation for landfills. *Waste management*, 26(4), 417-429.
- [51] Oonk, H. (2010). Literature review: methane from landfills. Final report for Sustainable landfill foundation.
- [52] Njoku, P. O., Odiyo, J. O., Durowoju, O. S., & Edokpayi, J. N. A review of landfill gas generation and utilisation in Africa. *Open Environmental Sciences*. 2018, 10(1).
- [53] Fei, F., Wen, Z., & De Clercq, D. Spatio-temporal estimation of landfill gas energy potential: A case study in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019, 103, 217–226.
- [54] Majdinasab, A., Zhang, Z., & Yuan, Q. (2017). Modelling of landfill gas generation: a review. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*. 16(2), 361–380.
- [55] Tsai, W. T. (2007). Bioenergy from landfill gas (LFG) in Taiwan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(2), 331-344.
- [56] Purmessur, B., & Surroop, D. (2019). Power generation using landfill gas generated from new cell at the existing landfill site. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(3), 103060.

- [57] Qin, W., Egolfopoulos, F. N., & Tsotsis, T. T. (2001). Fundamental and environmental aspects of landfill gas utilization for power generation. *Chemical Engineering Journal*, 82(1-3), 157-172.
- [58] Bove, R., & Lunghi, P. (2006). Electric power generation from landfill gas using traditional and innovative technologies. *Energy conversion and management*, 47(11-12), 1391-1401.
- [59] Gautam, P., & Kumar, S. (2019). Landfill gas as an energy source. In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (pp. 93-117). Elsevier.
- [60] Lunghi, P., Bove, R., & Desideri, U. (2004). Life-cycle-assessment of fuel-cells-based landfill-gas energy conversion technologies. *Journal of Power Sources*, 131(1-2), 120-126.
- [61] Kunt, M. A. (2016). İçten yanmalı motor atık ısılarının geri kazanımında termoelektrik jeneratörlerin kullanımı. *El-Cezeri*, 3(2).
- [62] Akçay, H., Gürbüz, H., Demirtürk, S., & Topalcı, Ü. (2020). Tipik bir buji ateşlemeli motorda egzoz atık ısı enerjisinin geri kazanımı için geliştirilen termoelektrik jeneratörün HAD analizi. *El-Cezeri*, 7(3), 1088-1100.
- [63] Gewald, D., Siokos, K., Karellas, S., & Spliethoff, H. (2012). Waste heat recovery from a landfill gas-fired power plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(4), 1779-1789.
- [64] Lee, C. E., & Hwang, C. H. (2007). An experimental study on the flame stability of LFG and LFG-mixed fuels. *Fuel*, 86(5-6), 649-655.
- [65] Carlberg, C. (2016). Regression analysis Microsoft excel. Que Publishing.
- [66] Uyanık, İ. (2012). Katı atık depo sahalarında meteorolojik faktörlerin depo gazı oluşumu üzerindeki etkilerinin incelenmesi.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Birand ALBOĞA

Doğum Yeri ve Yılı :

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta :

### Eğitim Durumu

Lise : Seferihisar Asil Nadir Anadolu Lisesi, 2012

Lisans : 1.Erciyes Üniversitesi, Biyomedikal  
Mühendisliği, 2017

2.Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Elektrik  
Elektronik Mühendisliği, 2019

### Mesleki Deneyim

İzmir Büyükşehir

Belediyesi

İklim Değişikliği ve Sıfır :

Atık Dairesi Başkanlığı

Elektrik Elektronik 2019-2022

Mühendisi

Elektrik Üretim Şefi : 2022 - (halen)