

**T.C.**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**TÜRKİYE'DEKİ KATI ATIK DEPOLAMA ALANLARININ**  
**DURUMU VE DEPOLİMERİZASYON SİSTEMLERİNİN**  
**UYGULANABİLİRLİĞİ**

**EMRE CAN DEMİR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jüri Üyeleri:**      **Prof. Dr. BURHANETTİN FARİZOĞLU (Tez Danışmanı)**  
                          **Prof. Dr. MEHMET İŞLEYEN**  
                          **Doç. Dr. BAYBARS ALİ FİL**

**BALIKESİR, OCAK-2023**

## **ETİK BEYAN**

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımda hazırlanan “**Türkiye’deki Katı Atık Depolama Alanlarının Durumu ve Depolimerizasyon Sistemlerinin Uygulanabilirliği**” başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

Beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

**Emre Can DEMİR**

## ÖZET

### TÜRKİYE'DEKİ KATI ATIK DEPOLAMA ALANLARININ DURUMU VE DEPOLİMERİZASYON SİSTEMLERİNİN UYGULANABİLİRLİĞİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRE CAN DEMİR

BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF.DR. BURHANETTİN FARİZOĞLU)

BALIKESİR, OCAK - 2023

Çalışmada seçilen bir bölgede evsel katı atıklardan ortaya çıkan geri dönüştürülemeyen atıkların potansiyeli ve bu atıklar için alternatif değerlendirme/geri kazanım seçeneği olan depolimerizasyon prosesi ile sıvı/gaz yakıt üretimi incelenmiştir. Belirlenen 20 yerleşim yerinden veriler toplanarak katı atık bünyesinde geri dönüşümü sağlanan kâğıt, cam, plastik ve metal fraksiyonları ile birlikte organik atık ve tıbbi atık oranlarına ait veriler de toplanmıştır. Seçilen yerleşim yerlerinin düzenli depolama sahalarının olduğu ve geri dönüşümü sağlanamayan tüm atıkların (tıbbi atıklar sterilize edilmekte) deponi sahasına gömüldüğü tespit edilmiştir. Geri dönüştürülemeyen özellikle plastik karışımı atıklar tüm atıkların yaklaşık %15-20'sini kapsamaktadır. Bu atıkların deponi sahaslarına gömülmeyip tekrar yakıt olarak kullanılması, deponi sahaslarının ömrünü uzatmasının yanında önemli miktarda da enerji elde edileceği belirlenmiştir. Yapılan inceleme ve araştırmalarda geri dönüştürülmeyen atıkların değerlendirilmesi için depolimerizasyon prosesinin oldukça uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Depolimerizasyon ile isteğe veya ihtiyaca bağlı olarak hem sıvı hem de gaz yakıtın üretilebilmesi ve yakıtların çevre kirliliği oluşturmadan enerji eldesinin olması en önemli avantajı olarak görülmektedir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Depolimerizasyon, Katı Atık, Atıktan Türetilmiş Yakıt, Düzenli Depolama Sahası

## **ABSTRACT**

### **STATE OF SOLID WASTE LANDFILLS IN TURKEY AND APPLICABILITY OF DEPOLYMERIZATION SYSTEMS.**

**MSC THESIS**

**EMRE CAN DEMİR**

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**ENVIRONMENTAL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: PROF. DR. BURHANETTİN FARİZOĞLU)**

**BALIKESİR, JANUARY - 2023**

In the study, a selected region preserves the production of liquid/gas fuel with the depolymerization process of non-recyclable wastes from domestic solids and an alternative recycling/recovery option for these wastes. In order to obtain the remainder in the waste by solidifying the upper parts of 20 determined settlements, the ratio of air to waste organic and waste water ratios was collected along with paper, glass, plastic and metal fractions. It has been determined that the selected settlements have containment and storage areas and all non-recyclable wastes (medical wastes are sterilized) are buried in the landfill. Non-recyclable wastes, especially those with plastic mixtures, comprise approximately 15-20% of all wastes. These wastes are not buried in the landfills, but reused as fuel, prolonging the life of the landfills, as well as obtaining a significant amount of energy. In the examinations and configurations made, it was decided that the depolymerization process would be quite suitable for the evaluation of non-recyclable wastes. It is seen as the most important advantage that it can be obtained by depolymerization or that both liquid and gaseous fuels can be produced depending on the need and that the fuels can obtain energy without causing environmental pollution.

**KEYWORDS:** Depolymerization, Solid Waste, Waste Derived Fuel, Landfill

Science Code / Codes: 90302, 90314

Page Number: 37

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER</b> .....	<b>3</b>
2.1 Katı Atıklar .....	3
2.1.1 Katı Atıkların Tanımlanması ve Sınıflandırılması .....	3
2.1.2 Evsel Katı Atıkların Üretim Oranı .....	3
2.1.3 Evsel Katı Atıkların İçeriği .....	4
2.1.4 Evsel Katı Atıkların Yönetim Şekilleri .....	5
2.1.4.1 Kaynakta azaltma .....	5
2.1.4.2 Yeniden Kullanım .....	5
2.1.4.3 Kompostlaştırma .....	5
2.1.4.4 Atıklardan Enerji Üretimi.....	5
2.1.4.5 Katı Atık Düzenli Depolama .....	6
2.1.5 Evsel Katı Atıkların Toplanması.....	7
2.1.6 Evsel Katı Atık Yönetiminin Durumu .....	9
2.1.6.1 Türkiye'de Evsel Katı Atıkların Yönetilme Durumları .....	10
2.2 Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY) .....	11
2.2.1 Atıklardan Türetilmiş Yakıtların Üretimi .....	12
2.2.2 ATY'nin Kullanım Alanları .....	14
<b>3. MATERYAL VE METOD</b> .....	<b>15</b>
3.1 Veri Toplama .....	15
3.2 Veriler .....	15
3.2.1 Katı Atık Toplanan Şehirler ve Nüfusları .....	15
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULAR</b> .....	<b>16</b>
4.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	16
4.1.1 Şehirlerin Ara İstasyon Kullanım Durumları .....	16
4.1.2 Nihai Bertaraf Yöntemleri .....	17
4.1.3 Kaynakta Ayırma ve Toplama Durumu .....	17
4.1.4 Deponi Sahasındaki Geri kazanım Durumu.....	18
4.1.5 Kaynaktan Ayırma ve Toplama Durumu .....	19
4.1.6 Yeni Tesis Kurulumu İçin Sağlam Zemin Durumu .....	20
4.2 Çalışmanın Amacı.....	21
4.3 Depolimerizasyon .....	21
4.3.1 Depolimerizasyon Ünitesi.....	21
4.3.2 Depolimerizasyon Sistemi .....	22
4.3.3 Depolimerizasyon Sisteminin Teknoloji Bileşenleri .....	23
4.3.3.1 Atık Ön Ayıklama ve Parçalama .....	23

4.3.4 Depolimerizasyon Sisteminin Çalışma Prensibi .....	27
4.3.4.1 Kombine elektrik ve ısı üretimi (Kojeneratörler).....	28
4.3.4.2 ISP WP teknolojisinin benzer teknolojilerden farkları.....	28
4.3.4.3 Kaskad Sistemi .....	29
<b>5. SONUÇLAR .....</b>	<b>30</b>
5.1 ATY'nin Türkiye'de uygulanabilirliği ve uygulama alanları.....	30
5.2 Gelir Potansiyeli.....	31
5.3 Gider Hesaplaması .....	32
5.4 Kurulabilecek Tesisin Yaklaşık Maaliyet Tablosu.....	32
<b>6. KAYNAKLAR (IEEE) .....</b>	<b>35</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>37</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Dünyada bölgelere göre atık üretimi [2].....	4
Şekil 2.2: Atık Hiyerarşi Piramidi [5].....	6
Şekil 2.3: Dünyadaki EKA'nın toplanması ve bertarafı [2].....	8
Şekil 2.4: 32 Avrupa Ülkesindeki Katı Atık Yönetiminin Gelişimi 2001-2010.....	9
Şekil 2.5: Türkiye'deki katı atık dağılımı (2014) <a href="http://thishowedo.blogspot.com/">http://thishowedo.blogspot.com/</a> .....	10
Şekil 2.6: Atıktan Türetilmiş Yakıt Formları.....	12
Şekil 2.7: ATY üretimi için örnek bir proses.....	13
Şekil 3.1: Katı Atık Toplanan Şehirler ve Nüfusları.....	15
Şekil 4.1: Şehirlerin Ara istasyon Kullanım Durumları.....	16
Şekil 4.2: Şehirlerin Nihai Bertaraf Yöntemleri .....	17
Şekil 4.3: Şehirlerin Kaynakta Ayırma ve Bertaraf Yöntemi .....	18
Şekil 4.4: Deponi Sahasındaki Geri Kazanım Durumu .....	19
Şekil 4.5: Kaynakta Ayırma ve Toplama Durumu.....	20
Şekil 4.6: Depolimerizasyon Ünitesi .....	22
Şekil 4.7: Bunker ve Balistik Ayrıştırma .....	24
Şekil 4.8: Schreder (Kırıcı) .....	24
Şekil 4.9: Optik Seperatör .....	25
Şekil 4.10: Air Separator (Kırıcı).....	25
Şekil 4.11: Manyetik Separatörlü Kırıcı .....	26
Şekil 4.12: Dryer (Kurutucu) .....	26
Şekil 4.13: Kojeneratör .....	28
Şekil 4.14: Kaskad Sistemi .....	29
Şekil 5.1: Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Atık Karakterizasyonu.....	31
Şekil 5.2: 300 ton/gün için yaklaşık hesap şablonu .....	32
Şekil 5.3: 300 ton/günlük Tesis'in Yaklaşık Maaliyet Tablosu.....	33

## **SEMBOL LİSTESİ**

<b>AB</b>	: Avrupa Birliği
<b>AÇA</b>	: Avrupa Çevre Ajansı
<b>ATY</b>	: Atıktan Türetilmiş Yakıt
<b>CO2</b>	: Carbon Dioxide- Karbondioksit
<b>CWT</b>	: Changing World Technologies- Deđişen Dünya Teknolojileri
<b>EKA</b>	: Evsel Katı Atık
<b>EPA</b>	: Environmental Protection Agency – Çevre Koruma Ajansı
<b>GKT</b>	: Geri Kazanım Tesisi
<b>ISP</b>	: International Surface Protection
<b>OECD</b>	: Organisation for Economic Co-operation and Development Ekonomik Kalkınma ve İş Birliği Örgütü
<b>RDF</b>	: Resource Description Freamework – Atıktan Türetilmiş Yakıt
<b>TAT</b>	: Toplama Ayırma Tesisi
<b>TDP</b>	: Thermal Design Power – Termal Tasarım Gücü
<b>TKATY</b>	: Tehlikesiz Katı Atıklardan Türetilmiş Yakıt
<b>KG</b>	: Kilogram
<b>KCAL</b>	: Kilocalory- Kilokalori



## ÖNSÖZ

Lisans ve Yüksek Lisans sürecinde her zaman yanımda olan bilgi ve desteğini hiçbir şekilde esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Burhanettin FARİZOĞLU'na teşekkür ederim.

Bu süreçte akademik konularda ve tez yazımında desteklerini sürekli hissettiğim Sayın Doç. Dr. Baybars Ali FİL ve Sayın Araş. Gör. Dr. Süleyman UZUNER'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Öğrenim hayatımda beni bir adım ileriye taşımak için manevi desteğini fazlasıyla gösterip, sosyal hayatımda ve mesleki hayatımda paylaşımlarımın olduğu manevi kardeşim, meslektaşım Sayın Çevre Mühendisi Esmâ Sultan ORTAASYALI'ya ve inancımı yitirdiğim zamanlarda beni motive eden Semih ÇAKIR'a da ayrıca teşekkürlerimi sunmak isterim.

Son olarak teşekkürden fazlasını hak eden, benim için her türlü fedakarlığı yapan ve yapmaya devam edeceğinden emin olduğum annem Fadime DEMİR'e, gücünü sürekli arkamda hissettiğim babam Mustafa DEMİR'e, beni motive eden, her konuda destek olan sırdaşlarım, kardeşlerim Tolga DEMİR'e ve Damla DEMİR'e teşekkür ediyorum.

**Balıkesir, 2023**

**Emre Can DEMİR**

## 1. GİRİŞ

İnsanların hayatlarını sürdürmek için aktivitelerde bulunduğu süreçte ortaya çıkan katı atıklar, önüne geçilmesi gereken bir sorun haline gelmiştir. Katı atık yönetiminin önem kazanmasının sebeplerinden bir tanesi budur. Bu yüzden katı atık bertaraf teknolojilerine alternatif getirilme ihtiyacı doğmuştur. Her yeni üretilen malzemenin bir kullanım ömrü olduğu için aslında dolaylı yoldan bir atık üretilmiş olmaktadır. Fosil yakıtların üretim faaliyetlerinde fazlasıyla yer alması, ambalajlama üzerine gelişen hacimce küçük görünen ama doğada uzun yıllar yok olmayan plastik ve türevleri ürünler şimdiden biyolojik yaşama etkilerini göstermeye başlamıştır. Yapılan çalışmada nihai bertaraf yöntemi olarak çoğunlukla düzenli depolama sahalarının kullanıldığı, ancak dezavantajlarından dolayı da tek başına yeterli olmadığı görülmüştür. Atıkların kaynaktan azaltma, geri dönüşüm, kompostlama gibi yöntemler atığın miktarını azaltsa da deponi sahalarının ömürlerine pozitif etkileri azdır. Bu yüzden atıktan türetilmiş yakıt, deponi sahalarıyla birlikte kullanıldığında birincil yakıtları kurtararak depolama sahalarının ömrünü uzatmaktadır. Bunun için üretilmiş projelerden biri de depolimerizasyon yöntemidir. Depolimerizasyon, organik materyallerin hidrokarbon ve amino asit gibi basit moleküllerine ayrıştırılması anlamına gelmektedir. Thermal Design Power (TDP) yöntemi sayesinde, doğada çözülmesi binlerce yıl alabilen plastik gibi maddeler, bir saatten daha kısa bir zaman diliminde moleküler yapılarına indirgenebilmektedir. TDP sürecinde girdi olarak akla gelebilecek her türlü atık kullanılabilir: Çamurlu su, plastik şişe, hindi dışkısı, ıslak bandajlar, bebek bezi, kullanılmış bilgisayar parçaları, araba lastiği, hatta enjektör bu atıklara örnek olarak gösterilebilir. 80 kg'lık bir insan bedeni sistemde işleme tabi tutulursa, buradan 17 kg petrol, 3 kg arıtılmış mineral, 3 kg metan gazı ve 55 kg suya dönüştürülebilir. 2001 yılında, Changing World Technologies (CWT) şirketinin CEO'su Brian Appel, TDP tekniğini esas alan termal dönüşüm sürecinde hindi atıkları kullanarak petrol üretme projesini hayata geçirmeye karar vermiştir. ABD'nin Missouri eyaletinde faaliyete geçirilen düşük kapasitedeki bu tesis, günde sadece 500 varil petrol üretebilmektedir. ABD'nin günlük petrol tüketiminin 20 milyon varil olduğu göz önünde bulundurulduğunda bu tesisin tek başına yetersiz olduğu sonucuna varılabilir.

Türkiye de Refuse-derived fuel (RDF) teknolojisi henüz tam anlamıyla bilinmediği için çok yaygın kullanım alanına sahip değildir. Düzenli depolamanın dezavantajlarından birisi de kapladığı alanların büyüklüğüdür. Atıklar sadece depolanarak bertaraf edilmek istenildiğinde artan insan nüfusu ve bunların atıkları sebebiyle sahalar öngörülen

sürelerinden daha hızlı dolmakta, ekonomik olarak katkı sağlayacak materyaller değerlendirilmemiş olmakta hem de ilerleyen yıllarda atıkların depolanması için gerekli büyük arazilerin bulunması mümkün olmayacaktır. Yapılan araştırmada görüldüğü üzere düzenli depolama sahaları mecbur kalınmadığı sürece kurulmak istenmediği görülmüştür.

Toplanan veriler depolama sahalarında atıkların büyük bir kısmını organik atıklardan meydana geldiğini göstermektedir. Bu verilere göre organik atık oranları İzmir için %45, Samsun için %52,86, Manisa için %40, Zonguldak için %34,5 ve Bartın için %35,56 olarak tespit edilmiştir. RDF, geleneksel yakıtlara oranla daha ucuz bir yakıttır ve ısıl değeri 4000-6000 cal/g'dır. RDF proseslerinden çıkan alternatif yakıtların yüksek yüzey alanları nedeniyle yanma verimleri diğer yakıtlarla karşılaştırıldığında daha yüksektir. Yakma esnasında birincil yakıtların kullanımından vazgeçilip alternatif metotlar tercih edilerek, eşdeğer emisyonlarda salınım gerçekleştirilebilir. Böylece ek tesir ve ek emisyon çıkışı meydana gelmeden düşük sıcaklıkta verimsiz yanma ve emisyon artışı da engellemiş olur. RDF'in kömür ile birlikte yakılması yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması konusunda önemli bir seçenek olarak görülmektedir. Organik atıklar diğer atıklarla işlenerek yakıt malzemesine dönüştürülebilir. Ayrıca kömürün yanması sonucu meydana gelen klinker oluşumu, cüruf ve kurum gibi sorunlarla birlikte tortu ve korozyon gibi ısı aktarımını engelleyen ve ekipmanlara zarar veren durumlar alkali özellikteki RDF kullanımı ile minimize edilebilir. Bu problemi engellemek için yakma sisteminin sıcaklığını kül yumuşatma sıcaklığının altında tutulması gerekir. Buna ilaveten yüksek kalitede kömürlerin biyokütle ile karıştırılarak yakılması bu tarz problemlerin oluşmasını önleyebilir. Türkiye'de çimento fabrikalarının yaygın olması ve ATY'nin yurtdışında olduğu gibi çimento fabrikalarında yakıt olarak kullanılması hem kirlilik yükünü azaltması hem de ülke ekonomisine katkı sağlaması beklenmektedir.

RDF'ten yakıt üretiminin çevreye en duyarlı yöntemi olarak Depolimerizasyon prosesi olduğu kanaatine varılmıştır. Düşük ısıl ve sıcaklıklarda üretilen yakıt emisyon olarak da diğerlerinin kullanımına nazaran avantajları görülmektedir

## **2. KURAMSAL TEMELLER**

### **2.1 Katı Atıklar**

#### **2.1.1 Katı Atıkların Tanımlanması ve Sınıflandırılması**

Evsel katı atıklar (EKA); ev eşyalarında, okullarda, hastanelerde ve işyerlerinde insanların günlük yaşam aktivitelerinin bir sonucu olarak ürün ambalajı, mobilya, giyim, şişeler, yiyecek artıkları, gazeteler, ev aletleri, boya ve piller gibi atıklar olarak sınıflandırılabilir. Bunun yanı sıra, inşaat, endüstriyel ve tehlikeli atıklar EKA kategorisinde yer almamıştır [1].

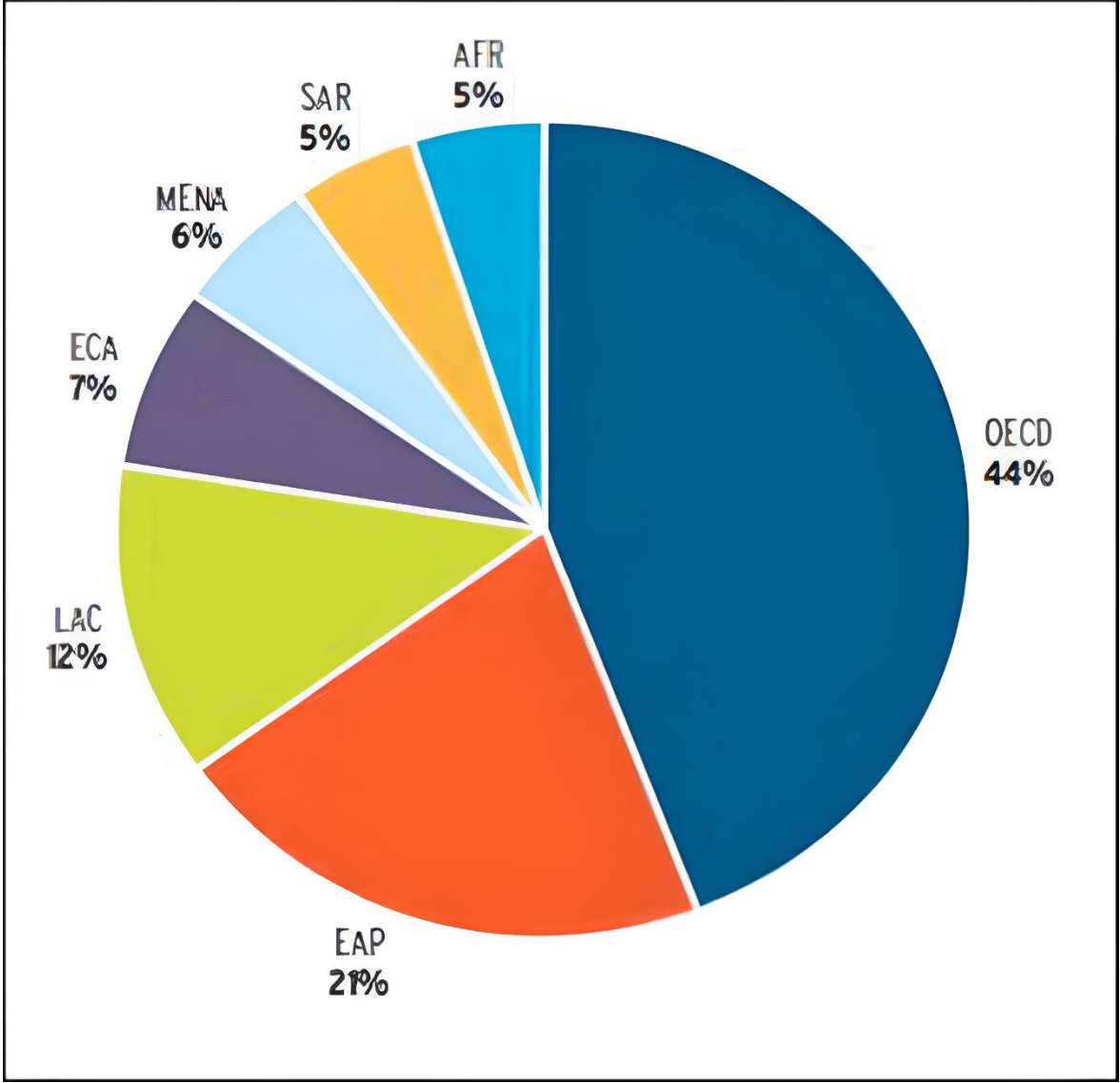
OECD, EKA'ı belediyeler tarafından toplanan ve işlenen atık olarak tanımlamaktadır. Bu tanımda, büyük atıklar, ticaret ve ticaretten gelen benzer atıklar, ofis binaları, kurumlar ve küçük işletmeler, bahçeler ve bahçeler, sokak süpürme işlemleri, çöp konteynırlarının içerikleri ve pazar temizliği dahil olmak üzere hanelerden kaynaklanan atıklar EKA'ya dahil edilmiştir.

IPCC'ye göre EKA'nın tanımı, gıda atığı, bahçe ve park atığı, kağıt ve karton, tahta, tekstil ürünleri, çocuk bezleri (tek kullanımlık çocuk bezleri), kauçuk ve deri, plastik, metal, cam (ve seramik ve çin) ve diğerlerini (örneğin, kül, kir, toz, toprak, elektronik atık) kapsamaktadır [2].

EKA'nın içeriği gelişmekte olan ve gelişmiş ülkeler arasında ve ülkelerdeki bölgeler ve şehirler arasında değişmektedir. Örneğin, gelişmekte olan ülkelerdeki EKA bileşimi, gelişmiş ülkelere göre çok daha fazla miktarda organik atık içermektedir [2].

#### **2.1.2 Evsel Katı Atıkların Üretim Oranı**

Ekonomide pozitif yönde ilerleme, sanayileşme durumu, nüfus artışı, bölge halkının tüketim alışkanlıkları ve yerel iklim EKA üretim oranlarına etki göstermektedir. Bütüne bakıldığında, üretilen katı atıklar, ekonomide daha fazla ilerleme ve kentleşme oranının yüksek olduğunun bir göstergesidir. Bölgesel olarak da sosyo-ekonomik durum göz önüne alınarak katı atık üretim oranları incelendiğinde de bu anlaşılabilir. Şekil 2.1'de gösterildiği gibi, dünyadaki katı atıkların neredeyse yarısı OECD ülkeleri tarafından üretilirken, Afrika ve Güney Asya'da üretilen katı atık miktarı en düşük seviyededir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Dünyada bölgelere göre atık üretimi [2].

### 2.1.3 Evsel Katı Atıkların İçeriği

Atık üretimindeki uzun vadeli eğilimleri belirlemek ve iyi bir planlama yapmak için EKA'nın özellikleri anlaşılmalıdır. Bu sayede, atık arıtma tesislerinin büyüklüğü ideal çapta ve daha uygun maliyetli bir şekilde inşa edilebilir. EKA'nın karakterizasyonu için örnekleme ve malzeme akış metodolojisi olmak üzere iki temel yöntem kullanılmaktadır. Malzeme akış değerlendirmesi, zaman ve mekânda tanımlanan durum içindeki atık akışlarının ve stoklarının sistematik bir sonucudur. Örnekleme yöntemi, Evsel katı atıklarının atık akışında toplanması için uygulanır. İlk olarak, katı atığın kaynaklandığı bölgelerden atıklar rastgele toplanır. Böylece atıklar kâğıt-karton, ahşap, metal atıklar ve organik atıklar gibi seçilen

sınıflandırmaya göre ayrılır; kendi içlerinde sınıflara ayrılan malzemeler ağırlık dengesi gözetilerek tartılır.

#### **2.1.4 Evsel Katı Atıkların Yönetim Şekilleri**

Evsel katı atıkların çevreyi ciddi şekilde tehdit eden etkileri bulunmaktadır, bu atıkların çevreye verdiği zararların durumu atık yönetimine göre belirlenmektedir. ABD'nin Çevre Yönetim Ajansı (EPA) evsel katı atıklar için yönetim stratejileri belirlemiş durumdadır. Genel kabul gören bu strateji: kaynakta azaltma, geri dönüşüm ve kompostlama, atıktan enerji üretimi ve çöp depolama alanlarıdır

##### **2.1.4.1 Kaynakta azaltma**

Üretim noktalarındaki atık miktarını ve hacmini azaltmayı amaçlamaktadır. Bunlar birçok farklı yöntemle elde edilebilir. Örneğin, ürünler yeniden kullanılabilir veya bağışlanabilir veya toplu olarak satın alınması, ürünlerin paketlerinin azaltılması; ürünler kullanıldığında ortaya çıkan atıklar göz önüne alınarak yeniden tasarlanabilir ve toksisite azaltılabilir [1].

##### **2.1.4.2 Yeniden Kullanım**

Yeniden kullanılabilir ürünleri evsel atık akışından ayırarak pazarlamak için ihtiyaç duyulan hammadde miktarının azaltılmasını sağlar ve malzemenin ömrünün arttırmış olmasıdır. Bu amaçla, kâğıt-karton, plastik atıklar, cam atıklar ve metal atıklar gibi fayda sağlayabilecek katı atıklar toplama veya ayırma noktalarından alınır ve yeni ürünlerin yapımında tekrar kullanılır. Depozitolu cam şişeler ve damacaneler bu uygulamaya örnek olarak verilebilir [1].

##### **2.1.4.3 Kompostlaştırma**

Bu işlem EKA'nın biyolojik olarak parçalanabilen organik fraksiyonununun aerobik veya anaerobik koşullar altında, rahatsız edici olmayan depolama ve taşıma için ve arazi uygulamalarında güvenli kullanım için yeterince kararlı bir duruma biyolojik olarak ayrışmasıdır [3].

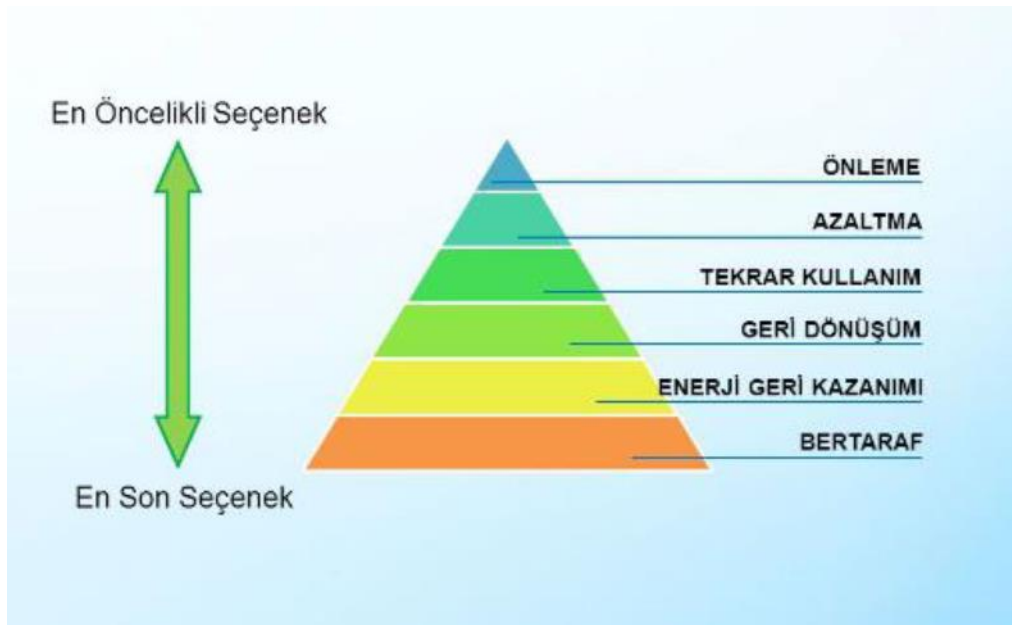
##### **2.1.4.4 Atıklardan Enerji Üretimi**

Atıkların geri dönüşümü mümkün olmadığında atıklardan enerji geri kazanımı uygulanabilmektedir. Bu tür atıklar, atık işleme ve enerji üretimini birleştiren atıktan enerji üretme teknolojiler tarafından kullanılabilir. Böylece atıklar ısıya, elektriğe ya da yakıtta

dönüşmektedir. Atıktan üretilen enerji, depolamalarda toplanan evsel katı atık miktarını ve fosil yakıt kullanımını azaltır [4].

#### 2.1.4.5 Katı Atık Düzenli Depolama

Depolama alanları, atıkları toprak altına gömmek için kullanılan mühendislik alanlarıdır. Genel olarak nihai atık bertaraf yöntemi olarak kullanılırlar [1]. Yönetim stratejileri ayrıca hiyerarşik bir düzende de değerlendirilmesi. (Şekil 2.2)'de gösterilmektedir. Atıkların neden olduğu çevresel zararları azaltmak için yönetim stratejilerini sınıflandıran hiyerarşi kavramı önerilmiştir. Bu kavram, daha sürdürülebilir bir şekilde yararlanarak atıkların çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmayı önerilmektedir.



Şekil 2.2: Atık Hiyerarşi Piramidi [5].

Atık yönetimi hiyerarşi piramidine göre, atıkların çevre üzerinde oluşturabileceği olumsuz etkilerini azaltmak için öncelikli olarak kaynak azaltma ve yeniden kullanma yolu en çok istenen alternatiftir; bu yollarla beraber, atıkların nihai olarak bertaraf edilmesi en az istenen yöntem olmalıdır ve en aza indirilmesi için harekete geçilmelidir. Atıklardan elde edilen enerji geri kazanımları, maksimum verim alınabilecek geri dönüşüm miktarına ulaşıldıktan sonra göz önünde bulundurulur.

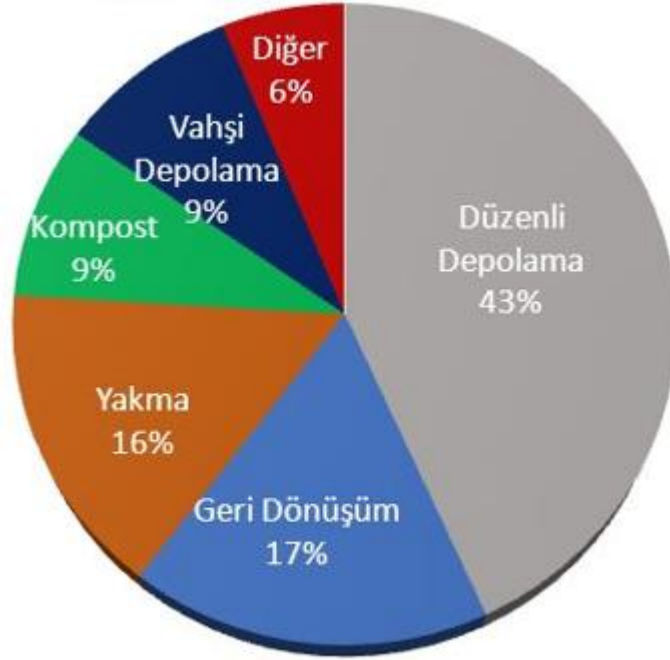
Depolama sahası yaygın bir bertaraf yöntemi olmasına rağmen, bu yöntemin birçok sakıncası vardır. Düzenli depolama, sızıntı suyu sorunlarına ve hava kirliliğine neden olmaktadır. Düzenli depolama sahaları için çok büyük alanlara ihtiyaç vardır ve bu alan maalesef kısıtlıdır. Tüm bu dezavantajlar göz önüne alındığında, düzenli depolama alanlarının sürdürülebilir bir EKA yönetim stratejisi olmadığı açıktır. Ayrıca, Avrupa Birliği (AB), Düzenleme Yönetmeliği (1999/31 / EC) ile düzenli depolama konusunda bir sınırlama getirmiştir. Bu yönetmelikte, 2013 yılı ve öncesi için, Avrupa Birliği'ne üye olan devletler, biyolojik bozunabilir atıkların miktarını 1995'teki seviyenin %50'sine düşürmek zorunda ve 2020 yılına kadar bu seviyeyi %35'e düşürmek zorunda olacaklardır. Kompostlaştırma, okyanusa deşarj, enerji kazanımı olmadan yakma ve enerji kazanımı ile yakma gibi başka arıtma ve uzaklaştırma metotları da vardır. Kompostlamada, atık ayrıştırılır; bu nedenle, sadece biyolojik olarak parçalanabilir atıklar için geçerlidir. Okyanusa atılan diğer yöntem en ucuz seçeneklerden biridir; ancak, deniz ortamına en zararlı olanıdır. Bu yöntem kesin olarak yasaktır ve gelişmiş olan ülkelerde artık uygulanmamaktadır. Enerji geri kazanım yöntemi olmadan yakma, otojenik olmayan yanmayı içerir. Bu yöntem, sürekli yakıt temini ihtiyacına bağlı olarak pahalı bir seçenektir ve çevre dostu değildir, çünkü açık yakmada düşük sıcaklıktaki yanma, sert hava kirliliğine neden olur. Bu nedenle, bu yöntem de tavsiye edilmez [2]. Geri dönüştürülemeyen ve tekrar kullanılmayan atıklar için, enerji geri kazanımı ile yakma, daha önce belirtilen diğerleri arasında en uygun yöntemdir. Alan gereksiniminin azaltılmasını ve termal enerji geri kazanımını sağlar [6]. Düzenli depolama maliyeti yakma maliyetinden daha düşüktür, ancak yıllar geçtikçe, çevre uzmanları düzenli depolama alanlarının daha fazla CO<sub>2</sub> emisyonu ürettiğini kanıtlamıştır; geri dönüşüm ve enerjinin geri kazanımı ile birlikte atığın yakılması, fosil yakıt ile enerji üretim maliyetinden tasarruf sağlayarak emisyonu azaltır [7].

### **2.1.5 Evsel Katı Atıkların Toplanması**

Yeniden kullanma ve geri dönüşüm gibi çevre dostu stratejiler uygulanmasına rağmen, EKA'nın üretim hızı sürekli olarak artmaktadır. Fazla miktarda oluşan evsel atıklar yönetilmeli, değerlendirilmeli veya son olarak bertaraf tercih edilmelidir. Yüksek gelirli ülkelerde, EKA'lar genellikle dolgu malzemesi olarak kullanılır ve böyle imha edilir. Düşük ve orta gelirli ülkelerin çoğunda EKA için vahşi depolama alanlarının kullanılması daha yaygın bir yöntemdir. Ayrıca, bazı orta gelirli ülkelerde, kontrollü çöplük olarak da sınıflandırılabilen kötü işlenen atık depolama alanları bulunmaktadır [2]. Dünya genelinde

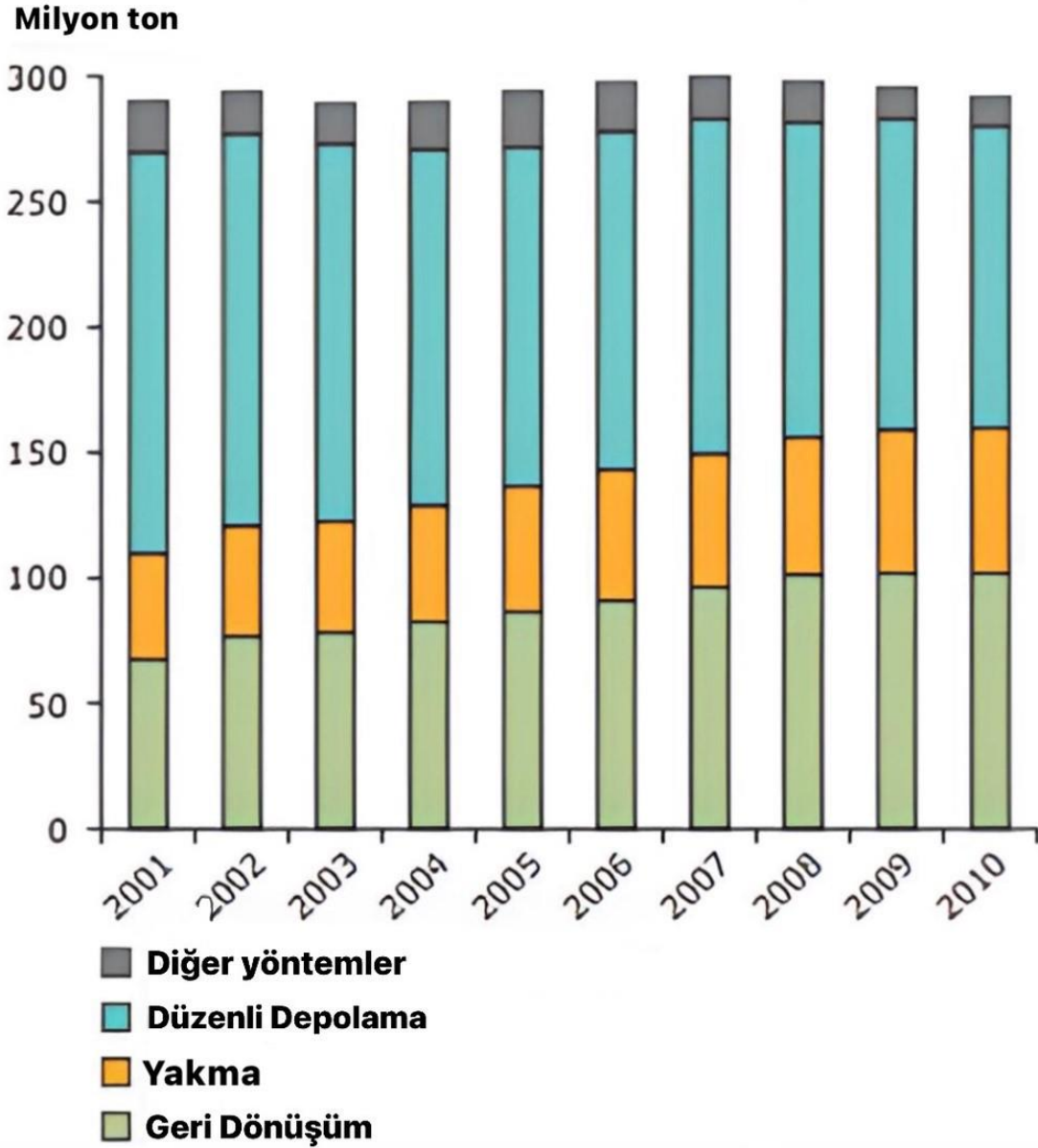


ortaya çıkan EKA'nın toplama ve bertaraf yöntemlerinin dağılımı Şekil 2.3'de gösterilmektedir. Şekilde gösterilen grafik, farklı yıllardan toplanan veriler doğrultusunda oluşturulmuştur.



**Şekil 2.3:** Dünyadaki EKA'nın toplanması ve bertarafı [2].

Sonuç olarak, EKA'nın bertaraf edilmesi için, katı atık depolama yöntemi, enerji geri kazanım yöntemiyle yakma işlemiyle yavaş yavaş değiştirildi. 2012 yılında ABD'de %11,7'ye tekabül eden 29 milyon tonun üzerinde atık, enerji geri kazanımı ile yakılarak bertaraf edilmektedir [1]. Şekil 2.4'te, 2001 ve 2010 yılları arasında 32 Avrupa ülkesinde (AB-27 Üye Devletler, Hırvatistan, İzlanda, Norveç, İsviçre ve Türkiye) kullanılan EKA bertaraf yöntemlerinin dağılımı sunulmaktadır. 2001'den 2010'a kadar EKA'nın depolama alanı yaklaşık 40 milyon ton azalırken, EKA'nın yakma miktarı yaklaşık 15 milyon ton artmıştır



**Şekil 2.4:** 32 Avrupa Ülkesindeki Katı Atık Yönetiminin Gelişimi 2001-2010 (AÇA Raporu, 2013).

### 2.1.6 Evsel Katı Atık Yönetiminin Durumu

Dünyadaki katı atıkların tamamı düşünüldüğü zaman, Evsel katı atık yönetimlerinin ne kadar gerekli olduğu daha iyi anlaşılır. Hızlı artış gösteren nüfus, ekonomideki büyümeler, yaşam standartlarındaki artışlar ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi katı atıkların üretimini direk olarak etkileyen faktörlerdir[8].

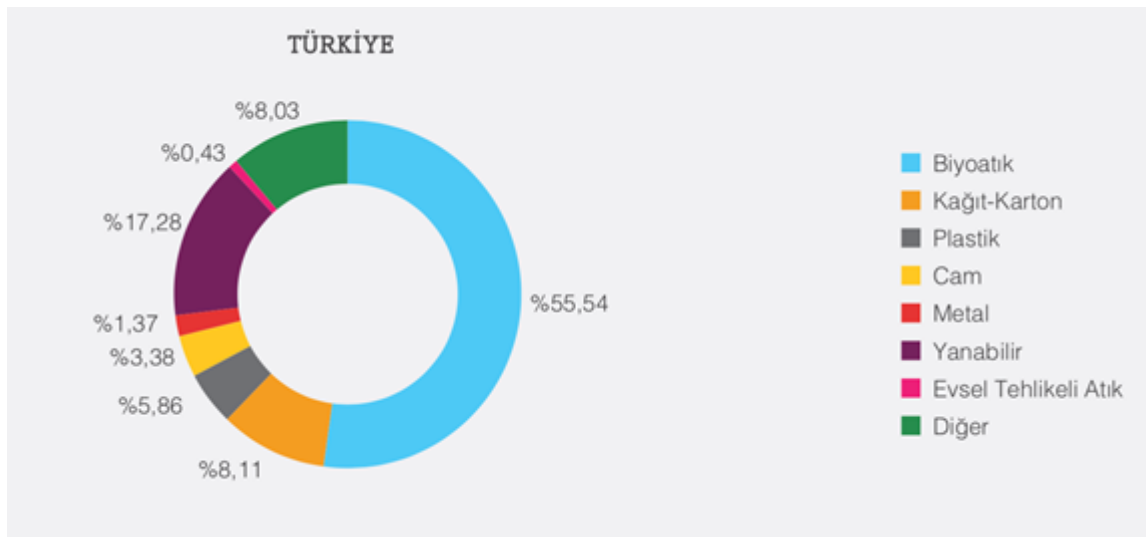
Katı atık yönetimi ise; politik, sosyo-kültürel, yasal ve ekonomik maddelerden etkilenen bir sorundur. Katı atık miktarındaki artış depolama alanlarının da daha fazla alan işgal etmesine neden olmaktadır. Bu yüzden katı atıklarını minimize etmek için alternatif yöntemler

bulunmalıdır, aksi takdirde şu an bile sorun olan katı atıklar ilerleyen dönemde daha büyük bir sorun olarak karşımıza çıkacaktır [9].

### 2.1.6.1 Türkiye'de Evsel Katı Atıkların Yönetilme Durumları

Türkiye gelişmekte olan bir ülkedir, bu yüzden sanayileşme ve yaşam standartları her geçen gün artmaktadır. Bu durum üretilen atık miktarlarında artmalara neden olmakta ve atıkların bertarafı gibi sorunları ortaya çıkmaktadır. Türkiye'de katı atıklar için geleneksel bertaraf yöntemi, atıkları açık sahalara dökmektir. Türkiye'de katı atık bertaraf etme açık sahalarının sayısı 2008'de 2000'in üzerindeydi.

Türkiye'de 2010 yılında, üretilen toplam EKA'nın %84'ü olan 25 milyon ton EKA (1,12 kg kişi/gün) toplanmıştır. Depolanan EKA miktarı 2001 ila 2010 yılları arasında %5 oranında artmıştır. 2003-2012 yılları arasında, Düzenli depolama alanlarının sayısı 15'ten 68'e çıkmıştır. TÜİK verilerine göre, 2012 yılında Düzenli depolama sahalarına gönderilen EKA'nın oranı %59,9 belediye çöplüğüne atılan EKA'nın payı %37,8'dir. Farklı metotlarla oluşturulan ve atılan evsel katı atıkların miktarı, toplanan toplam evsel katı atığın % 2'sidir. Diğer bir deyişle, 2012 yılında Türkiye'de EKA'nın katı atık depolama alanlarının payı %97,7'dir ve bu büyük bir miktardır. Bu da Türkiye'de evsel katı atıkların yönetim planlarına uyulması gerektiğinin bir göstergesidir. Ayrıca, belediyelerdeki katı atık kompozisyon verileri Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5: Türkiye'deki katı atık dağılımı (2014)

## 2.2 Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY)

Atıktan ikincil yakıt üretmek, birincil yakıtları kurtarır ve atık depolama alanını azaltır. Bu sebeple, enerjiyi yoğun tüketen endüstrilerde, birincil yakıtlardan tasarruf etmek ve atık deponi sahalarının miktarını sınırlayan atık yönetim stratejilerinin gerekliliklerini karşılamak için ikincil yakıt kullanımı gereklidir [10].

EKA'yı doğrudan ikincil yakıt olarak kullanmak etkili bir yol değildir; bu nedenle işlenir ve atıktan enerji üretme sistemlerinde kullanılır. Bu yöntemle arıtmanın amacı, atığı eşit karışmış halde, yüksek kalorik değerde, kimyasal ve biyolojik olarak stabil ikincil bir yakıt dönüşümünü sağlayıp ve yanma sırasında kirletici emisyonları, kül içeriklerini ve aşırı hava ihtiyacını azaltmaktır. Ek olarak, bu işlem ikincil yakıtın depolanmasını, işlenmesini ve taşınmasını kolaylaştırır. Bu içerikte ATY, atıktan enerji üretme sistemlerinde kullanılacak EKA'yı kullanmak için umut vaat eden yöntemlerden biridir [11].

ATY yöntemi, geri dönüşüm hedeflerinin ve 1999 Atık Depolama Yönetmeliği'nde belirtilen katı atık malzeme için gerekli koşulların karşılandığı entegre bir atık yönetim sisteminin çok önemli bir parçası olabilir. EKA'da yer alan biyolojik olarak parçalanabilen malzemelerin ATY üretiminde kullanılması, depolanan EKA miktarını azaltır [12].

EKA, ATY üretiminde geri dönüştürülebilir ve yanmaz malzemeleri ayırma, parçalama, eleme, kurutma ve toprak haline getirme gibi çeşitli işlemlere tabi tutulur [13].

Bu işlemler kentsel katı atıklardaki yüksek kalorili malzemeleri sıralamak ve atığın yanma potansiyelini arttırmak için de uygulanır; bu nedenle, RDF, aslında, EKA'nın ayrılmış yüksek kalorifik fraksiyonudur. Kırım, kurutulma ve katılaştırma işlemlerinden sonra ATY, kömürle hemen hemen aynı enerji potansiyelinde olup, gelecek vaat eden ikincil bir yakıt durumuna gelir. ATY'nin yaklaşık olarak ısı değeri 3500 kcal / kg'ın üzerinde olabileceği öngörülür [14].

Ayrıca, ATY'nin formu 1983'te Alter tarafından belirtilmiştir. ATY tipleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

---

ATY 1	Atık formda yakıt olarak kullanılan atıklar.
ATY 2	Atık veya metal ayırma işlemi olmadan kaba parçacık boyutuna işlenmiş atık.
ATY 3	Metal, cam ve diğer inorganik malzemeleri çıkarmak için işlenmiş EKA'dan türetilen partikül hale gelmiş yakıt. (bu malzemenin parçacık boyutu ağırlıkça % 95, 50 mm <sup>2</sup> elek çapından geçecek şekilde)
ATY 4	Toz halinde işlenen yanıcı atıklar.
ATY 5	Kapsüller halinde yoğunlaştırılmış yakıtlar.
ATY 6	Sıvı yakıt halinde işlenebilir yanıcı atıklar.
ATY 7	Gaz halinde işlenebilir yanıcı atıklar

---

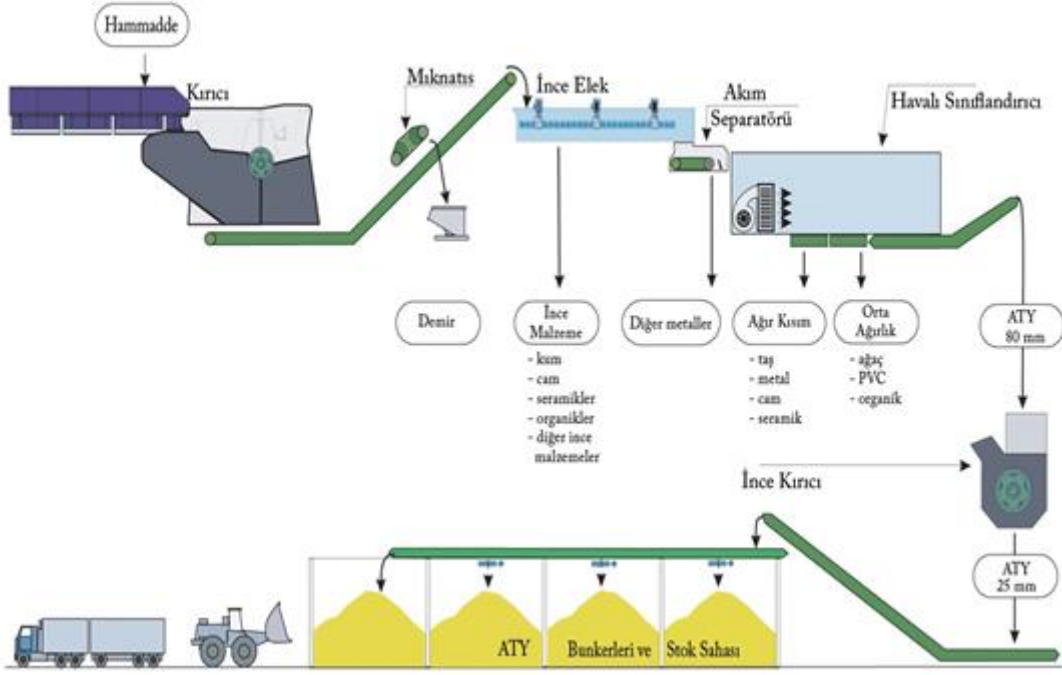
### Şekil 2.6: Atıktan Türetilmiş Yakıt Formları

#### 2.2.1 Atıklardan Türetilmiş Yakıtların Üretimi

İstenmeyen maddeler Geri Kazanım Tesislerinde (GKT) ayrılır ve yanma özelliği olan maddenin yeniden kazanımı ile yanma özelliği geliştirilmektedir. Daha önce belirtildiği gibi, bu işlemler genellikle ayırma, presleme, sınıflandırma (geri dönüştürülebilir maddelerin ayrılması) ve ıslak organik maddelerin ayrılması, kurutulması ve yoğunlaştırılmasını içerir. Uygulanacak işlemlere EKA'nın bileşimi ve istenen ATY kalitesi dikkate alınarak karar verilerek işlemler düzenlenir. Ayrıca, ATY üretiminin tipine örnek bir proses akış diyagramı Şekil 2.6 da verilmiştir. ATY üretmek için GKT'lerin uyguladığı işlemlerin kısa açıklamaları aşağıda verilmiştir.

- Birçok tesiste işçiler, mekanik işlemeden önce, ev aletleri, plastikler, mobilyalar gibi toplu öğeleri ayrılabilir.
- Karışık halde tesise gelen atıklar parçalanarak boyutları homojen ve işlenebilir hale getirilir. Bu işlemde, çekiçli pres makinesi ve makas öğütücüler yaygın olarak kullanılır.

- Bu işlem, malzemelerin boyut, yoğunluk, geometri vb farklı aerodinamik özellikleri ile ayrıldığı bir ayırma işlemidir
- Bu işlemde de demir vb metallerin karışık olarak gelen EKA'dan ayrıldığı başka bir ayırma işlemidir.
- Küçük preslenmiş maddeler haline getirme, topak haline getirme vb. işlemlerle ATY'nin kalitesi iyileştirilir.



**Şekil 2.7:** ATY üretimi için örnek bir proses

Küçük preslenmiş maddeler haline getirme, topak haline getirme vb. işlemlerle ATY'nin kalitesi iyileştirilir.

Bu noktada, ATY üretimi hakkında son bir not olarak, Tehlikesiz Katı Atıklardan Türetilmiş Yakıt (TKATY) konseptinden bahsedilmelidir. 13 Mart 2002 tarihinde Avrupa Komisyonu görevlerine göre kurulan CEN / TC343 tarafından geliştirilen özel standart EN15359, ATY üretiminde uygulandığında, ortaya çıkan yakıt (TKATY) olarak adlandırılır.

TKATY ve ATY arasındaki temel fark, TKATY üretiminde kalite kriterlerinin uygulanması ve yakıtın kalitesinin sağlanması; ATY ise genellikle daha önce belirtilen atık arıtma işlemlerinin doğal bir sonucudur.

TKATY'nin standartlara uygun ve kontrol edilebilir bir kalitede olduğu anlamına gelir. TKATY'nin iç pazardaki serbest ticareti, Avrupa SRF (TKATY) Standartları ile desteklenecektir.

### **2.2.2 ATY'nin Kullanım Alanları**

ATY, özellikle çimento ve enerji üretimi gibi enerji yoğun sektörlerde umut vaat eden ikincil bir yakıttır. Çimento ve kireç fırınları, enerji santralleri ve endüstriyel kazanlar, atıktan türetilen yakıtların potansiyel uygulama yöntemlerine örnek gösterilebilir. Ayrıca ATY çelik fabrikasında karbonun yerine kullanılmaktadır. Bu yöntemlerde, yanma işlemi belirli avantajlara sahip olan akışkanlar yatak yakma uygulamasında yaygın olarak kullanılmaktadır [12].

Çimento yakma kazanlarında ATY kullanımı uygundur. Çünkü çimento yakma kazanlarında yanmanın meydana geldiği sıcaklıklar çok yüksektir ve bekletme süresi ana yakıcıda yaklaşık 15 derece fazladır. Bu nedenle, ATY'yi çimento fırınlarında kullanmak için özel bir ateşleme teknolojisine gerek yoktur; sadece ATY taşıma sistemi gereklidir. Bununla birlikte, hava kirletici emisyonunu kontrol etmek için toplam yakıtta ek olarak bir üst sınır vardır (ağırlıkça en fazla% 30) [15].

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1 Veri Toplama

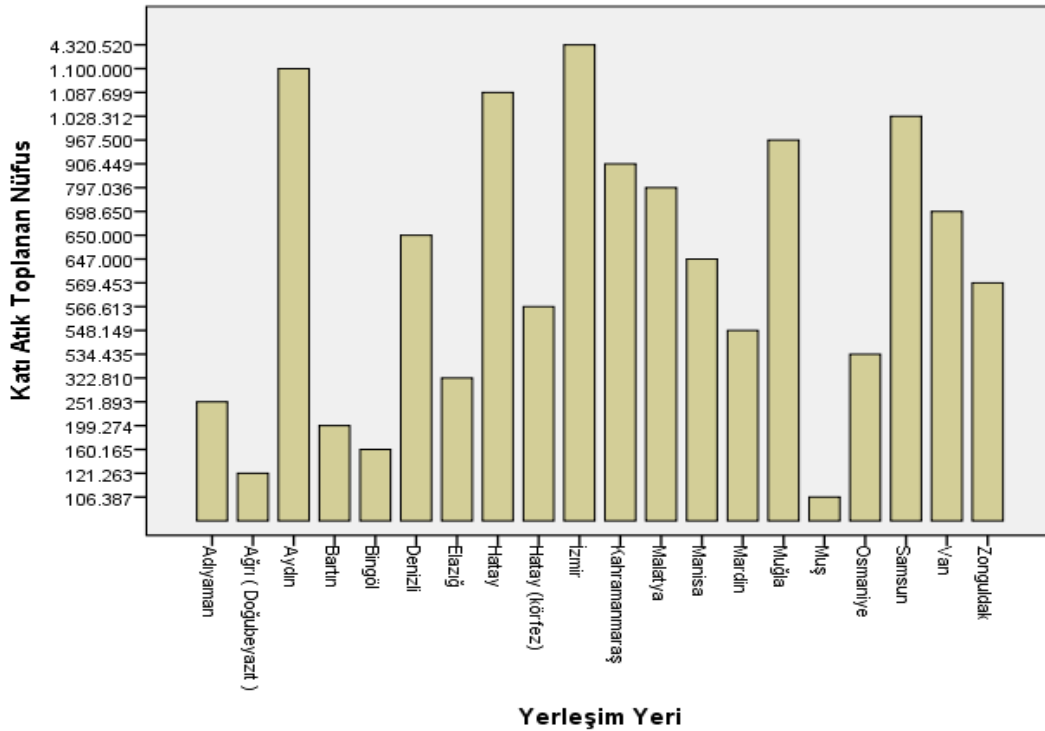
Geri dönüştürülebilir veya yanma karakteri yüksek olan katı atıkların Türkiye'deki potansiyelini ulaşılabirlik ve güncel verileri paylaşılmaya hazır belediyeleri belirleyip bölgesel bazda katı atık karakterizasyonları ve depolama sahası doluluk oranları ile ilgili veriler elde edildi. Veriler anket tekniği ile yüz yüze sorularak toplandı ve SPSS veri analiz programı kullanılarak grafikler oluşturuldu.

#### 3.2 Veriler

Toplanan veriler belirli başlıklar altında toplanmış ve grafikleri başlıklara göre yüzdelik pasta grafik şeklinde oluşturulmuştur.

##### 3.2.1 Katı Atık Toplanan Şehirler ve Nüfusları

Katı atık verileri toplanan şehirlerin nüfus dağılımları aşağıdaki bar grafikte görsel olarak verilmiştir, en düşük nüfus 106.387 kişi ile Muş, en fazla nüfus 4.320.520 kişi ile İzmir'dir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Katı Atık Toplanan Şehirler ve Nüfusları



## 4. ARAŞTIRMA BULGULAR

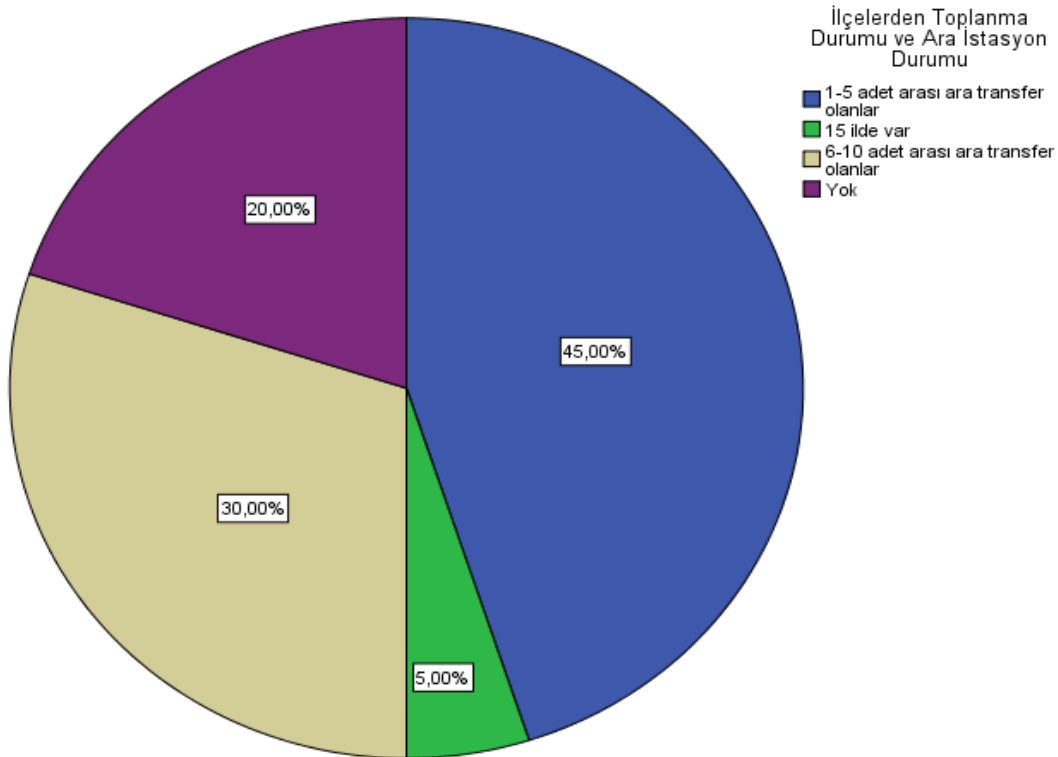
### 4.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Çalışmanın amacı sıfır atık ve atık piramidi baz alındığında atıkların kaynağında ayrılması geri dönüştürülebilir atıkların kazanılması öncelikli olarak hedefler arasındadır.

Toplanan atıkların doğru yönetilmesi ve kazanımlar sayesinde mevcut depolama alanlarının ömrünü arttırmak, yeni kurulacak depolama alanlarında da hesaplamalarda bu kriterlerin göz önünde bulundurulmasını sağlayarak kurulum alanlarının daha küçük alanlar işgal etmesi hedeflenmektedir.

#### 4.1.1 Şehirlerin Ara İstasyon Kullanım Durumları

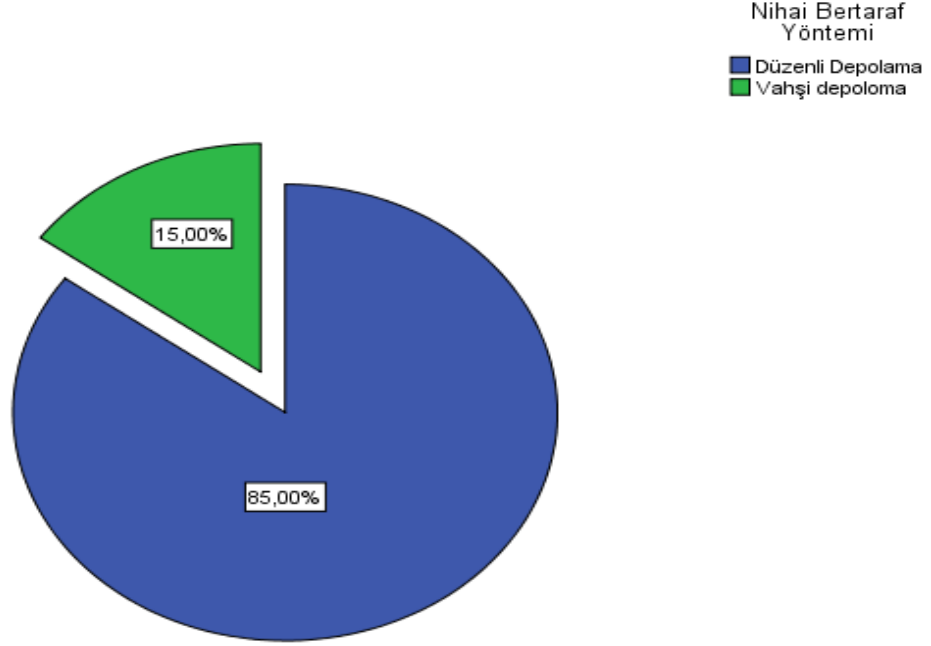
Şehirlerin ara istasyon kullanımını gösteren şekil 3.2’de gösterilmektedir. İnceleme bölgesinde şehirlerin 1/5’inde ara istasyon bulunmadığı tespit edilmiştir. Genellikle işçe ve beldelerden oluşan karı atıkların merkez deponi sahasına transferi için kurulan ara istasyonların olmayışı çoğunlukla bu yörelerde vahşi depolama yapıldığı sonucunu doğurmaktadır. Geri kalan yerleşim yerlerinde ise araştırmalarda görüldüğü üzere etkin bir depolama ve transfer mekanizmasının olmadığıdır (Şekil 3.2).



Şekil 4.1: Şehirlerin Ara istasyon Kullanım Durumları

#### 4.1.2 Nihai Bertaraf Yöntemleri

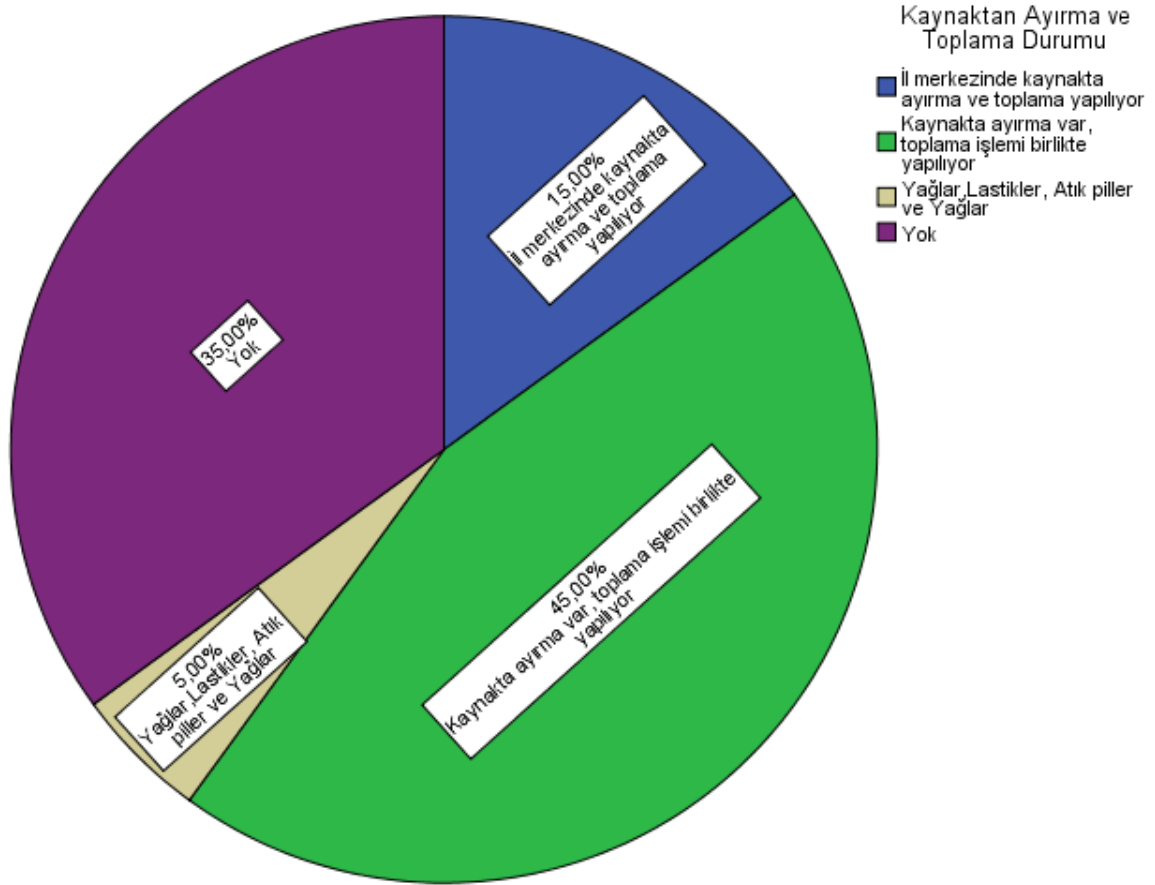
Şekil3.3'te nihai bertaraf yöntem ve ünitelerinin bulunma gösterilmektedir. Yapılan saha çalışmalarında 3 büyük ilin düzenli depolama sahalarının olmadığı veya yarı düzenli depolamanın yapıldığı belirlenmiştir. İncelemeye konu olan diğer yerleşim yerlerinde ise düzenli depolama sahalarının bulunduğu tespit edilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 4.2: Şehirlerin Nihai Bertaraf Yöntemleri

#### 4.1.3 Kaynakta Ayırma ve Toplama Durumu

Kaynakta ayırma ve toplama faaliyeti geri dönüşüm stratejisinin en önemli adımlarından birisidir. Çalışma alanlarında genel olarak bu faaliyetlerin çok doğru yapıldığı kanaati oluşmamıştır. Kısır bir anlayış ile kaynakta ayırma ve toplama yapılmakta ve yeterli bir organizasyonun olmadığı görülmektedir. Bu organizasyondaki başarısızlık hem geri dönüşüm malzemelerinin ekonomik değerlerini azaltmakta hem de katı atık toplama taşıma maliyetlerini arttırmaktadır (Şekil 3.4).

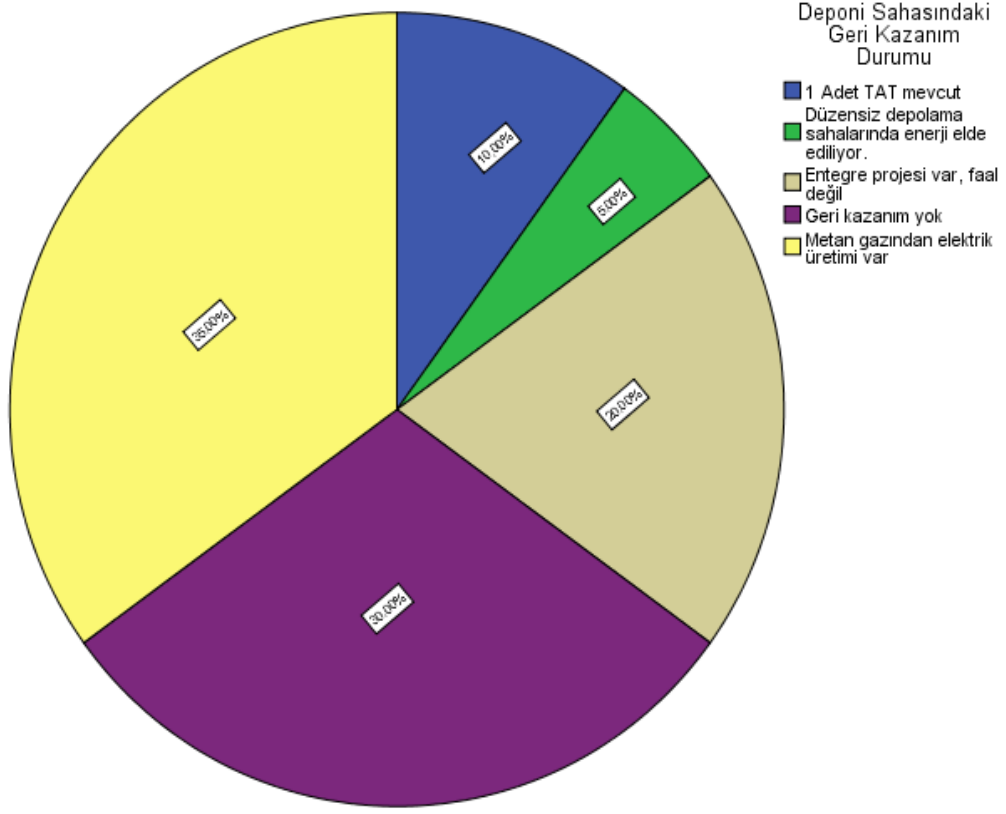


**Şekil 4.3:** Şehirlerin Kaynaktan Ayırma ve Bertaraf Yöntemi

Kaynaktan ayırma durumları bir önceki verilerle bakıldığında düzenli depolamaya geçişin tam olarak tamamlanamadığını göstermektedir. Belediyeler kaynaktan ayırma işlemi için belirli noktalara geri dönüşüm malzemesi ayırma kutuları koysa da toplama işlemini de ayrı yapacak organizasyon henüz gerçekleşmemiş durumda. Sadece bazı il merkezlerinde faaliyete geçmiş uygulamalar var.

#### 4.1.4 Deponi Sahasındaki Geri kazanım Durumu

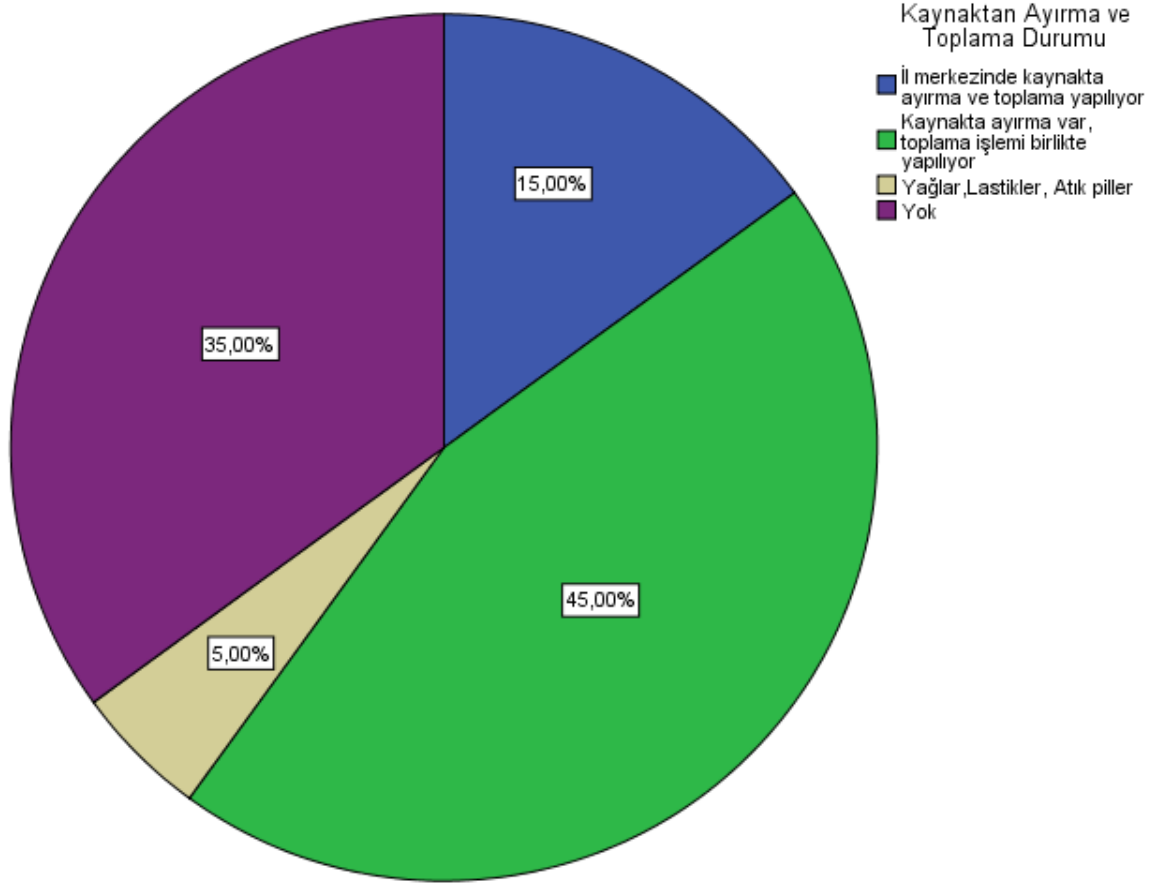
Ülkemizde birçok ilde kaynaktan toplama/ayırma ve geri kazanım stratejileri belli olmadığı gibi verimli olmayan bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Birçok ilde toplama ayırma işlemi etkin olarak deponi sahasında yapılmaktadır. Çünkü atıklar toplu halde aynı toplama aracı ile deponi sahasına karışık olarak taşınmaktadır. Deponi sahasında gerçekleştirilen geri kazanım faaliyetleri genellikle özel sektöre verilmektedir. Bu yolla toplama /ayırma ve geri kazanım faaliyetlerinin maliyetleri de artmaktadır. Hatta kâğıt gibi malzemeler ise organik atıklara bulaşınca geri kazanılamamaktadır. (Şekil 3.5).



Şekil 4.4: Deponi Sahasındaki Geri Kazanım Durumu

#### 4.1.5 Kaynaktan Ayırma ve Toplama Durumu

Kaynaktan toplama durumu elde edilen bilgiler ışığında büyük bir çoğunluğunun düzenli olarak toplanmadığı görülmüştür. Bu durum geri dönüşüm malzemelerine ulaşımı RDF ve diğer kullanılabilir teknolojilerin kullanılmasını zorlaştıracaktır (Şekil 3.6).



**Şekil 4.5:** Kaynaktan Ayırma ve Toplama Durumu

#### 4.1.6 Yeni Tesis Kurulumu İçin Sağlam Zemin Durumu

Toplanan verilerde atıkların depolandığı ve büyük bir çoğunluğunun işlenmediği görülmektedir. Atıkların toplanıp deponi sahalarında biriktirilip saha ömrü dolana kadar biriktirildiği görülmüştür. Ancak deponi sahalarıyla ilgili mecbur kalınmadıkça bir çalışma yapılmak istenmemektedir. Atıkların işlenmeden sadece biriktirilmesi deponi sahalarının ömrünü daha çabuk doldurmakta geri dönüşüm ve yakıt olarak kullanılacak atıkların ise kaybına sebep olmaktadır.

## 4.2 Çalışmanın Amacı

Yapılan çalışmada amaçlanan sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanmaktadır.

- Atıkların olumsuz çevresel etkilerinin ortadan kaldırılması
- Sıfır atık yaklaşımının oluşturulması
- Ülke ekonomisine kazanç sağlanması
- Atık sahasındaki sağlık riski ve kötü kokunun ortadan kaldırılması.
- Daha küçük arazilerde atık sorununun çözülmesidir.

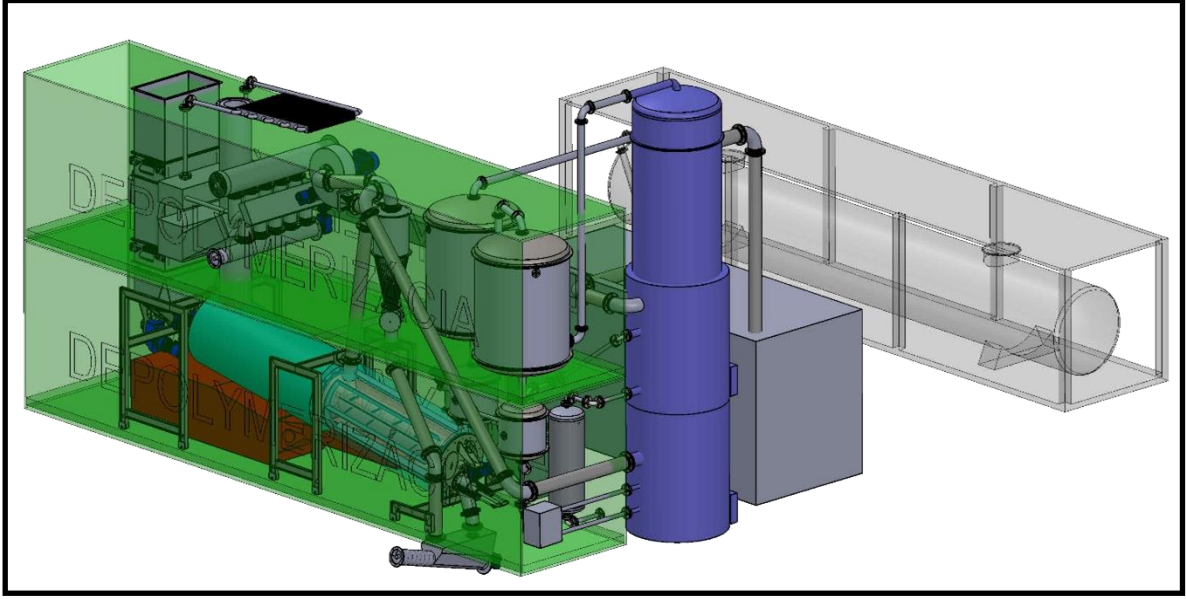
## 4.3 Depolimerizasyon

Bir polimerin bir monomer veya monomerlerin bir karışımına dönüştürülmesinin kimyasal prosesidir. Bütün polimerler, yüksek sıcaklıklarda depolimerleşir, bu da entropi artışının yol açtığı bir süreçtir. Özetle, kimyasal formülünde tekrar eden atomik yapı taşlarının uygun koşullar sağlanarak, bileşik öncesindeki haline geri çevirme reaksiyonudur.

### 4.3.1 Depolimerizasyon Ünitesi

Depolimerizasyon ile geri dönüştürülemeyen atıklardan yakıt üretimi özellikle son yıllarda Avrupa ülkelerinde kullanılmaya başlanmıştır. Slovakya’da pilot ölçekli bir tesis eski deponi sahasına kurulmuş ve burada elektrik üretimi yapılmaktadır. Çalışma kapsamında Danışman hocam teknik bir gezi yaparak sahada tesisin çalışmasını gözlemlemiştir ve değerli notlar/bilgiler edinmiştir.

Bu ölçekte sahaya kurulan bir depolimerizasyon ünitesinin deponi sahasında geri dönüşümden arta kalan atıklar bir bant vasıtasıyla üniteye beslenmektedir.



**Şekil 4.6:** Depolimerizasyon Ünitesi

Kimyasal açıklamalara bakılmaksızın, atıktan enerji üretimi endüstrisinde, genellikle polimerlerin bozunmasını başlatmak için opsiyonel olarak katalizör kullanan ve 600 ° C'nin altındaki sıcaklıkta çalışan cihazlar Depolimerizasyon Ünitesi olarak adlandırılırlar.

Bu çalışmada evsel katı atıkların bünyesinde var olan ve deponi sahalarında direk gömülerek önemli ekonomik kayba neden olan ADF maddeler için çevre dostu bir prosesin önerilmesi hedeflenmektedir. ADF maddeleri için kullanılmakta olan birçok değerlendirme metodu bulunmaktadır. Bunların içinden Depolimerizasyon metodu gerek yakıt üretimi ve gerekse bu yakıttan enerji üretimi esnasında çevreye zarar verilmemesi açısından değerlidir ve öne çıkmaktadır.

#### **4.3.2 Depolimerizasyon Sistemi**

Bu sistem ile evsel atıkların katı maddelerinden (beton, toprak, cam, metaller hariç) enerji bileşeni olarak kullanılabilen ikincil yakıt üretilebilmektedir.

Teknoloji, farklı kapasitelerde saatte **200 kg'dan-2500 kg'a** kadar işlem yapabilir ve %30-%60 arasında likit gaz yakıt ve %5- %15 arasında biochar üretir. %1 kadar da sanayi tipi tuz (NaCl) açığa çıkar.

Çöpler günlük olarak imha edilir. İşlem sırasında çevreye zehirli gaz salınımı olmaz. İhtiyaca göre günlük 10 tondan başlayarak sınırsız limitlerde tesisler kurulabilir. (Kaskad yapı)

Yeniden alan ihtiyacı olmaksızın tesis kendisini 5-6 yılda amorti eder.

Randımanlı çalışan ön ayrıştırma tesisi ile birikmiş çöpler de imha edilebilir.

#### **4.3.3 Depolimerizasyon Sisteminin Teknoloji Bileşenleri**

- Atıktan enerji üretim sistemi, üç temel teknolojik parçadan oluşmaktadır:
- Atık ön ayıklama ve parçalama,
- Depolimerizasyon Ünitesi (WP düşük sıcaklıkta, atıkların ikincil yakıt haline dönüştürülmesi, moleküler ayrıştırma, yoğunlaştırma ve depolama sistemleri),
- Kombine elektrik ve ısı üretimi (Kojeneratörler)

##### **4.3.3.1 Atık Ön Ayıklama ve Parçalama**

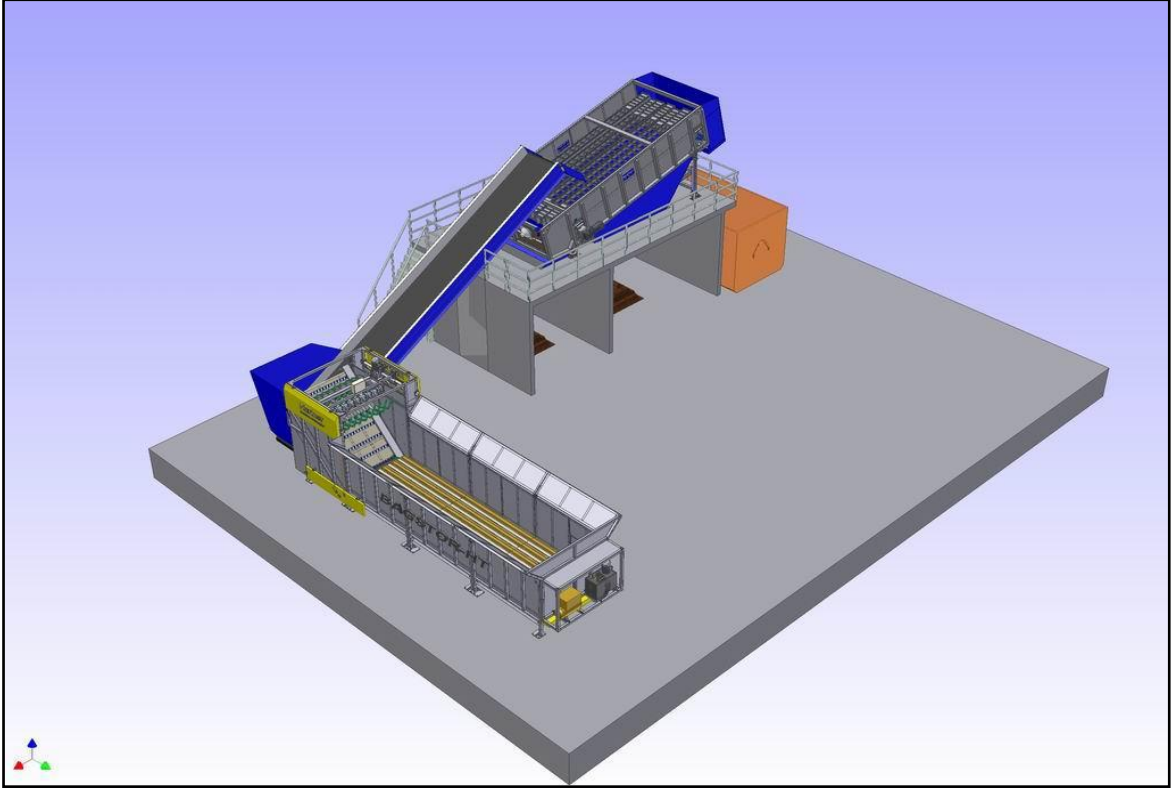
İlk aşama olarak, Belediye katı atığı (MSW), geri dönüştürülebilir atıklar (PET, teneke kutu, cam gibi), PVC (Çok miktarda klor içerdiğinden) ve inert parçacıklar (taşlar, tuğlalar vb) ayrıştırılır.

Ayıklanmış ve önceden tasnif edilmiş atık, ısı işlem öncesi, yaklaşık 80 mm boyutunda parçalanır ve ön işlem bölümündeki konveyörün ısıtma tüneline, reaktörün artık ısısıyla kurutulur.

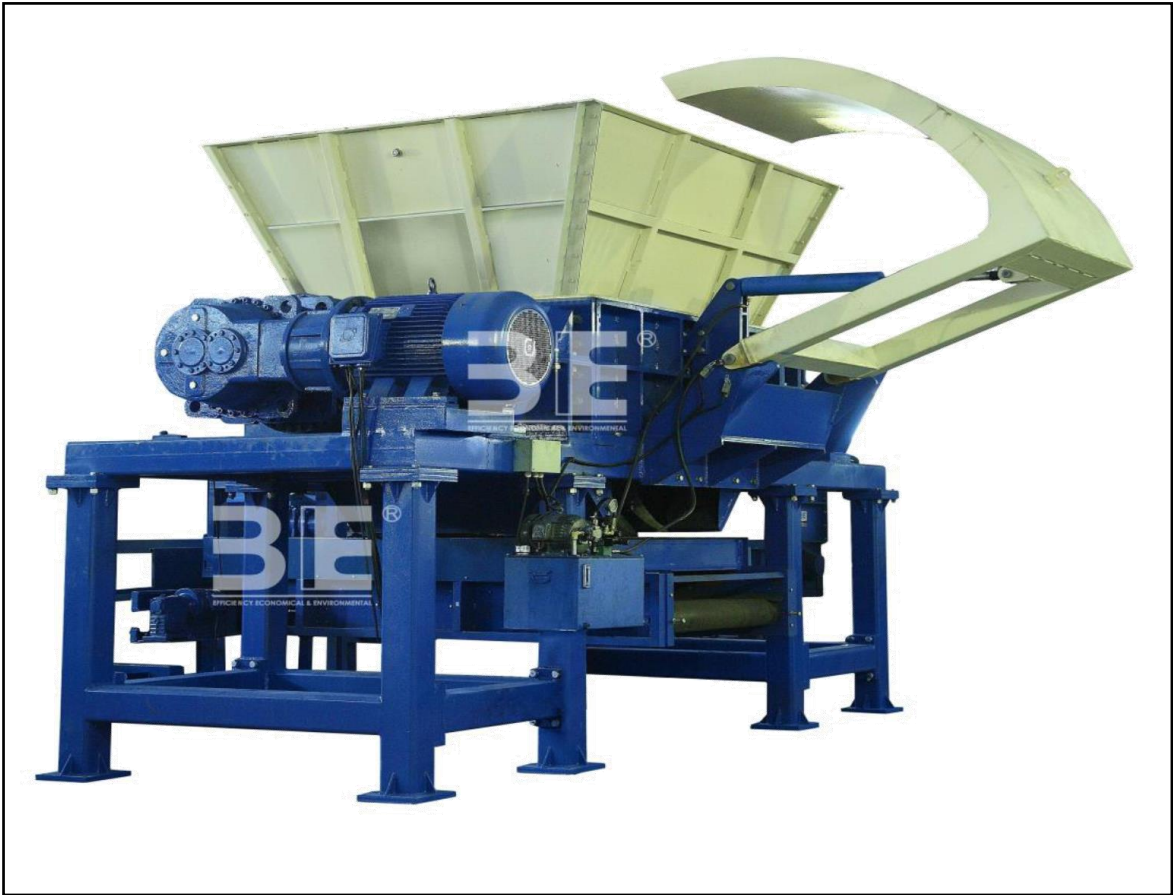
Bu bölümde 2 adet bunker ve balistik seperatör/trommel, 2 adet schreder, 2 adet hava seperatörü, 4 adet optik seperatör, 2 adet manyetik seperatör, 2 adet kurutucu düşünülmüştür.

Depolimerizasyon sistemi ile üretilen yakıt sıvı olabileceği gibi gaz da olabilmekte. Proses sıcaklığının ayarlanması ile düşük sıcaklıklarda sıvı yüksek sıcaklıklarda ise gaz yakıt üretilmektedir. Bu nedenle depolimerizasyon ünitesi ya bir kojeneratör ünitesiyle birleştirilerek elektrik üretimi yapılabilir. Ya da uygun bir motor kullanılarak yakıt olarak değerlendirilebilmektedir.





**Şekil 4.7:** Bunker ve Balistik Ayrıştırma



**Şekil 4.8:** Schreder (Kırıcı)



**Şekil 4.9:** Optik Seperator



**Şekil 4.10:** Air Separator (Kırıcı)



Şekil 4.11: Manyetik Separatörlü Kırıcı



Şekil 4.12: Dryer (Kurutucu)

#### **4.3.4 Depolimerizasyon Sisteminin Çalışma Prensibi**

Ön ayrıştırma yapılan atıklar, özel geometrisi olan ve mükemmel sıcaklık kontrolü özelliğine sahip, silindir biçimindeki reaktöre alınır. Termal atık işleme prosesi yaklaşık 300 ° C de, katı atıkların, özellikle su ve bazı halojenler gibi istenmeyen maddelerden ayrıştırıldığı ve homojen bir karışıma dönüştürüldüğü ön bölmede başlar.

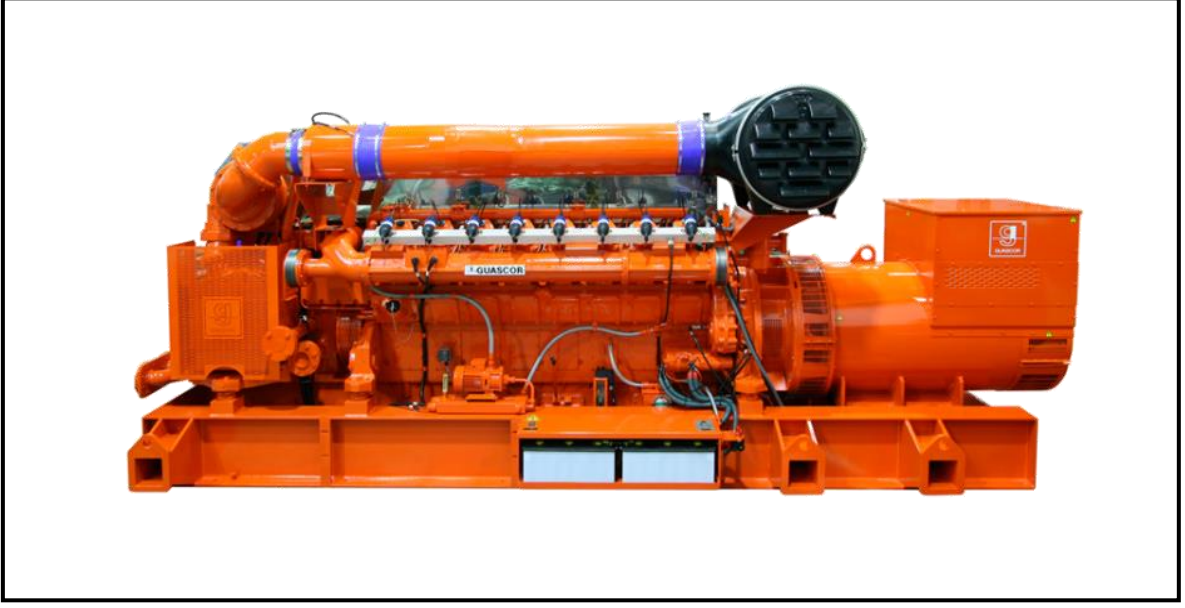
Ön bölmede hazırlanan karışım daha sonra 520 ° C'ye kadar olan sıcaklıkla çalışan ana bölmede işlenir. Burada fiili depolimerizasyon, yani işlenen atıkların katı ve gaz halinde fraksiyonunun ayrılması gerçekleşir.

Ön ve ana bölme, hibrit brülörler kullanılarak özel kazan vasıtasıyla kendi yakıtıyla ısıtılır. Depolimerizasyon cihazının bir kısmı, yüksek basınçla ve bir kısmı atmosferik basıncın biraz altında çalışır.

Gaz halindeki fraksiyonun karbon zincirlerine parçalama işlemi, ikinci depolimerizasyon işleminin meydana geldiği ve patentli termal parçalama (Cracking) ekipmanında homojen dağılımları sağlanacak şekilde gerçekleşir.

Reaktörde, saflaştırılmış hammaddelerin termal ayrışımı, nihai çıktı olarak istenen ürünlere bağlı olarak farklı sıcaklıklarda gerçekleşir. (Termal ayrıştırma) son derece önemli ve patentli bir yıkama işleminden sonra gazlar kullanıma hazır hale getirilir. Yüksek çevre standartlarına uyumu sağlamak için, tüm süreçte çevre kirletici maddeler ayıklanmaktadır.

#### 4.3.4.1 Kombine elektrik ve ısı üretimi (Kojeneratörler)



Şekil 4.13: Kojeneratör

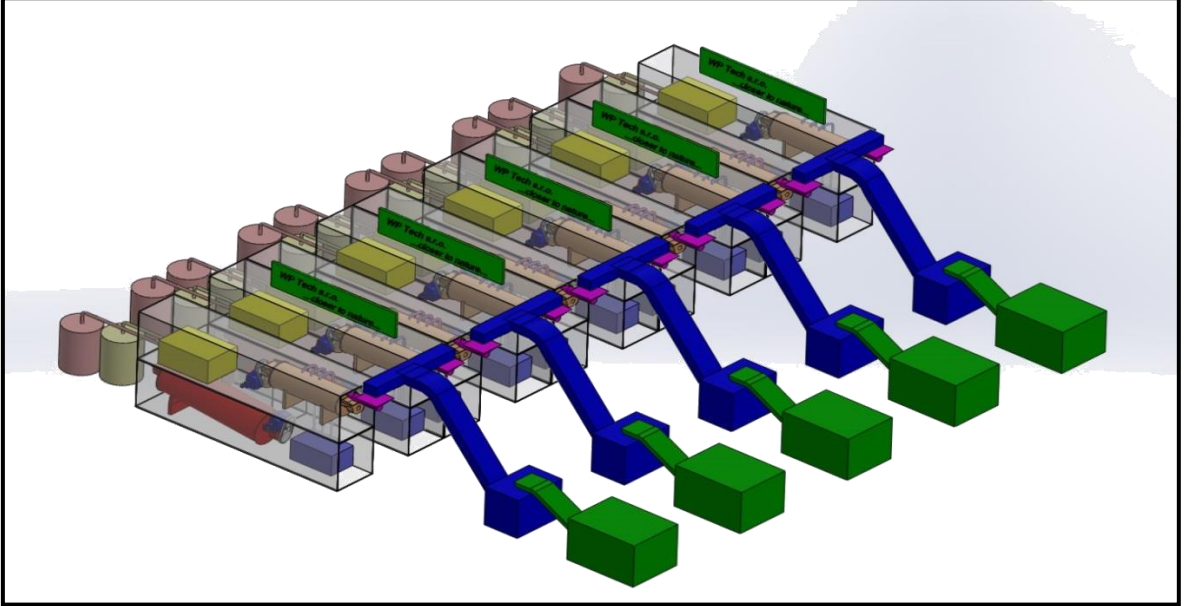
Kojeneratörlere aktarılan gaz yakılarak elektrik enerjisi ve ısıya dönüştürülerek hem ülke ekonomisine katkı sağlanmakta hem de çevreci bir yaklaşımla sera gazlarının etkisini minimize etmektedir.

#### 4.3.4.2 ISP WP teknolojisinin benzer teknolojilerden farkları

1. Ardışık sürekli (continuous) atık işleyebilir. (Proses süresince tek seferde cihaz içine atık alan sistemlere göre atık daha fazla bölmede işlenir.)
2. Dört aşamalı kirletici atık arıtma sistemine sahiptir.
3. Daha düşük basınç ve sıcaklıklarda çalışır, böylece riskleri daha aza indirir.
4. Verim daha fazladır. (Atık daha fazla bölmede daha düşük sıcaklıklarda işleme girdiğinden olabildiğince fazla enerji alınır.)
5. Kaskad kurulum kabiliyeti sayesinde kapasite arttırmaya ve azaltmaya imkân sağlar.

#### 4.3.4.3 Kaskad Sistemi

1. Düşük bakım maliyeti
2. Hızlı kapasite arttırımı
3. İşletme riskleri azaltılır.
4. Atık nakliyesinden %50 tasarruf sağlanabilir.



Şekil 4.14: Kaskad Sistemi

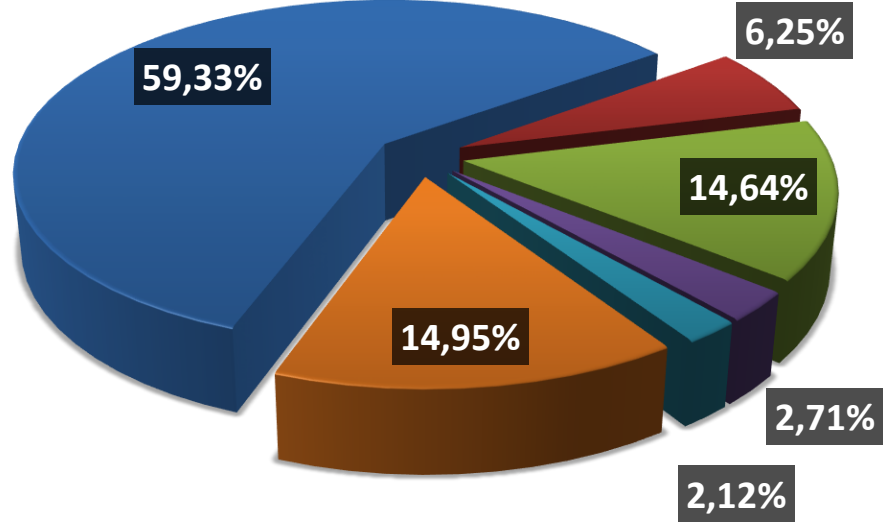
## **5. SONUÇLAR**

### **5.1 ATY'nin Türkiye'de uygulanabilirliği ve uygulama alanları**

Türkiye'de şu an ATY işleyen tesisler mevcut ve daha fazla ATY işlenebilmesi için gerekli alt yapılar (TAT – Kaynakta Ayırma vb) mevcut durumda. Fizibilite çalışması yaparken gözden kaçmaması gereken şeyin Doğu Anadolu Bölgesinde ve Karadeniz Bölgesinde düzenli depolama alanlarına geçişin yeni yeni projelendirmesi oldu. Bu süreçlerde atılacak adımlar yeni kaynaklar ve ATY kullanımını daha verimli hale getiren yeni teknolojiler olursa ülke ekonomisine katkı yapacağını ve çevre kirliliğine önlemede önemli rol oynayacağı gözle görülür bir gerçek. Şu an için ATY dünya genelinde olduğu gibi Türkiye'de de çimento fabrikalarında alternatif yakıt olarak kullanılıyor sadece.

ATY'nin kalorifik değerlerini ele alındığında cinsine göre yaklaşık 3000kcal/kg ile 4000 kcal/kg arasında değiştiği bilinmekte. Yerli yakıtların ortalama kalorifik değerleri ise 2000kcal/kg olduğu göz önünde tutulduğunda ve Türkiye'deki katı atık karakterizasyonuna bakıldığında ATY'nin alternatif yakıt olarak ön plana çıkması kaçınılmaz bir durumdur. Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Depolimerizasyon için müsait alanlar mevcutken, bölgenin katı atık karakterizasyonunun da sisteme uygun olması, böyle bir teknolojinin bölgede planlanması ülke ekonomisine ve sıfır atık kapsamında yapılan çalışmalara örnek olabilecek potansiyelde olduğu öngörülmektedir.

## ATIK KARAKTERİZASYONU



■ Mutfak ■ Kağıt ■ Plastik ■ Cam ■ Metal ■ Diğer

Şekil 5.1: Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Atık Karakterizasyonu

### 5.2 Gelir Potansiyeli

300 ton gün kapasiteli tesiste yaklaşık 3 MWh üretim için, 3 MW güç üzerinden hesaplama yapılmıştır.

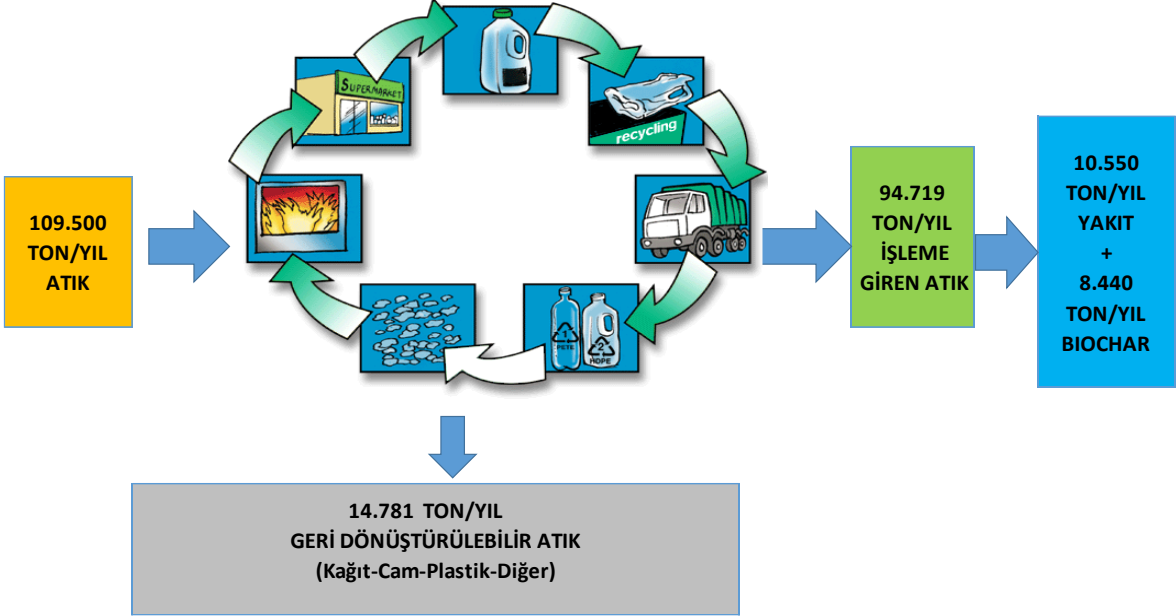
Gelen çöpün enerji değerinin artması ve azalmasına bağlı olarak gelirler ve giderler değişebilir.

Ortalama değerler alınmıştır (Şekil 5.1).

- 3 MW x 20 saat x 300 gün x 133 USD/MW (Devletin alış garantisi verdiği)
- Ön ayrıştırmada günlük yaklaşık 40.495 kg işlemsiz paraya çevrilebilir atık
- 6.074 USD /gün x 300 gün = 1.822.275 USD
- 2.485.489 USD + 1.822.275 USD = 4.307.764 USD Toplam Gelir
- Yıllık olarakta 8.440 ton/yıl biochar elde edilir.



Günlük Yaklaşık Atık Miktarı	Yıllık Miktar	Gerİ Dönüştürülebilir Atık	Gerİ Dönüştürülebilir Atık	İşleme Giren Atık	Yakıt Ton	Yıllık Üretilen Isı	Yıllık Üretilen Elektrik	Devletin Alışı
Ton	Ton	13,50%	0,15 Usd/Kg	86,50%	9,64%	MWh <sub>t</sub>	MWh <sub>e</sub>	13,3 Usd/Cent
300	109.500	14.781	1.457.824	94.719	10.550	28.720	27.284	2.982.586 \$



Şekil 5.2: 300 ton/gün için yaklaşık hesap şablonu

### 5.3 Gider Hesaplaması

Toplam işletme personeli 50 personel (vardiyalar ve yedeklerin toplamı) ortalama

- Yıllık periyodik servis ve bakım giderleri 400.000 USD
- 4 yılda bir ek büyük bakım gideri 400.000 USD
- 50 personel x 1.000 USD maaş x 12 = 600.000 USD toplam maaş gideri
- 500.000 USD ortalama yıllık bakım

Hesaplama;

600.000 USD + 500.000 USD = 1.100.000 USD toplam gider.

### 5.4 Kurulabilecek Tesisin Yaklaşık Maaliyet Tablosu

Tesis kurulumu için personel ve bakım giderleri de göz önünde bulundurularak yaklaşık yatırım maaliyeti hesaplanmıştır. Toplanan katı atığın kalitesi yatırımın geri dönüş süresine doğrudan etki gösterir. Tesisin amortisman süresi yaklaşık 5-7 yıl olarak öngörülmüştür. İşletme sigortalama maaliyeti hesaplamalarda dahil edilmemiştir (Şekil 5.3).

YATIRIM		
Teknolojik Sistem Kurulumu	10.500.000	EURO
İnşaat ve İzinler	3.500.000	EURO
Nakliye, Ön Ayrıştırma, Devreye Alma	3.000.000	EURO
GELİRLER		
Yıllık Elektrik Geliri	2.485.489	USD
Geri Dönüştürülebilir Atık	1.822.275	USD
<b>TOPLAM GELİR</b>	<b>4.307.764</b>	<b>USD</b>
GİDERLER		
Yıllık Personel Maaşı	600.000	USD
Yıllık Bakım Masrafı	500.000	USD
<b>TOPLAM GİDER</b>	<b>1.100.000</b>	<b>USD</b>
TASARRUF KALEMLERİ		
Yakıt Tasarrufu	450.000	USD
Personel Zaman Tasarrufu	500.000	USD
Biochar Tasarrufu	490.713	USD
<b>TOPLAM TASARRUF</b>	<b>1.440.713</b>	<b>USD</b>
<b>Toplam Gelir</b>	<b>4.307.764</b>	<b>USD</b>
<b>Toplam Gider</b>	<b>1.100.000</b>	<b>USD</b>
<b>GENEL TOPLAM</b>	<b>3.207.764</b>	<b>USD</b>

**Şekil 5.3:** 300 ton/günlük Tesis'in Yaklaşık Maaliyet Tablosu

Çalışmada 2 adet yerleşim yeri belirlenmiştir. Bu yerleşim yerlerinin belli bir bölgeyi karakterize etmesi amaçlanmıştır. Hazırlanan bir anket saha ziyaretleri yapılarak yerleşim yerleri katı atık bertaraf sorumlu personelleri ile uygulanmış ve tespitler yapılmıştır. Bu tespitler ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Ülkemizin genel yaklaşımını da temsil edecek şekilde birçok ilin bilimsel temellere dayanan bir katı atık yönetim planlaması bulunmaktadır.
- Katı atıkların toplama ve taşınmasında ve de deponi sahalarının işletilmesinde ciddi sorunlar yaşanabilmektedir.
- Yerleşim yerlerinin çok büyük kısmında etkin bir yerinde ayırma ve toplama yapılmaktadır.
- Birçok yerleşim yerinde etkin ayrıca işlemi deponi sahalarında ve çoğunlukla kontrolsüz yapılmakta ve bu ekonomik kayba neden olmaktadır.
- Kaynakta ayırım yapılmadığı için geri dönüştürülebilecek atıklar organik maddeler ile buluşmakta ve ekonomik değerleri azaltmakta veya da geri dönüştürülmektedir.

- Geri dönüştürülmeyen/ dönüştürülemeyen atıkların deponi sahalarında depolanması sahaların kullanım ömrünü azaltmaktadır. Ayrıca sahada eğer çöp gazı üretimi ile ilgili planlama yapılacaksa verimleri düşük olmaktadır.
- Geri dönüştürülemeyen atıkların yaklaşık toplam katı atıktaki oranı %15-20 civarındadır. Bu atıklardan yakıt üretimi sağlanırsa sahaların ömrü de o kadar uzatmış olacaktır.
- RDF'ler için çok çeşitli metotlar kullanılarak enerji elde edilmesi söz konusudur.
- Depolimerizasyon sistemi bir RDF'den yakıt ve enerji üretim sistemi olarak ön plana çıkmaktadır.
- Depolimerizasyon sistemleri modüler ve kurulumu işletilmesi ve genişletilmesi kolay sistemler olduğu için hemen her yerleşim yerine uygulanmaktadır.
- Depolimerizasyon sistemi gaz ve sıvı yakıt üretebilme esnekliğine sahip sistemlerdir. İstendiğinde üretilen sıvı akışkandan asfalt malzemesi üretilebilir.
- Depolimerizasyon sisteminden atmosferik kirleticiler çıkmaktadır. (Çoğunlukla oluşmamaktadır.) İşlem düşük sıcaklıkta gerçekleştiği için direkt yakında oluşan kirleticiler oluşmamaktadır.
- Depolimerizasyon sisteminden katı atık olarak çıkan biochar değerli bir malzemedir ve toprak iyileştirmede kullanım alanı vardır.
- Depolimerizasyon sisteminden %1 oranında atık tuz çıkmaktadır. Bu da ticari değeri olan bir malzemedir.
- Sonuç olarak bu çalışmada Depolimerizasyon sisteminin Ülkemiz şartlarında atıktan enerji üretimi sağlayacak ekonomik kolay uygulanabilir ve çevreye zararı olmayan bir seçenek olduğu kanaatine varılmıştır.

## 6. KAYNAKLAR (IEEE)

- [1] EPA. Municipal solid waste. 2014, 13.06.2014
- [2] Hoornweg D, Bhada-Tata P. What a Waste : A Global Review of Solid Waste Management. Washington, DC: World Bank, 2012.
- [3] Heimlich J, Hughes K, Christy A. Integrated Solid Waste Management. 2007
- [4] Nemet A, Varbanov P, Klemeš J. Waste-to-Energy Technologies Performance Evaluation Techniques, 2011.
- [5] Karaca Y. Atık yönetimi konusundaki mevcut-yeni yönetmelikler ve uygulamaları eğitim programı. In: *Proceedings of 2008*, Marmaris
- [6] Chyang C-S, Han Y-L, Wu L-W, Wan H-P, Lee H-T, Chang Y-H. An investigation on pollutant emissions from co-firing of RDF and coal. *Waste Management*, 2010, 30(7): 1334-1340.
- [7] Abd Kadir S A S, Yin C-Y, Rosli Sulaiman M, Chen X, El-Harbawi M. Incineration of municipal solid waste in Malaysia: Salient issues, policies and waste-to-energy initiatives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, 24: 181-186.
- [8] Reza B, Soltani A, Ruparathna R, Sadiq R, Hewage K. Environmental and economic aspects of production and utilization of RDF as alternative fuel in cement plants: A case study of Metro Vancouver Waste Management. *Resources, Conservation and Recycling*, 2013, 81: 105-114.
- [9] Minghua Z, Xiumin F, Rovetta A, Qichang H, Vicentini F, Bingkai L, Giusti A, Yi L. Municipal solid waste management in Pudong New Area, China. *Waste Management*, 2009, 29(3): 1227-1233.
- [10] Pretz T, Khoury A, Uepping R, Glorius T, van Tubergen J. Solid recovered fuels-contribution to BREF waste treatment, 2004.
- [11] Gawlik B M, Sobiecka E, Vaccaro S, Ciceri G. Quality management organisation, validation of standards, developments and inquiries for solid-recovered fuels—An overview on the QUOVADIS-Project. *Energy Policy*, 2007, 35(12): 6293-6298.
- [12] Gendebien A, Leavens A, Blackmore K, Godley A, Lewin K, Whiting K J, Davis R. Refuse derived fuel, current practice and perspectives. Fin. Rep. for the Eur. Comm.-Directorate General Environ., 2003: 1-8.
- [13] Bosmans A, Vanderreydt I, Geysen D, Helsen L. The crucial role of Waste-to-Energy technologies in enhanced landfill mining: a technology review. *Journal of Cleaner Production*, 2013, 55: 10-23.

[14] Piao G, Aono S, Kondoh M, Yamazaki R, Mori S. Combustion test of refuse derived fuel in a fluidized bed. *Waste Management*, 2000, 20(5): 443-447.

[15] Lockwood F C, Ou J J. Review: Burning Refuse-Derived Fuel in a Rotary Cement Kiln. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 1993, 207(1): 65-70.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Emre Can Demir

Doğum tarihi ve yeri : 21.03.1995- Şahinbey

e-posta : emrecan0227@hotmail.com

### Öğrenim Bilgileri

Derece	Okul/Program	Yıl
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/ÇevreMühendisliği	2023
Lisans	Balıkesir Üniversitesi/ Çevre Mühendisliği	2018
Lise	Hasan Süzer Anadolu Lisesi, Gaziantep	2013