

HAZİRAN 2019

Yüksek Lisans Çevre Bilimleri ve Enerji Yönetimi

MUSTAFA YILMAZ

T.C.  
HASAN KALYONCU ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BALIKESİR İLİ EVSEL KATI ATIKLARININ  
BERTARAFINDA UYGUN TERMAL YÖNTEMİN  
SEÇİLMESİ

ÇEVRE BİLİMLERİ VE ENERJİ YÖNETİMİ  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUSTAFA YILMAZ  
HAZİRAN 2019

**Balıkesir İli Evsel Katı Atıklarının Bertarafında Uygun Termal  
Yöntemin Seçilmesi**

**Hasan Kalyoncu Üniversitesi**  
**Çevre Bilimleri ve Enerji Yönetimi**  
**Yüksek Lisans Tezi**

**Danışman**

**Dr. Öğr. Üyesi Adem YURTSEVER**

**Mustafa YILMAZ**

**Haziran 2019**



© 2019 [Mustafa YILMAZ]



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE  
YÜKSEK LİSANS KABUL VE ONAY FORMU**

**Çevre Bilimleri ve Enerji Yönetimi Anabilim Dalı** Tezli Yüksek Lisans Programı öğrencisi **Mustafa YILMAZ** tarafından hazırlanan **“Balıkesir İli Evsel Katı Atıklarının Bertarafında Uygun Termal Yöntemin Seçilmesi”** başlıklı tez 25/06/2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucu **başarılı** bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

**Görevi**

**Unvanı, Adı ve Soyadı**

**İmzası:**

**Kurumu/Üniversitesi**

**Tez Danışmanı**

**Dr. Öğr. Üyesi Adem YURTSEVER**  
Hasan Kalyoncu Üniversitesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü

**Jüri Başkanı**

**Prof. Dr. Sinan UYANIK**  
Harran Üniversitesi  
Çevre Mühendisliği Bölümü

**Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Mehmet KARPUZCU**  
Hasan Kalyoncu Üniversitesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü

**Bu tez Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu kararı ile onaylanmıştır.**

**Prof. Dr. Mehmet KARPUZCU**  
Enstitü Müdürü

**İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.**

**Mustafa YILMAZ**

## ÖZET

### BALIKESİR İLİ EVSEL KATI ATIKLARININ BERTARAFINDA UYGUN TERMAL YÖNTEMİN SEÇİLMESİ

YILMAZ, Mustafa

Yüksek Lisans Tezi Çevre Bilimleri ve Enerji Yönetimi Anabilim Dalı  
Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Adem YURTSEVER

Haziran, 2019

101 sayfa

Avrupa Birliği Uyum sürecinde Ülkemizde atık yönetimine ilişkin çevre yönetimi politikaları oluşturulmuş ve çevrenin korunması için atık oluşumunun önlenmesi, mümkün olmadığı durumda atıkların yeniden kullanılması eğer kullanılamıyorsa geri dönüştürülmesi, geri kazanılması mümkün olmayan atıkların ise enerji geri kazanımında kullanılması veya nihai olarak düzenli depolama sahalarında güvenli şekilde bertaraf edilmesi gibi bir takım yasal düzenlemeler yapılmıştır. Tüm çalışmalara rağmen tüketimin hızla artması neticesinde kişi başına üretilen atık miktarı sürekli olarak artış göstermiştir. Balıkesir ili genelinde milli park, sit alanı, zeytinlik ve mera arazilerinin fazla olmasından dolayı entegre katı atık tesisi yer seçiminde alan sıkıntısı yaşanmıştır. Atıkların düzenli depolanması için yer sıkıntısı bulunan ve ekonomisi gelişmiş ülkelerde tercih nedeni olan termal yöntemlerin temel faydası atıkların kütleli ve hacimsel olarak azaltılması olmakla beraber atık içerisinde bulunan ve termal yöntemler sonucunda ortaya çıkan ısının kullanılarak enerji geri kazanımı sağlanmasıdır.

Evsel atık bertarafında kullanılan termal yöntemler Avrupada 60 yılı aşkın süredir kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada Dünyada ve Avrupada evsel katı atıklarla ilgili deneyimlerden örneklerde verilmiştir. Yine bu çalışmada Balıkesir'de uygulanan katı atık yönetim planı çerçevesinde evsel nitelikli katı atıklara uygulanabilirliği öngörülen termal bertaraf yöntemlerinden yakma, piroliz ve gazifikasyon sistemleri incelenmiştir.

Balıkesir ilinde oluşan evsel nitelikli belediye katı atıklarındaki karakterizasyonu etkileyen değişkenler incelenerek (nüfus, iklim şartları, bölgesel farklılık) nüfus projeksiyonu, atık yönetimi ve atık karakterizasyonuna dayalı kalorifik değerlere uygun termal bertaraf yöntemi olarak yakma teknolojisinin daha uygun olduğu belirlenmiştir. Yakma tesisinden elde edilecek enerji geri kazanımı (Elektrik üretimi) hesaplamasında atığın düşük kalorifik değeri tüm mevsimlerde 8 MJ/kg olacak şekilde kabul edilmiş ve toplam elektrik enerjisi üretimi 87.360 MWh hesaplanmıştır.

Bu çalışma sonucunda; Balıkesir evsel atıklarına termal bertaraf yöntemlerinden yakma teknolojisinin uygulanabileceği, bütüncül bir atık yönetimi yaklaşımı ile,

atık toplama konteynerlerinin değiştirilmesi ile birlikte ikili toplama sistemine geçilmesi ve kalorifik değeri yüksek olan atıkların direk yakma ünitesine alınarak yakma sisteminin başarılı ve sürdürülebilirliğin sağlanması için elektrik üretiminden ilave gelirler elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Katı Atık, Atık Yönetimi, Yakma, Piroлиз, Gazifikasyon, Enerji, Termal Atık Bertaraf Yöntemleri



## **ABSTRACT**

### **SELECTION OF SUITABLE THERMAL METHOD FOR DISPOSAL OF DOMESTIC SOLID WASTES IN BALIKESIR**

YILMAZ, Mustafa

M.Sc. in Environmental Science and Energy Management Program

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Adem YURTSEVER

June, 2019

101 pages

In the European Union harmonization process, environmental management policies established, prevention of waste generation for environmental protection, reuse of wastes where this is not possible, recycling if not available, in the case of non-recyclable wastes, some legal arrangements have been made such as using them for energy recovery or finally disposing of them safely in landfills. Despite all the studies, as a result of the rapid increase in consumption, the amount of waste produced per capita has increased continuously. Due to the excess of national park, protected area, olive groves and pasture lands in Balıkesir province, there was a shortage of areas in the selection of the integrated solid waste facility site. The main benefit of thermal methods preferred in economically developed countries, where there is a lack of space for the regular storage of wastes, is the mass and volume reduction of wastes and the recovery of energy by using the heat contained in the waste resulting.

Thermal methods used for domestic waste disposal have been used in Europe for more than 60 years. In this study, examples from domestic solid waste experiences in the world and in Europe are also given. In this study, incineration, pyrolysis and gasification systems which are considered to be applicable to domestic solid wastes within the framework of solid waste management plan applied in Balıkesir are examined.

When the variables affecting the characterization of domestic municipal solid wastes (population, climatic conditions, regional differences) in Balıkesir province were analyzed, it was determined that incineration technology is a more suitable thermal disposal method based on population projection, waste management and waste characterization. In the calculation of the energy recovery from the incineration plant (electricity generation), the low calorific value of the waste was assumed to be 8 MJ/kg in all seasons and the total electricity production was calculated as 87.360 MWh.

As a result of this study; It is concluded that thermal disposal methods of incineration technology can be applied to Balıkesir household wastes, the waste collection containers can be replaced with a holistic integrated waste management approach,



increase the calorific values of the wastes with the dual collection system and ensure that the success and sustainability of the incineration system can be ensured by taking the wastes with high calorific value to the direct incineration unit and thus additional revenues from electricity generation can be obtained.

**Keywords:** Solid Waste, Management of Solid Waste, Incineration, Pyrolysis, Gasification, Energy, Thermal Disposal Methods.



## TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Adem Yurtsever'e, ilgisini esirgemeyen, tez konusunun belirlenmesinde ve yön tayininde destek olan değerli hocam Prof. Dr. Mehmet Karpuzcu'ya sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Araőtırmalarım sırasında bilgi birimkilerini paylaşmaktan kaçınmayan kamu kurum ve kuruluşlarının ve enerji sektörünün değerli yöneticilerine, ayrıca çalıőmalarım boyunca desteklerini hiç esirgemeyen değerli mesai arkadaşlarıma, manevi desteğini her an yanımda hissettiğim aileme teşekkürü bir borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>ÖZET</b> .....	<b>V</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>VII</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>IX</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>X</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>XIII</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>XV</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>XVI</b>
<b>BÖLÜM 1</b> .....	<b>1</b>
<b>GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Genel Bakış.....	1
1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı .....	1
<b>BÖLÜM 2</b> .....	<b>2</b>
<b>LİTERATÜR İNCELEMESİ</b> .....	<b>2</b>
2.1 Atık Yönetiminde Genel Yaklaşım .....	2
2.1.1 Atık Yönetimi Hiyerarşisi .....	4
2.1.2 Atık Yönetimi Mevzuatı.....	4
2.2 Sürdürülebilir Entegre Atık Yönetimi .....	6
2.3 Termal Bertaraf Yöntemleri .....	8
2.3.1 Genel Bakış.....	9
2.3.2 Dünya Genelinde Belediye Katı Atık Yönetimi.....	9
2.3.3 Avrupa'da Evsel Katı Atık Yönetimi.....	10
2.3.4 Yakma.....	12
2.3.4.1 Izgara Fırın .....	16
2.3.4.2 Döner Fırın .....	17
2.3.4.3 Akışkan Yataklı Fırın .....	19
2.3.5 Gazifikasyon.....	22
2.3.5.1 Gazlaştırmanın Kimyası ve Aşamaları .....	23

2.3.5.2 Gazlaştırmayı Etkileyen Faktörler.....	25
2.3.5.3 Biyokütlenin Gazlaştırılması ve Dünya'daki Uygulamaları .....	31
2.3.6 Piroliz.....	33
2.3.6.1 Artılar.....	35
2.3.6.2 Eksiler .....	36
2.3.6.3 Proses Ürünlerinin Kullanımı.....	37
2.3.7 Enerji Geri Kazanımı.....	41
2.3.8 Yakma Tesisleri İçin Çevresel Kirlilik Kontrolü Tedbirleri .....	42
<b>BÖLÜM 3.....</b>	<b>44</b>
<b>BALIKESİR İLİ TANITIMI .....</b>	<b>44</b>
3.1 Coğrafi Yapısı.....	44
3.2 İklimi ve Bitki Örtüsü.....	45
3.3 Nüfus .....	45
3.4 Sosyo-Ekonomik Yapı.....	46
3.5 Belediye Atığı Verileri .....	47
<b>BÖLÜM 4.....</b>	<b>50</b>
<b>BALIKESİR İLİ EVSEL ATIK YÖNETİMİ .....</b>	<b>50</b>
4.1 Atık Yönetimi Faaliyetleri.....	50
4.1.1 Toplama ve Taşıma Sistemi .....	51
4.1.2 Aktarma İstasyonları.....	53
4.1.3 Düzenli Depolama Sahaları .....	55
4.1.4 Düzensiz Depolama Sahaları.....	55
4.2 Nüfus Ve Atık Projeksiyonu.....	55
4.2.4 UNDP Yaklaşımı.....	55
4.2.5 Seçilen Nüfus Projeksiyonu.....	57
4.3 Evsel Atık Projeksiyonu .....	59
4.4 Evsel Atıkların Karakterizasyonun Tespit Edilmesi .....	61
4.4.1 Karakterizasyon Çalışması .....	62
4.4.2 Karakterizasyon Çalışmasının Sonuçları.....	65
4.4.3 Karakterizasyon Çalışması Sonrası Laboratuvar Analizleri.....	66
<b>BÖLÜM 5.....</b>	<b>73</b>
<b>BULGULAR VE TARTIŞMA .....</b>	<b>73</b>
5.1 Bulgular .....	73
5.2 Tartışma .....	78

<b>BÖLÜM 6</b> .....	<b>88</b>
<b>SONUÇ VE ÖNERİLER</b> .....	<b>88</b>
6.1 Sonuç .....	88
6.2 Öneriler .....	90
<b>KAYNAKÇA</b> .....	<b>92</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>101</b>



## TABLolar LİSTESİ

	Sayfa
<b>Tablo 2.1</b> Bazı İllerde Kişi Başına Oluşan Atık Miktarları (kg/kişi-gün).....	3
<b>Tablo 2.2</b> Atık Yönetimi Mevzuatı .....	6
<b>Tablo 2.3</b> Ulusal Atık Yönetim Planı.....	8
<b>Tablo 2.4</b> MSW Enerji Eşdeğeri .....	12
<b>Tablo 2.5</b> Yanmada Karşılaşılan Elementler ve Bileşikler .....	12
<b>Tablo 2.6</b> Yanmanın Kimyasal Reaksiyonları (Velzy ve Grillo 2007).....	13
<b>Tablo 2.7</b> Izgaralı Yakma Sistemleri Avantaj ve Dezavantajları .....	17
<b>Tablo 2.8</b> Üç Yakma Tipinin Proses Özellikleri .....	21
<b>Tablo 2.9</b> Yakma Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları .....	22
<b>Tablo 2.10</b> Biyo atık gazlaştırma için yaygın olarak kullanılan reaktör sistemleri ve avantajları/dezavantajları. ....	26
<b>Tablo 2.11</b> Yakma, Piroliz ve Gazifikasyon Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	38
<b>Tablo 2.12</b> Tipik Reaksiyon Koşulları ve Elde Edilen Ürünler .....	38
<b>Tablo 3.1</b> Yıllara Göre Nüfus Durumu .....	46
<b>Tablo 3.2</b> Balıkesir İli 20 İlçedeki Atık Miktarları .....	49
<b>Tablo 4.1</b> Evsel Atıkları Toplama ve Taşıma Sistemi.....	52
<b>Tablo 4.2</b> Birleşmiş Milletler Kalkınma Programının Öngördüğü 2010-2055 Yılları Arasında Türkiye'nin Nüfus Artış Hızları .....	56
<b>Tablo 4.3</b> Kış Dönemi (9 ay) Atık Miktar ve Nüfus Projeksiyonu .....	60
<b>Tablo 4.4</b> Yaz Dönemi (3 ay) Atık Miktar ve Nüfus Projeksiyonu .....	60
<b>Tablo 4.5</b> Balıkesir Kış Dönemi Katı Atık Karakterizasyonu Çalışması İçin Alınan Numunelerin Bilgi ve Verileri .....	63
<b>Tablo 4.6</b> Balıkesir Yaz Dönemi Katı Atık Karakterizasyonu Çalışması İçin Alınan Numunelerin Bilgi ve Verileri .....	63
<b>Tablo 4.7</b> Katı Atık Karakterizasyonu Madde Grupları.....	64
<b>Tablo 4.8</b> Atık Muhtevasının Sosya Ekonomik Duruma Göre % Değişimi .....	66
<b>Tablo 4.9</b> Laboratuvar Analizi Sonuçları (Kış Dönemi).....	67
<b>Tablo 4.10</b> Laboratuvar Analizi Sonuçları (Yaz Dönemi).....	67
<b>Tablo 4.11</b> Balıkesir Katı Atık Yönetim Sistemi Bileşenleri ve Özellikleri .....	71
<b>Tablo 4.12</b> Balıkesir Termal Proses Kapasitesi.....	72

<b>Tablo 5.1</b> Balıkesir İli Evsel Katı Atıklardan Elde Edilebilecek Enerji Miktarına Ait Hesaplamalar.....	75
<b>Tablo 5.2</b> Termal Proseslerin Değerlendirilmesi.....	77
<b>Tablo 5.3</b> AB'de Evsel Atık Yönetimi Maliyetleri.....	80
<b>Tablo 5.4</b> Farklı Üye Ülkeledeki Yakma Tesisleri Finansal Karşılaştırması .....	80
<b>Tablo 5.5</b> Yakma Tesisleri Yatırım ve İşletme Maliyetleri.....	82
<b>Tablo 5.6</b> Yakma, Gazifikasyon ve Piroлиз Teknolojileri Maliyetler .....	82
<b>Tablo 5.7</b> Avrupadaki Bazı Evsel Atık Yakma Tesisi Maliyetleri.....	83
<b>Tablo 5.8</b> Avrupa Ülkelerinde Yakma Teknoloji Uygulama % .....	86



## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 Atık Yönetimi Hiyerarşisi .....	4
Şekil 2.2 Atık Karakterizasyonu Yüzdeler Dağılımı .....	7
Şekil 2.3 Yıllık Bertaraf Edilen Atık Miktarı .....	9
Şekil 2.4 Avrupada Evsel Katı Atık Yönetimi .....	10
Şekil 2.5 Ülkelere Göre Evsel Atık Yönetimi .....	10
Şekil 2.6 Türkiye’de Evsel Katı Atık Yönetimi.....	11
Şekil 2.7 Balıkesir İli Evsel Atık Miktarları .....	11
Şekil 2.8 Yakma Tesisi Akış Diyagramı .....	14
Şekil 2.9 Izgaralı Yakma Sistemi.....	16
Şekil 2.10 Döner Fırın Sistemi .....	18
Şekil 2.11 Akışkan Yatak Sistemi .....	20
Şekil 2.12 Gazlaştırma prosesi ve buna bağlı olarak enerji eldesinin aşamaları (Watson vd., 2018).....	23
Şekil 2.13 Gazlaştırmanın reaktör içerisindeki aşamaları.....	24
Şekil 2.14 Plazma Gazlaştırma Sistemi .....	32
Şekil 2.15 Piroliz Akış Diyagramı .....	34
Şekil 3.1 Balıkesir İl Haritası.....	44
Şekil 3.2 Balıkesir Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Yağış Değerleri, 2017 .....	45
Şekil 4.1 Atık Yönetimi Mevcut Durum, 2017 .....	51
Şekil 4.2 Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Yeri ve Hizmet Verilen İlçeler .....	54
Şekil 4.3 Nüfus Artış Projeksiyonu (UNDP Artış Metodu) .....	56
Şekil 4.4 Nüfus Artış Projeksiyonu (UNDP Artış Metodu) .....	57
Şekil 4.5 Nüfus Artış Projeksiyonu (UNDP Büyüme Senaryosu).....	58
Şekil 4.6 Balıkesir İçin Evsel Katı Atık Tahminleri .....	59
Şekil 4.7 Balıkesir İçin Kentsel Katı Atık Karakterizasyonu .....	65
Şekil 4.8 Balıkesir Termal Sistem Planlaması.....	69
Şekil 4.9 Balıkesir Termal Sistem İşletme Şeması .....	70
Şekil 5.1 Cologne City /Almanya (Evermann, 2017) .....	81
Şekil 5.2 Kita-Nagoya City, Japan.....	85
Şekil 5.3 AVI-Amsterdam, Hollanda.....	85
Şekil 5.4 Tuas-Singapur .....	86



## KISALTMALAR

ADNKS	: Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi
ASTM	: Kentsel Katı Atık Kompozisyonunda Belirlenmesinde Standart Test Metodları
EfW	: Atıktan Enerji Tesisi
EHCIP	: Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlanması
EKAY	: Entegre Katı Atık Yönetimi
ESP	: Elektrostatik Çöktürücü
IMSWM	: Entegre Belediye Katı Atık Yönetim sistemi
İSTAÇ	: İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret A.Ş.
KAAP	: Katı Atık Ana Planı
LCV	: Düşük Kalorifik Değer
MSW	: Belediye Katı Atığı
NCV	: Net Kalorifik Değer
RDF	: Atıktan Türetilmiş Yakıt
SRF	: Geri Kazanılmış Katı Yakıtlar
SWA	: Katı Atıkların Analizi İçin Metodoloji
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TÜRKAK	: Türk Akreditasyon Kurumu
UEDAŞ	: Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş.
UNDP	: Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı
UNEP	: Birleşmiş Milletler Çevre Programı
YEKDEM	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması
WtE	: Atıktan Enerji Tesisi
WTERT	: Atıktan Enerjiye Araştırma ve Teknoloji Konseyi

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

#### 1.1 Genel Bakış

Evsel atıklardan kaynaklanan çevresel kirlilik gün geçtikçe çevre ve halk sağlığı açısından ciddi sonuçlar doğurmaktadır. Aslında ekonomik bir değere sahip geri kazanımı veya tekrar kullanımını mümkün olan atıklar düzenli olarak toplanıp işleme tabi tutulmadığında buna bağlı olarak potansiyel riskleri de beraberinde getirmektedir. Nüfus artışı ile birlikte tüketimin artması sonucunda doğal kaynaklar tükenmekte dolayısı ile azalmaktadır. Bu nedenlerle katı atık yönetimi Dünyada olduğu gibi Ülkemizde de önem kazanmaktadır. Yerelde evsel atıkların yönetimi mevzuatlar çerçevesinde belediyeler tarafından yapılmaktadır. Entegre katı atık yönetimi (EKAY) yaklaşımı ile sürdürülebilir katı atık yönetimi kavramlarının birlikte incelenerek doğru stratejilerin uygulanması gerekliliği zorunlu hale gelmiştir.

Kentsel katı atıkların yönetimi gelişmekte olan ülkeler için önemli bir sorun alanıdır. Açık alanlara gelişigüzel atıkları bırakmak, hala bazı ülkeler için bulunan en iyi çözümdür. Ancak bu “çözüm” toprak kirliliği, yer altı su kirliliği, çöp patlamaları, çöküntü, kaymalar ve salgın hastalıklara sebep olmakta ve bu alanlar nadiren bilimsel bir şekilde seçilip, iyi planlanarak uygun bir şekilde yönetilmektedir (Diaz, Savage, 2002).

Entegre atık yönetimi, bölgesel koşullara uygun şartlara sahip olan atık yönetimi stratejileri doğrultusunda doğru yöntem, teknoloji ve yönetim programlarının seçilmesi ve uygulanması olarak tanımlanabilir.

Sürdürülebilir bir entegre katı atık yönetiminin nihai ve en etkili adımı olan bertaraf yönteminin seçiminde karmaşık olan önemli kriterler değerlendirilmiş ve doğal kaynakların korunduğu, maksimum enerjinin üretildiği ve Balıkesir İli evsel

atıklarına uygulanabilecek termal bertaraf yöntemi bu çalışma kapsamında ele alınmıştır.

## **1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı**

5393 Sayılı Belediye Kanununun belediyelerin görevlerinin sıralandığı 14. madde “belediyeler mahalli müşterek nitelikte olmak kaydıyla "... çevre ve çevre sağlığı, temizlik ve katı atık..." hizmetlerini yapar veya yaptırır. Denmektedir. Benzer şekilde bir hüküm 5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanunu’nda 7. maddede geçmektedir: “...büyükşehir katı atık yönetim plânını yapmak, yaptırmak; katı atıkların kaynakta toplanması ve aktarma istasyonuna kadar taşınması hariç katı atıkların ve hafriyatın yeniden değerlendirilmesi, depolanması ve bertaraf edilmesine ilişkin hizmetleri yerine getirmek, bu amaçla tesisler kurmak, kurdurmak, işletmek veya işlettirmek;...” hükmü büyükşehir belediyelerine katı atıkların yönetilmesi noktasında kapsamlı görevler vermektedir. Bahsi geçen kanun ilçe belediyelere de “Büyükşehir katı atık yönetim planına uygun olarak, katı atıkları toplamak ve aktarma istasyonuna taşımak” görevini vermektedir.

Çevrede oluşan atıkların yerleşim yerlerinden uzaklaştırılması veya doğaya zarar vermeyecek şekilde bertaraf edilmesi sorumluluğu, pek çok kuruma ait olmakla birlikte en fazla sorumluluk belediyelere düşmekte, belediyeler yerel politikalara atık yönetimini yansıtmak durumunda kalmışlardır.

Balıkesir ilinde katı atık yönetiminin tek noktadan yapılması; ilin yüz ölçümünün geniş olması, sit alanlarının, zeytinlik, ormanlık ve tarım arazilerinin geniş alan teşkil etmesi, körfez bölgesinde yaz turizmin yoğun olmasından dolayı nüfustaki dönemsel artışın yaşanması gibi nedenlerle entegre katı atık yönetiminde alternatif bir çözüm olarak termal bertaraf yöntemin uygulanabilirliğinin incelenmesidir.

Bu çalışma kapsamında Balıkesir ilinde oluşan evsel nitelikli katı atıklardaki karakterizasyonu etkileyen değişkenler incelenerek nüfus, iklim şartları, bölgesel farklılık, nüfus projeksiyonu ve atık karakterizasyonuna dayalı uygun termal bertaraf yönteminin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## **BÖLÜM 2**

### **LİTERATÜR İNCELEMESİ**

#### **2.1 Atık Yönetiminde Genel Yaklaşım**

Dünyada gelişmiş ülkeler ve gelişmekte olan ülkelerin ekonomisi giderek büyümektedir. Ekonomideki hızlı büyüme sonrasında artan yaşam standartları hem atık çeşitliliğini artırmış hem de gün geçtikçe atık miktarında ciddi artışa yol açmıştır. Oluşan atık artışı atık yönetimi stratejilerinde farklı bertaraf teknolojilerini ve farklı kullanım alanlarının incelenmesini ortaya çıkarmıştır. Dolayısı ile doğal kaynakların hızla tüketilmesi ikincil kullanım ürünlerini ortaya çıkarmış, kaynakların daha dikkatli kullanılması gerekliliğini oluşturmuştur.

Hızlı bir şekilde nüfus artmakta ve yaşam standartlarının yükseltilmesi için buna paralel olarak ekonomideki gelişmeleri zorunlu kılmaktadır. Atık miktarları ve çeşitliliği giderek artmakla birlikte atık yönetimi giderek karmaşık ve zor hale gelmektedir.

Atık oluşumu ile kirlilik ve buna bağlı her geçen gün doğal kaynakların tehdit altında olması ve potansiyel çevre kirliliğinin sürekli olarak artması katı atık yönetimine gittikçe önem verilmesini sağlamaktadır.

Birleşmiş Milletler Çevre Programına göre (UNEP) katı atık, “Sahibinin istemediği, ihtiyacı olmadığı, kullanmadığı, arıtılması ve uzaklaştırılması gerekli maddeler” olarak tarif edilmektedir (Öztürk, 2010).

2014 yılı TÜİK verilerine göre ülkemizdeki bazı illerde kişi başına oluşan atık miktarları Tablo 2.1’de belirtilmiştir.

**Tablo 2.1** Bazı İllerde Kişi Başına Oluşan Atık Miktarları (kg/kişi-gün)

İl	Atık Miktarı
Aksaray	1,01
Ankara	1,10
Antalya	1,27
Batman	0,83
Bursa	1,02
İstanbul	1,16
İzmir	1,12
Konya	1,03
Samsun	0,93
Trabzon	0,67

Ülkemizde atık yönetim sisteminin gerektirdiği çevresel ve teknik ihtiyaçlara yönelik düzenlenen Atık Yönetimi Yönetmeliği'nde ise Atık; "Üreticisi veya fiilen elinde bulunduran gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya bırakılan ya da atılması zorunlu olan herhangi bir madde veya materyaller" şeklinde ifade edilmiştir.

Atık üreticisi ise, aynı yönetmelikte "Faaliyetleri sonucu atık oluşumuna neden olan kişi, kurum, kuruluş ve işletme ve/veya atığın bileşiminde veya yapısında bir değişikliğe neden olacak ön işlem, karıştırma veya diğer işlemleri yapan herhangi bir gerçek ve/veya tüzel kişi" şeklinde tanımlanmıştır (Duyan vd., 2017).

Katı atıklar oluştuğu yerlere göre genel olarak 7 grupta sınıflandırılır.

1. Evsel atıklar
2. Endüstriyel (inert) atıklar
3. Tarımsal ve bahçe atıkları
4. İnşaat ve moloz atıkları
5. Tehlikeli atıklar
6. Tıbbi atıklar
7. Özel atıklar (radyoaktif atıklar, lastik atıkları, vb.)

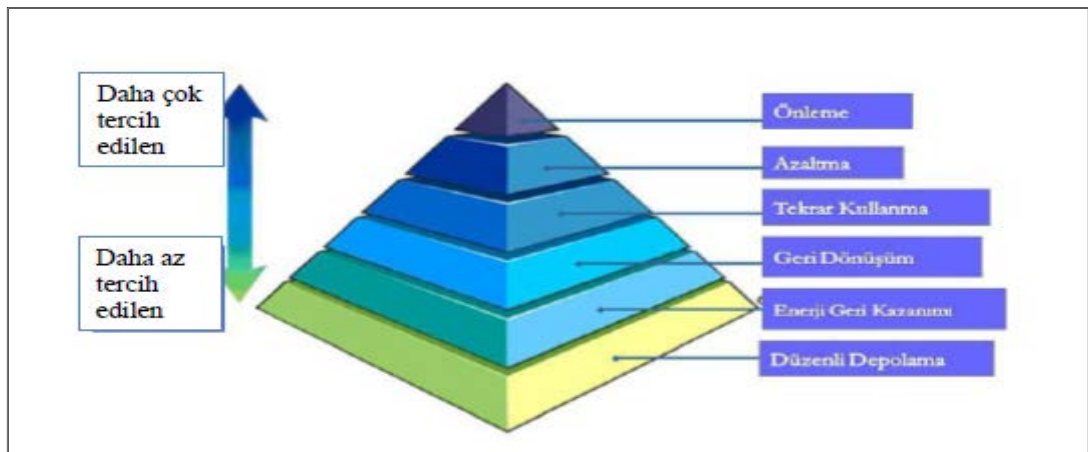
Atık yönetiminde öncelikli olarak atığın oluşmasını önleyerek doğal kaynakların korunması hedeflenmelidir. Atık, bir hammadde kaynağı olmasından ötürü geri kazanılması gereken kaynak olarak değerlendirilmelidir.

### 2.1.1 Atık Yönetimi Hiyerarşisi

Nüfus artışı ve sonrasında hızlı sanayileşme ile birlikte tüm faaliyetler sonucunda atık olarak nitelendiren ancak çeşitli sektörlerde hammadde olarak kullanılabilen çok farklı türde ürünler oluşmaktadır. Tüm faaliyetler kurgulanırken çevrenin korunması ve sürdürülebilir bir yaşam döngüsü için atığın oluşumunun önlenmesi ile birlikte atık yönetimi hiyerarşisi basamaklarının doğru uygulanmasını sağlamak üzerine planlamalar yapılmalıdır.

Atık yönetimi sırasında kaynakta ayrı toplama, geçici olarak depolama, söz konusu atıkların taşınması ve işleme tabi tutulması sırasında doğal hayatı olumsuz etkilemeyecek, insan ve çevreye zarar vermeyecek şekilde sistemler geliştirilmeli ve uygulanmalıdır. En önemli etkenlerden biri atıkların çevreye ve ekonomiye katkıları göz ardı edilmeden azaltma faaliyetlerinin yanında yeniden değerlendirilerek tekrar kullanılması, çevreye zarar vermeyecek şekilde geri dönüşümünün sağlanması ve ekonomiye ek bir değer kazandırılması sağlanmalıdır.

Atık Yönetimi Hiyerarşisi; atıkların minimum seviyeye indirilmesi için sınıflandırma gerektirmektedir. Atığın oluşumundan ve son olarak bertarafına kadar geçen süreç içerisinde verimli ve uygulanabilir bir atık yönetimi stratejisinin sağlanmasına bağlı ideal atık yönetim hiyerarşisi Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Atık Yönetimi Hiyerarşisi

### 2.1.2 Atık Yönetimi Mevzuatı

1982 Anayasası, sosyal ve ekonomik haklar ve ödevler başlığı altında çevre hakkını hem hak hem de bir ödev olarak düzenlemiştir. Anayasanın 56. maddesinde; “Herkes, sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahiptir. Çevreyi geliştirmek, çevre sağlığını

korumak ve çevre kirlenmesini önlemek Devletin ve vatandaşların ödevidir. Devlet, herkesin hayatını, beden ve ruh sağlığı içinde sürdürmesini sağlamak; insan ve madde gücünde tasarruf ve verimi artırarak, işbirliğini gerçekleştirmek amacıyla sağlık kuruluşlarını tek elden planlayıp hizmet vermesini düzenler. Devlet, bu görevini kamu ve özel kesimlerdeki sağlık ve sosyal kurumlarından yararlanarak, onları denetleyerek yerine getirir.” diyerek hem devlete hem de vatandaşlara çevrenin korunması görevini vermiştir.

2872 Sayılı Çevre Kanunu ise; “Atıkların üretiminin ve zararlarının önlenmesi veya azaltılması ile atıkların geri kazanılması ve geri kazanılabilen atıkların kaynağında ayrı toplanması esastır. Atık yönetim plânlarının hazırlanmasına ilişkin esaslar, Bakanlıkça çıkarılacak yönetmelikle düzenlenir. Geri kazanım imkânı olmayan atıklar, yönetmeliklerle belirlenen uygun yöntemlerle bertaraf edilir. Büyükşehir belediyeleri ve belediyeler evsel katı atık bertaraf tesislerini kurmak, kurdurmak, işletmek veya işletirmekle yükümlüdürler.” hükmü ile belediye ve büyükşehir belediye mevzuatı ile uyumlaşmaktadır.

AB uyum sürecinde atık yönetimine ilişkin çevre yönetim politikaları oluşturulmuş ve uygulamaya geçilmiştir. Ülkemizde Çevre Kanunu ile oluşturulan çevre yönetimi politikaları mevzuatımızı uluslararası düzeyde ülke şartlarına uyumlaştırmakta ve geliştirilerek uygulanması sağlanmaktadır. Çok sayıda yönetmelik yürürlüğe girmiş olup bu yönetmelikler çerçevesinde atık yönetimi ile ilgili iş ve işlemler yürütülmektedir.

Ülkemizde atık yönetimine ilişkin 2872 Sayılı Çevre Kanununa bağlı olarak oluşturulan mevzuat yürürlükte olup tüm iş ve işlemler sürdürülebilir çevre ve sürdürülebilir kalkınma ilkeleri doğrultusunda yürütülmektedir.

Tablo 2.2’de Çevre ile ilgili kanun ve yönetmeliklerin yer aldığı "Atık Yönetimi Mevzuatı" verilmiştir.

**Tablo 2.2 Atık Yönetimi Mevzuatı**

Mevzuatın Adı	Sayı, Tarih
Çevre Kanunu	(2872, 1983)
Büyükşehir Belediyesi Kanunu	(5216, 2004)
Belediye Kanunu	(5393, 2005)
Atık Yönetimi Yönetmeliği	(29314, 2015)
Maden Atıkları Yönetmeliği	(29417, 2015)
Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği	(28300, 2012)
Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği	(30283, 2017)
Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik	(27533, 2010)
Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik	(27721, 2010)
Ömrünü Tamamlamış Araçların Kontrolü Hakkında Yönetmelik	(27448, 2009)
Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği	(26952, 2008)
Poliklorlu Bifenil ve Poliklorlu Terfenillerin Kontrolü Hakkındaki Yönetmelik	(26739, 2007)
Ömrünü Tamamlamış Lastiklerin Kontrolü Yönetmeliği	(26357, 2006)
Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği	(29959, 2017)
Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği	(25406, 2004)
Bitkisel Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği	(29378, 2015)
Atık Pil ve Akümülatörlerin Kontrolü Yönetmeliği	(25569, 2004)
Atık Getirme Merkezi Tebliği	(2014)
Kompost Tebliği	(2015)
Bazı Tehlikesiz Atıkların Geri Kazanımı Tebliği	(2011)
Atıkların Yakılmasına İlişkin Yönetmelik	(27721,2010)

## 2.2 Sürdürülebilir Entegre Atık Yönetimi

Entegre atık yönetimi ise, belirlenen bir atık yönetimi hedefi doğrultusunda uygun metot, teknoloji ve işletme yönteminin belirlenmesi ve uygulanmasıdır. Entegre atık yönetimi, atıklar konusunu içeren tüm mevzuatlar kapsamında oluşturulan bir yönetim biçimidir. Entegre atık yönetiminin amacı, bütüncül bir atık yönetimi sistemi oluşturulması, çevreyi, doğal kaynakları korumak, ekonomiye katkı sağlamak ve sürdürülebilirliğini sağlamaktır. Entegre atık yönetiminin sadece bir atık türünü veya kaynağını içerecek şekilde oluşturulmaması gerekir.

Sürdürülebilir atık yönetimi çevresel, ekonomik ve sosyal yönleriyle sürdürülebilir kalkınmanın önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Atıklar, sürdürülebilirlik konusunda iki ayrı hususta incelenebilir. Öncelikle, oluşan atık kaynaklarının hangi ölçüde verimli kullanıldığının bir göstergesidir. İkinci olarak ise, atıkların çevreye



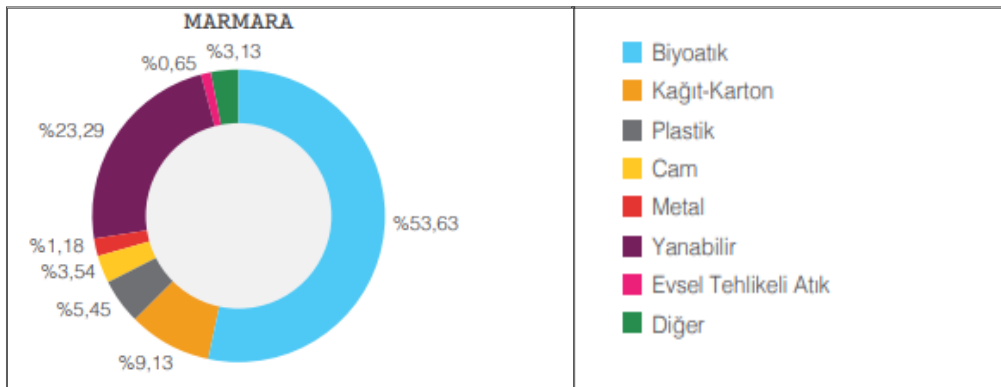
duyarlı ve ekonomik biçimde değerlendirilerek geri kazanılması gerekliliğidir (Aras, 2016).

Doğal kaynakların ve ekosistemlerin hızlı tüketiminin önüne geçilmesi, kaynakların korunarak geliştirilmesi, mevcut ve gelecek nesiller için sağlıklı ve yaşanabilir bir çevre oluşturulması, geri dönüşüm ve geri kazanım ile atıkların ekonomiye yeniden kazandırılması sağlanarak, ülke genelinde“sürdürülebilir atık yönetim stratejileri” belirlenmesi ülke politikası haline gelmeye başlamıştır.

Bu bağlamda günümüze kadar Türkiye'nin AB çevre müktesebatına uyum sağlaması kapsamında planlar hazırlanmıştır. Bu planlardan bazıları;

- Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlaması (EHCIP)
- Ulusal Çevre Entegre Uyum Stratejisi
- Katı Atık Ana Planı
- Ulusal Atık Yönetimi Eylem Planı
- Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesive Eylem Planıdır.

ÇŞB tarafından düzenlenen Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı (2016-2023) doğrultusunda 81 ilde atık yönetimi mevcut durum analiz edilmiş, atıkların kaynağında en aza indirilerek türlerine göre ayrılması, toplanması, geçici depolanması, geri kazanılması, geri dönüştürülmesi, enerjiye dönüştürülmesi ve bertaraf yöntemlerinin ortaya konması hedeflenmiştir (ÇŞB, 2016).



Şekil 2.2 Atık Karakterizasyonu Yüzdeler Dağılımı

Atık miktarlarının yanı sıra, illerde yapılan atık karakterizasyon çalışmalarında bölgesel bazda analiz edilmiş olup her bir bölge için belediye atığı karakterizasyon sonuçları oluşturulmuştur (Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı, 2016).

Şekil 2.2'de Balıkesir'in içerisinde bulunduğu Marmara Bölgesinin atık karakterizasyonu görülmektedir.

2023 yılında oluşan atığın %35'inin geri kazanım ve %65'inin düzenli depolama yöntemi ile bertaraf edilmesi, düzenli depolaması bulunmayan illerde ise vahşi depolama alanlarının kapatılarak düzenli depolama tesislerinin yapılması hedeflenmektedir. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından hazırlanan Ulusal Atık Yönetim Planı'nda belirlenen orta ve uzun vadedeki atık konusundaki hedefler ise Tablo 2.3'te belirtildiği gibidir (ÇSB, 2017a).

**Tablo 2.3** Ulusal Atık Yönetim Planı

<b>Avantajlar</b>	<b>2014 %</b>	<b>2023 %</b>
Kaynağında Ayrı Toplanan Ambalaj Atıkları	5,3	12
Belediye Atıklarının Mekanik Biyolojik Yöntemler İle Geri Kazanımı	5,4	11
<b>Belediye Atıklarının Termal Yöntemler İle Geri Kazanımı</b>	<b>0,3</b>	<b>8</b>
Belediye Atıklarının Depolama Yöntemi İle Bertarafı	88,7	65

### **2.3 Termal Bertaraf Yöntemleri**

Atıklara uygulanan termal bertaraf yöntemleri atıkların yüksek sıcaklıkta enerji ve diğer yan ürünlere dönüştürülmesi işlemidir. Burada temel amaç, atığın hacminin ve miktarının azaltılmasıdır. Bu yöntem sayesinde, katı atıkların depolanması için ihtiyaç duyulan alan azaltılırken, atık içerisinde bulunan ve işlem sonucu ortaya çıkan ısı kullanılarak enerji geri kazanımı sağlanmaktadır.

Atıkların bertaraf edilmesinde termal sistem olarak yakma (kütlesel yakma, atıktan enerji üretim), piroliz ve gazifikasyon teknolojileri bulunmaktadır.

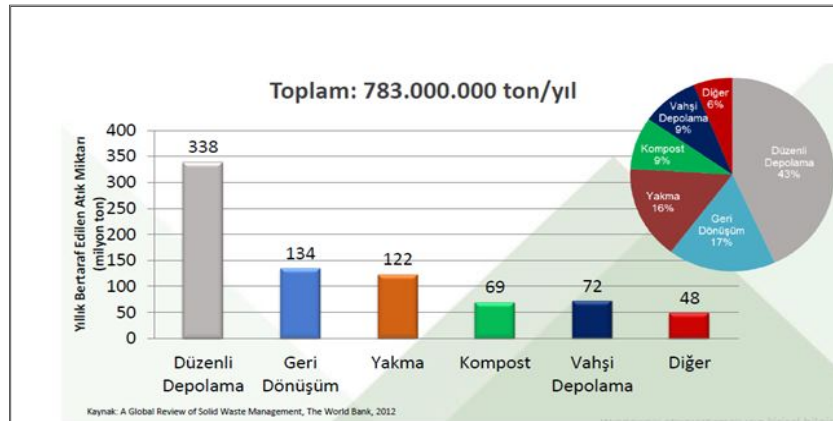
### 2.3.1 Genel Bakış

Atıkların termal ve biyolojik bertarafı, temel olarak, malzemelerin geri kazanılması veya kompostlama gibi işlemler yoluyla ekonomik olarak geri dönüştürülemeyen büyük miktardaki evsel katı atık depolama alanından uzaklaşmaya yardımcı olur.

Belediye atıklarının enerji geri kazanımı için kullanılıp kullanılmayacağına karar vermede esas olan özellik ısınma (kalorifik) değeridir. Bu, yere ve mevsime göre değişen, atığın bileşiminden şiddetle etkilenen bir parametredir. Belediye atıklarının makrokimyası, yani başlıca kimyasal bileşenlerin yüzdesi - karbon, hidrojen, oksijen, kükürt, azot, klor ve kül - çalışmalarında ısı içeriği tahmin edilebilir. Bu veri ayrıca, atıklardan enerji geri kazanımının etkinliğine karar veren diğer kritik parametreleri tahmin etmek için de gereklidir. Atıkların enerji içeriği ülkeden ülkeye geniş ölçüde değişen düşük kalorifik değer (LCV) olarak ifade edilir. Artık MSW için, LCV gelişmekte olan ülkelerde yaklaşık 2-5 MJ/kg ve sanayileşmiş ülkelerde 8-12 MJ/kg'dır. Isıl işlem sistemlerinin güvenli çalışması amacıyla atıklar için 6 MJ/kg'lık bir LCV gereklidir ve bu seviyeye birçok ülkede ulaşılmaktadır. Atıkların LCV'si ile bir ülkenin ekonomik seviyesi, yani GSYİH arasında iyi bir ilişki vardır (IEA Bioenergy, 2009)

### 2.3.2 Dünya Geneline Belediye Katı Atık Yönetimi

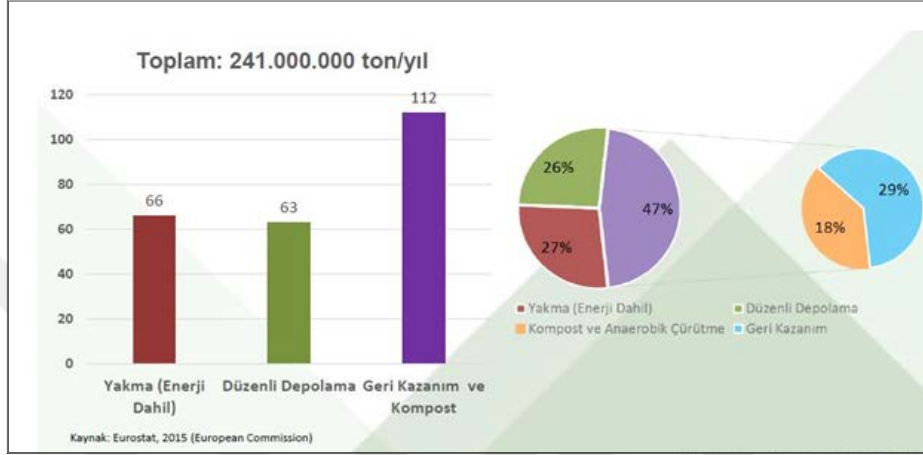
Dünyada yılda yaklaşık 270 milyon ton atık bertaraf kapasitesine sahip yaklaşık 2240 tesis faaliyet göstermektedir. 2023 yılına kadar yıllık yaklaşık 150 milyon ton kapasiteli yaklaşık 500 yeni tesisin daha kurulacağı tahmin edilmektedir (Doing, 2015).



Şekil 2.3 Yıllık Bertaraf Edilen Atık Miktarı

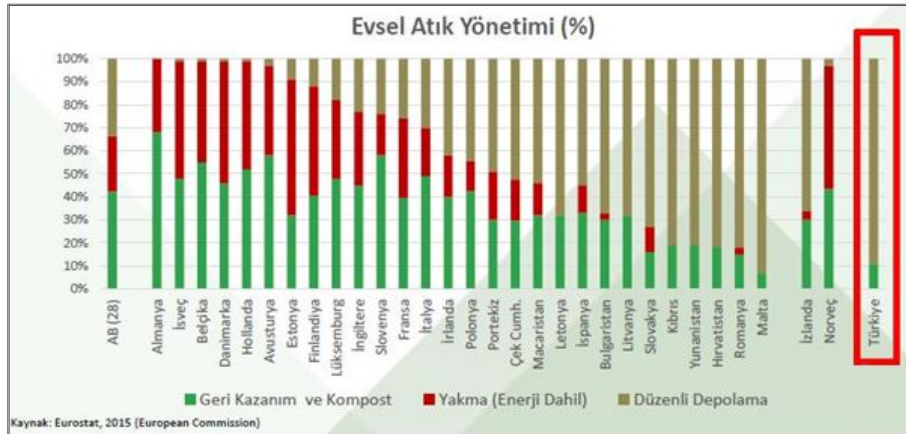
Günümüzde dünyada kişi başına günde 1,2 kg (yılda bu 1,3 milyar ton) katı atık oluşmaktadır. 2002 ile 2025 arasında üretilen katı atık hacmi (0,68 milyar tondan), kişi başına 1,42 kg (yılda 2,2 milyar ton'a) çıkacağı belirtilmektedir. 22 yıllık bir zaman zarfında atık hacminin üç katından daha çok artacağı tahmin edilmektedir (World Bank Report, 2012).

### 2.3.3 Avrupa'da Evsel Katı Atık Yönetimi

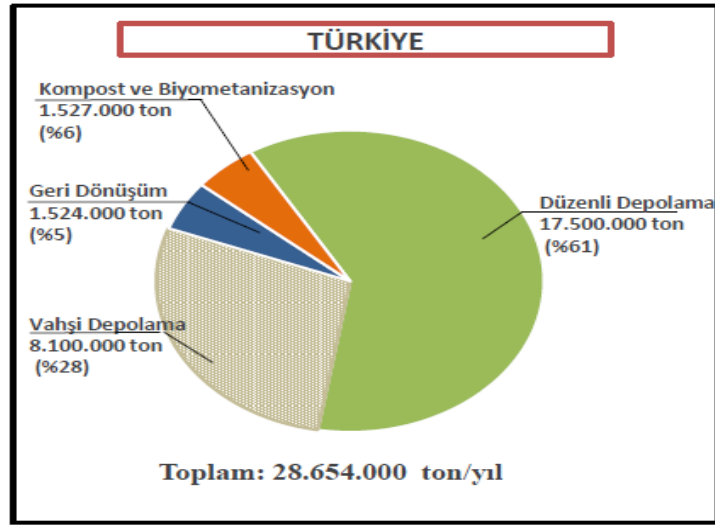


Şekil 2.4 Avrupada Evsel Katı Atık Yönetimi

Avrupa'da yılda 241 milyon ton evsel atık bertarafı yapılmaktadır. Bu atıkların yaklaşık 66 milyon tonu yakma, 63 milyon tonu düzenli depolama ve 112 milyon tonu ise geri kazanım ve kompost gibi yöntemlerle bertaraf edilmektedir. Avrupa ülkelerinde bertaraf yöntemlerinden Geri Kazanım-Kompost ön plandadır. Türkiyede ise geri kazanım-kompost oranı yaklaşık %10 olup, diğer evsel atıkların ise düzenli depolama metodu ile bertaraf edildiği görülmektedir (European Commission, 2015).

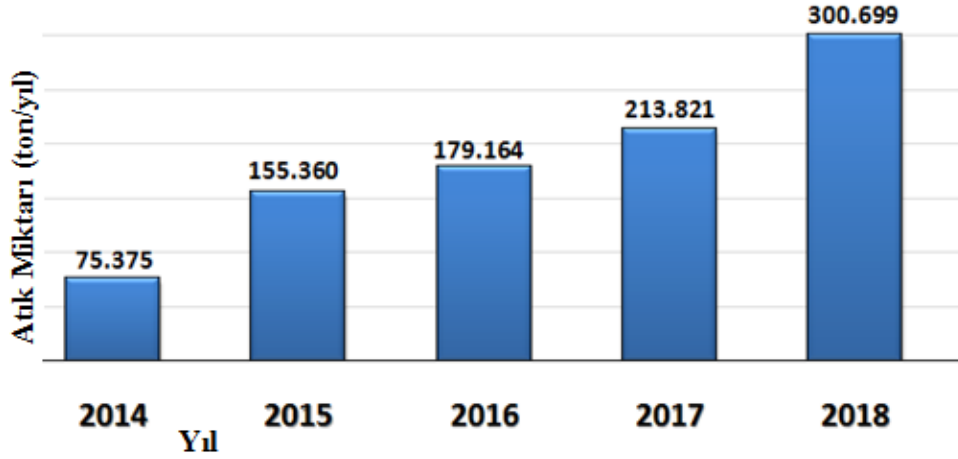


Şekil 2.5 Ülkelere Göre Evsel Atık Yönetimi



Şekil 2.6 Türkiye’de Evsel Katı Atık Yönetimi

Türkiyede 2016 yılı verilerine göre yıllık yaklaşık 28.654.000 ton evsel atık bertarafı yapıldığı ve bu atıkların %6’sının Kompost-Biyometanizasyon, %5’inin Geri Dönüşüm, %61’inin Düzenli Depolama ve %28’inin ise Düzensiz Depolama (Vahşi depolama) yöntemleri ile bertarafının yapıldığı belirtilmektedir (İBB, 2016).



Şekil 2.7 Balıkesir İli Evsel Atık Miktarları

Balıkesir ili’nde 2014-2018 yılı düzenli depolama sahasında bertaraf edilen evsel atıkları giderek artış eğilimi göstermektedir. Bu tabloya göre atık bertarafının düzenli bir şekilde yapılmasının 2014 yılında Büyükşehir Belediyesi statüsüne geçilmesi ve tüm ilçelere hizmet verilmesi olarak yorumlanmaktadır.

### 2.3.4 Yakma

Yanma, yanıcı maddelerin ısının serbest bırakılmasıyla hızlı bir şekilde oksidasyonudur. Oksijen, yanmanın tek destekçisidir. Karbon ve hidrojen, yanıcı maddelerin en önemlisidir. Bu iki element, ister katı ister sıvı ister gaz olsun, tüm yakıtlarda serbest veya birleşik halde meydana gelir. Kükürt yanıcı olarak kabul edilen diğer elementtir. MSW'nin yanmasında kükürt, ısıtma değeri bakımından küçük bir bileşendir. Bununla birlikte, varlığı bir endişe kaynağıdır ve hava kirliliği kontrol ekipmanı tasarımında dikkate alınmalıdır. Burada kabul edilen tek oksijen kaynağı etrafımızdaki havadaki oksijen olacaktır. EfW yanma prosesleri sayesinde kaydedilen potansiyel kaynaklar Tablo 2.4'te verilmiştir.

**Tablo 2.4 MSW Enerji Eşdeğeri**

1 ton MSW enerji eşdeğeri	
1 ton MSW	2,5 t buhar (400 C, 40 bar) 30 t sıcak su (180-130 C'de) 200 kg yağ 500 kWh elektrik

Organik maddelerin yanması, yanma/yakma teknolojisinde yer alan temel ilkedir (Knox, 2005). Tablo 2.5, yanma işlemine katılan elementleri ve bileşiklerini göstermektedir. Su, atmosferik havada ve yanma ürünlerinde buhar olarak, aynı zamanda MSW yakıtının bir sıvı veya buhar bileşeni olarak meydana gelir.

**Tablo 2.5 Yanmada Karşılaşılan Elementler ve Bileşikler**

Madde	Moleküler Sembol	Moleküler Ağırlık	Form	Yoğunluk
Karbon	C	12.0	Katı	-
Hidrojen	H <sub>2</sub>	2.0	Gaz	0.0053
Sülfür	S	32.1	Katı	-
Karbon	CO	28.0	Gaz	0.0780
Oksijen	O <sub>2</sub>	32.0	Gaz	0.0846
Azot	N <sub>2</sub>	28.0	Gaz	0.0744
Atmosferik	N <sub>2</sub> atm.	28.2	Gaz	0.0748

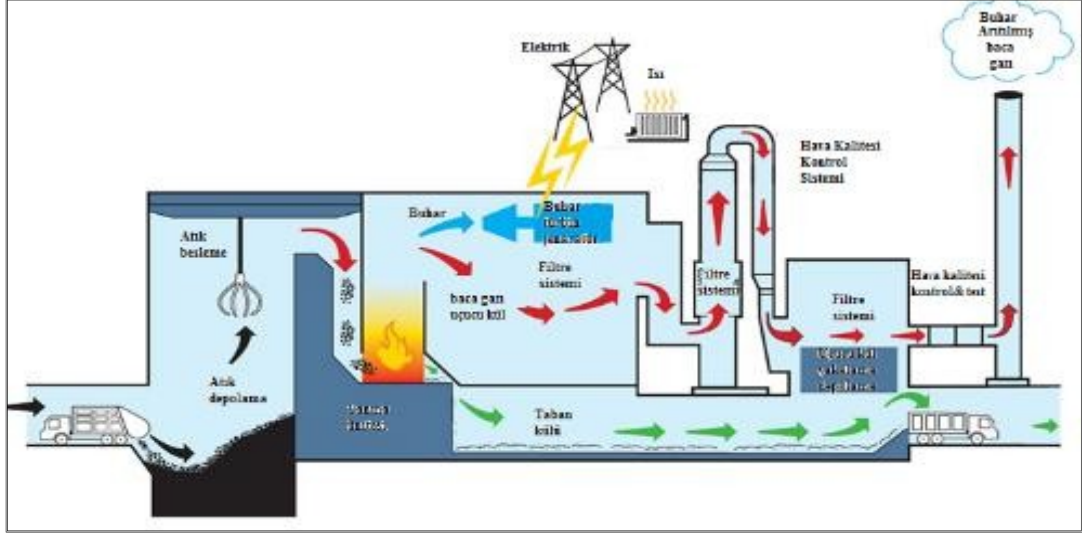
Kuru Hava	-	29.0	Gaz	0.0766
Karbon	CO <sub>2</sub>	44.0	Gaz	0.1170
Su	N <sub>2</sub>	18.0	Gaz/Sıvı	0.0476
Sülfür Dioksit	SO <sub>2</sub>	64.1	Gaz	0.1733
Azot Oksitler	NO <sub>x</sub>	-	Gaz	-
Hidrojen	HCl	36.5	Gaz	0.1016

Yanmanın kimyasal reaksiyonları Tablo 2.6'da gösterilmiştir. Bu reaksiyonlar tam yanma ile sonuçlanır; yani, kimyasal olarak oksijenle reaksiyona girebilen elementler ve bileşikler tüm oksijen ile bağlanır. Gerçekte yanma, yanma odasındaki ısının tam yanmaya yol açan ara reaksiyonlara neden olduğu daha karmaşık bir süreçtir. Oluşan bileşenlerden bazıları kirleticidir. Bunlar, yakma fırınlarında hava kirliliği kontrol şartlarının belirlenmesi için önemlidir.

**Tablo 2.6** Yanmanın Kimyasal Reaksiyonları (Velzy ve Grillo 2007)

Yanıcı	Reaksiyon
Karbon	$C + O_2 = CO_2$
Hidrojen	$2H_2 + O_2 = 2H_2O$
Sülfür	$S + O_2 = SO_2$
Karbon Monoksit	$2CO + O_2 = 2CO_2$
Azot	$N_2 + O_2 = 2NO$
Azot	$N_2 + 2O_2 = 2NO_2$
Azot	$N_2 + 3O_2 = 2NO_3$
Klor	$4Cl + 2H_2O = 4HCl + O_2$

Temel amacı depolama sahalarına giden atık miktarının azaltılması olan Termal Yöntemlerden olan Yakma teknolojisi ile katı atıklar hacimce %80-90 ve ağırlık bakımından %75-80 oranında azaltılabilmekte ve atık sorununa kalıcı çözümler üretmek ve enerji elde edilerek ekonomik değer sağlanmaktadır. Proses gereksinimlerine uymak için "ham atık" aynı zamanda daha az kirlenme ve daha iyi homojenliğe sahip Katı Geri Kazanılmış Yakıt (SRF) veya çöp türevli yakıtlara (RDF) dönüştürülür. RDF'nin hazırlanması, geri dönüştürülebilir maddeleri atık akışından çıkarmak için temel bir işlem seviyesini gerektirirken, SRF daha yüksek bir hazırlık standardı gerektirir. RDF tipik olarak hazırlanmamış karışık atık akışlarını da kabul eden standart enerji tesisleri için kullanılırken, SRF genellikle fosil yakıtlara alternatif olarak çimento fırınlarında ve elektrik santrallerinde kullanılır.



**Şekil 2.8** Yakma Tesisi Akış Diyagramı

Temel olarak bir atık yakma tesisinde yer alan prosesler aşağıda verilmiştir.

- Gelen atığın kabulü
- Atık ve ham maddenin depolanması
- Atık ön işleme (gerektiğinde)
- İşlenmek üzere atığın yüklenmesi
- Atığa termal işlem uygulanması
- Enerji geri kazanımı ve dönüşümü
- Baca gazının temizlenmesi
- Baca gazı arıtımından meydana gelen tortuların yönetimi
- Baca gazının tahliyesi
- Emisyon izleme ve kontrol
- Atık su arıtma ve kontrol
- Kül/tabak külü arıtma ve kontrol (yakma aşamasında meydana gelen)
- Katı artıkların/tortuların bertarafı

Burada yer alan prosesler tesiste bertaraf edilecek atık türüne bakılarak yapılan dizayna göre uyarlanır.

Yakma yöntemi, büyük miktarda kağıt, plastik, ambalaj malzemesi, bazı tehlikeli ve tıbbi atıklar vb. İçeren yüksek kalorili değerli atıklar için en uygundur. Görüldüğü gibi yakma tesisleri orijinal atık kütlelerini, bileşimine bağlı olarak %80 ile %85 oranında; hacmi ise çöp kamyonlarında biraz sıkıştırılmış %95 ile %96 oranında azaltır (Ramboll, 2006). Birçok ülkede, çöp kamyonları, çöp yakma tesisine teslim edilmeden önce dahili bir kompresörde atık hacmini azaltır.



Yakma genellikle, jeneratörleri elektrik üretmeye zorlayan buhara dönüştürmek amacıyla suyu kaynatmak için yanan çöpleri gerektirir. Yakma hem küçük hem de büyük ölçekte yapılır. Bu, belirli tehlikeli metalik olmayan organik atıkları ve tıbbi atıkları bertaraf etmenin gerçekçi bir yöntemi olarak kabul edilir. Çünkü yüksek sıcaklık, WtE aktivitesinde en yaygın işlem olmasının yanı sıra bakteri ve virüsleri de parçalar. Bu işlem nispeten steril, gürültüsüz ve kokusuzdur; arazi ihtiyacı ise asgaridir. Yakma teknolojisi katı atıklarda depolanan enerjiyi geri kazanmak için kullanılan en eski teknolojilerden biridir. En yaygın kullanılan yakma teknolojisi için tasarlanmış hareketli ızgaradır. Ön işleme tabi tutulmadan büyük miktarlarda belediye atığı ile başa çıkmak için ızgara yakma fırınları kullanılmaktadır. Genellikle toplu yakma tesisleri olarak adlandırılırlar. Toplu yakma fırınlarında, termal enerji buhar türbinleri yoluyla elektrik üretir. Isı ve elektriğin üretildiği yakma fırınlarında geri kazanılan atık ısı, bölgesel ısıtma, sıcak su temini vb. için kullanılır (Williams 2005, EC 2006, Defra, 2013).

Hem hareketli ızgara hem de akışkan yatak iyi bilinen süreçlerdir. Küresel olarak başarılı bir şekilde çalışan binlerce tesis mevcuttur. Atık yakma da Danimarka ve İsveç çok fazla tecrübeye sahiptir. Yakma işleminden kaynaklanan yüksek genel termal verimlilikten kaynaklanmaktadır.

Gazlaştırma, pirolizde olduğu gibi yüksek risk altında ve sınırlı işletme tecrübesine sahiptir. Risk belirsiz, ticari potansiyel yüksek risklidir (Miller, 2011). Japonya, Singapur ve Tayvan'ın sanayileşmiş ülkeleri dışında Asya'da, enerji geri kazanımı için atık yakma konusunda sınırlı deneyim mevcuttur. (Dünya Bankası, 1999).

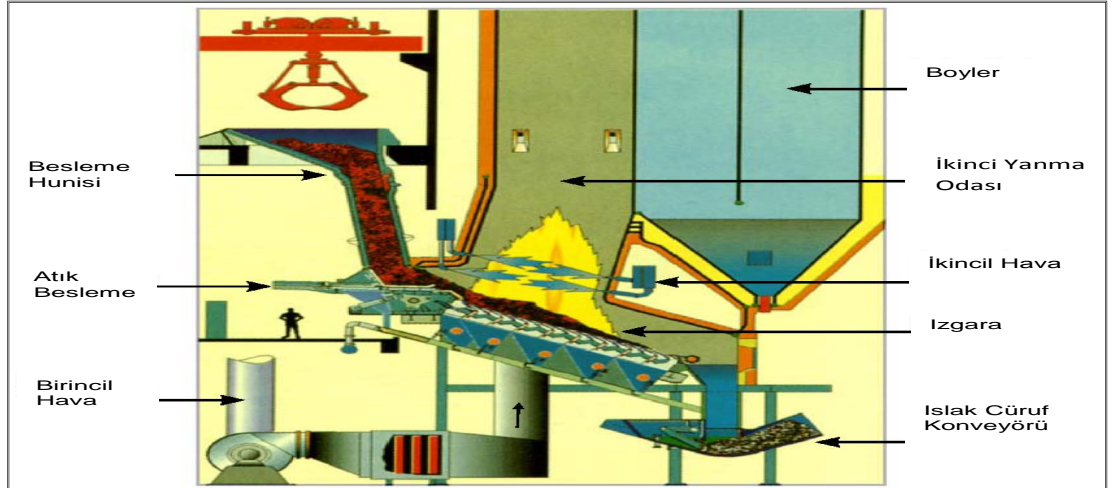
Belediye katı atıklarının yanması, kontrolsüz yakma yoluyla atık hacmini azaltma yolundan daha fazla amaçlarla sofistike bir teknolojiye dönüşmüştür. MSW'nin bertarafı için belirlenmiş bir prosedür ve MSW kaynaklarına veya nakliye maliyetini azaltmak için toplama noktalarına daha yakın inşa edilebilir. Isı geri kazanımı ile işlemin maliyeti enerji satışlarıyla telafi edilebilir (Brunner, 1994). Bununla birlikte, ilişkili ana problemler; cıva ve yüksek derecede toksik dioksinler ve furanlar dahil olmak üzere ağır metaller içeren büyük hacimli gaz emisyonlarıdır. Çevresel sağlık riskleri oluşturan (Moy ve ark., 2008) tehlikeli katı atıklar, uçucu kül veya hava kirliliği kontrol (APC) kalıntıları olmak üzere yakıldıktan sonra kalanlardır. (Quina ve ark. 2008a,b, Vehlow 2015). Ancak, atıkların mikrokimya bilgisi, yani, ağır

metallerin ve diğer çevresel olarak hayati önem taşıyan türlerin ppm seviyesi, potansiyel kirlenici emisyon sorunlarının değerlendirilmesini sağlar (Niessen, 2002).

Atık yakma tesislerinde en yaygın olarak kullanılan teknolojiler; Izgara fırın, Döner fırın ve Akışkan Yataklı Fırınlardır.

#### 2.3.4.1 Izgara Fırın

Izgaralı yakma fırınları karışık belediye atıklarının, özellikle düşük kalorili (LCV) atıkların yakılması için yaygın olarak uygulanır. Atıkların yakma fırınlarına beslenmesinin sıklığı ve süresi, yakma fırının verimliliğini doğrudan etkilediği için çok önemlidir. Bunker ve fırın arasındaki konumu nedeniyle, beslenme ünitesinin mekanik ve termal gerilmelere dayanacak kadar sağlam olması gerekir. Atık, mekanik olarak çalıştırılan bir ızgara ile yanma odasına yavaşça ve sürekli olarak itilir. Izgaradaki atık işlem gördüğü gibi farklı sıcaklık bölgelerinde hareket eder ve ısıl yıkımı alt işlemlerden meydana gelir. Kurutma, uçuculaştırma (piroliz ve gazlaştırma) ve atıkların yanması işlemleri; ızgaralar üzerinde hareket eden atık yatağın çoğunlukla yetersiz karıştırılmasından dolayı birbirlerinden eklenebilir (Kreith 1959, Chapman, 1986, Bardi ve Astolfi 2010, Hunsinger 2010, Kokalç ve Semac 2003, Fleck 2012).



Şekil 2.9 Izgaralı Yakma Sistemi

Yanmayı en üst düzeye çıkarmak için atığın eşit şekilde dağılması tercih edilir. Dolayısıyla ızgara sistemleri hız ayarlarına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Yüksek oranda yanabilen atıklar beslendiğinde ızgara hızlanır ve atıklar ıslak veya düşük ısı değerinde olduğunda yavaşlar. Kurutma işleminde, genellikle 100 ile 300°C

arasındaki sıcaklıklarda hidrokarbonlar ve su oluşur. Kurutma bölgesi renderin ön alanı, yanma alanının ızgara üzerindeki konumunu etkilediği için işlem açısından önemlidir. Yanmanın başlangıç zamanı, fırın içindeki sıcaklık dağılımına, baca gazlarının kalış süresine ve yanma yatağı ızgarasının malzeme gerilme seviyesine bağlıdır. Çok erken veya çok geç ise o zaman fırın içindeki sıcaklık dağılımı hemojen olmayabilir. Atık yatağındaki ısı transferi kurutma işlemi etkiler. Izgaralar üzerindeki yatak bir akışkanın aktığı yarı homojen bir kütleyle benzer. Isı transferi ve dolayısıyla kurutma akışkan hızı ve ısı kapasitesi yoğunluğu, ısı iletkenliği ve vizkozitesinin bir fonksiyonudur (Kreith 1959, Chapman 1986, Bardi ve Astolfi 2010).

Tablo 2.7'de ızgaralı yakma sistemlerinin avantaj ve dezavantajları kıyaslanmıştır. İlk yatırım maliyeti ve sıvı atıkların kullanılmama dezavantajlarına rağmen ızgaralı yakma sistemlerinin avantajlarının daha çok olduğu belirtilmektedir (Rand vd., 2000).

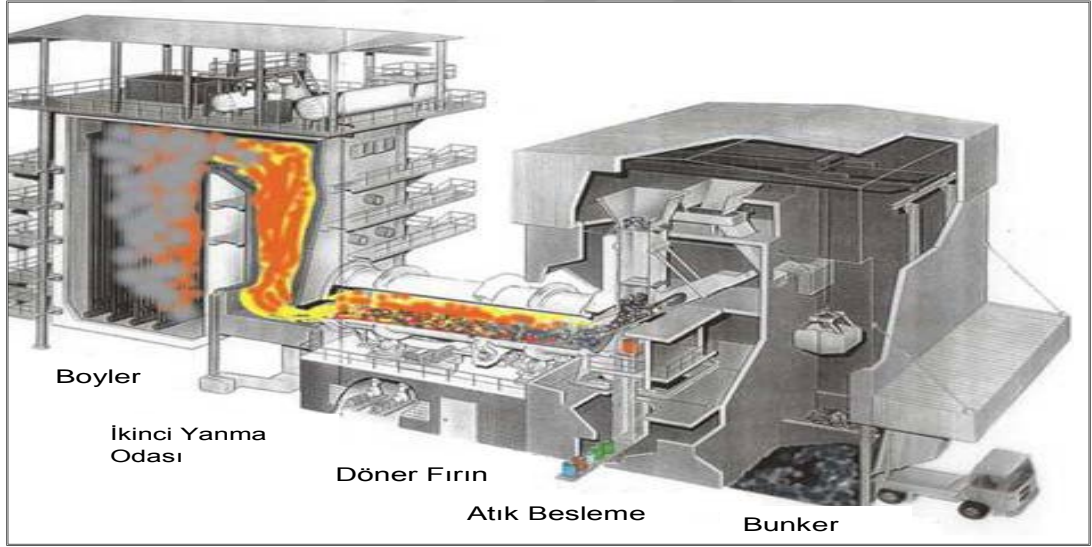
**Tablo 2.7** Izgaralı Yakma Sistemleri Avantaj ve Dezavantajları

Avantajlar	Dezavantajlar
Ön işleme ihtiyaç yoktur (kaba atık haricinde).	Yüksek ilk yatırım ve işletme maliyeti vardır.
Uzun süreli kullanım tecrübesinden ötürü güvenli işletme sağlar.	Dökülebilir, akabilir nitelikteki sıvı atıklar için kullanılmaz.
Kalorifik değer ve atık kompozisyonundaki değişimlere karşı dirençlidir.	
%85'e varan termal verim değerleri elde edilir.	
Günlük 1200 ton atık bertaraf edilen fırınlar tasarlanabilmektedir.	

#### 2.3.4.2 Döner Fırın

Döner fırında yakma normalde bir fırından ve ayrı ikincil yanma odasından oluşan iki aşamalı bir işlemdir. Fırın bir uzun silindirik, refrakter kaplı, yatay çelik kabuk (birincil yanma odası) ve besleme giriş noktasından aşağıya eğimlidir. Boyuna ekseninde etrafında dönme işlemi, Fırını ısıya ve oksijene maruz bırakan bir yuvarlama hareketiyle fırın içinden atıkları hareket ettirir (Buonicore vd., 1992). Dönmesine izin vermek için fırın, silindir dışından güçlendirilmiş çelik bantlarla imal edilir ve bu halkalar çelik silindirler üzerinde hareket eder. Fırınlar tipik olarak, çevreye

tutturulmuş bir düz dişlinin arasına giren bir dişli tarafından döndürülür. Kabuğun iç refrakter astarı fırın yapısını korumaya yarar ve sık sık değiştirilmesi gerekir. Birincil odada, uçucu hale getirme, yıkıcı damıtma ve kısmi yanma reaksiyonları yoluyla katının gazlara dönüşümü vardır. İkincil oda, gaz faz yanma reaksiyonlarını tamamlamak için gereklidir. Atık yakma uygulamaları için çoğu fırın çapı 4.5 ila 6 metre arasındadır ve uzunlukları, özel uygulamaya bağlı olarak çaplarının iki ila on katı arasında değişebilir. Bazı tasarımlarda iç yüzeyde Fırın boyunca katıların karışmasını teşvik eden kanatlar veya kürekler bulunur. Dönme hızları yine işlenen atıkların yapısına bağlı olarak dakikada 0,5 ila 2 devir arasında değişmektedir. Tırmık ve dönme hızının kombinasyonunun sistemde katıların kalma zamanını ve fırında atıklar ve yanma havası için sağlanan karışım miktarını belirlemek için birleştiğinin fark edilmesi önemlidir. Karıştırma ayrıca atık, alevler ve refrakterler arasında ısı transferine de hizmet eder.



**Şekil 2.10** Döner Fırın Sistemi

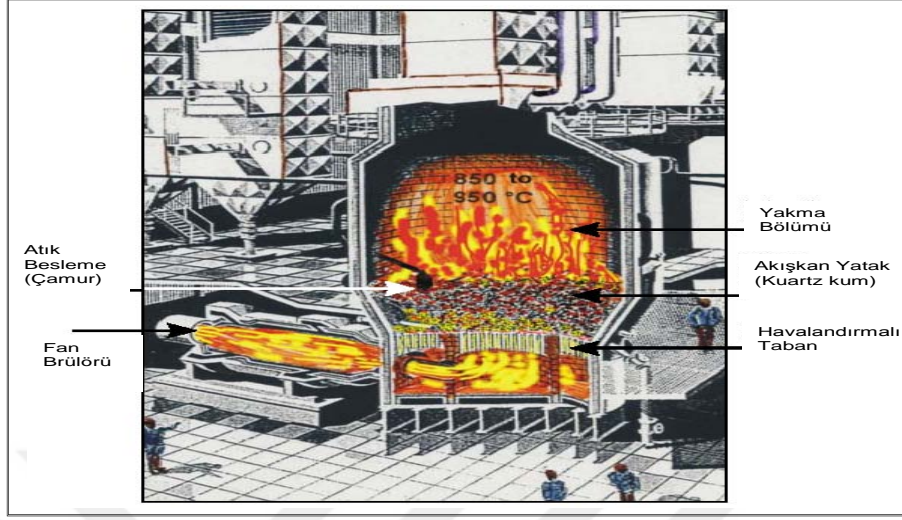
MSW işlemlerinde kullanılan döner fırınlar su duvarı veya refrakter duvar tasarımında olabilir. Avrupa'da halihazırda faaliyette olan sistemlerdir. Westinghouse birimi bir su duvarıdır. Fırın içerisinde uzunlamasına yerleştirilmiş hava ve su boruları bulunan fırındır. Volund ise refrakter astarlı fırındır. Enerji geri kazanımı ile MSW'nin daha küçük ölçekli yakılması için döner fırını saldıran bir sistem de vardır. Bu teknoloji, karışık MSW için yaygın olarak kullanılmaz. Kullanımda olanlar günlük 100 ila 300 ton birim kapasite aralığına sahiptir. Ancak, esas olarak tehlikeli atık ve atık su çamurlarının arıtılmasında kullanılır.

Tehlikeli atık döner fırın sistemleri tipik olarak 60 milyon Btu/saat ısı girişi için boyutlandırılmıştır. Ancak 150 milyon Btu/saat kadar büyük olabilir. Fırındaki katı tutma süreleri 0.5 ila 1.5 saat arasındadır, gazlar çoğu sistemde yaklaşık 2 saniye tutulur. Fırındaki tipik gaz sıcaklıkları 870°C'yi, katılar ise 650°C'yi aşan sıcaklıklara ulaşır. Yanma havası, fırının önündeki bağlantı noktalarından ve döner contalardan sızıntı yoluyla sağlanır. Elde edilen aşırı hava seviyeleri %50 ila 200 arasındadır. Döner fırınlarda contalar genellikle zayıftır ve emisyonlara neden olur. Yüksek buharlaşma oranları, fırınların gazların contalardan kaçmasına izin veren basıncın artmasına neden olabilir. Böylece, yüksek derecede yanıcı/patlayıcı atıkların beslenmesi dikkatlice kontrol edilmeli veya taze yüzeylerin maruz kalmasını en aza indirmek için karışım oranı azaltılmalıdır. Fırın sonunda kalan kül, cüruf ve diğer yanmaz maddeler dahil inorganik malzemeler su söndürme tankına boşaltılır. Su havanın fırına girmesini önleyen bir conta görevi görür. Kül kalıntısının boşalma hızı, sıcak kütlelerin söndürme tankına düşmeyeceği ve buhar üretmeyeceği şekilde kontrol edilmelidir. Fırından çıkan gazlar, uçucu gaz fazındaki yanmamış malzemelerin tamamen imhası için ikincil bir refrakter astarlı yanma odasına taşınır. Bu aslında bir sıvı enjeksiyon fırınıdır. %100 ila 200 fazlalık sıcaklıklar ile 1200°C civarında sıcaklıklar hava, türbülanslı akış karışımı ve 1 ila 3 saniyelik bir gaz kalış süresi, brülörden (ikincil oda) uygun performans sağlar. Sıcaklıklar, normal olarak sıvı tehlikeli atık olan yardımcı yakıt kullanılarak korunur. Cüruf, sonraki brülördeki yüksek sıcaklıklarda bir risk olabileceğinden, bazı tesisler sürüklenmiş partikül maddeyi gidermek için fırın ve sonraki brülör arasına sıcak siklonlar yerleştirir.

### **2.3.4.3 Akışkan Yataklı Fırın**

Izgara yakma sistemlerine bir alternatif, akışkan yataklı yakma fırınıdır (Howe ve Divilio, 1993; Legros, 1993; Patel ve Wheeler, 1994; Rhyner vd., 1995). Akışkan yatak yakma işleminde, atık yakıt ön işlemden geçirilir, yani parçalama, daha homojen bir katı yakıt üretmek için yanmaz malzemeleri ayırma ve çıkarma işlemidir. Yakıt, bir yanma odasına, ızgara ya da dağıtım plakasındaki akışkan durumunda bir inert malzeme yatağı (genellikle kum) bulunan oda duvarı üzerinde yer alan portlar vasıtasıyla beslenir. Akışkan yataklı bir yakma fırınında atıkların termal olarak bertaraf edilmesi, esasen malzemenin ızgara teknolojisinde olduğu gibi aşamalı olarak imha edilmesi için aynı işlem sırasını gerektirir. Ancak ayrı ayrı

bölgelerde meydana gelmek yerine tüm işlemler aynı anda tek bir büyük yatakta meydana gelir.



Şekil 2.11 Akışkan Yatak Sistemi

Hava ve küçük atık parçacıkları sürekli olarak yatağa yüksek oranda enjekte edilir ve bu, her bir ayrı atık parçasının kurummasını, uçucu hale getirilmesini, oksidasyonunu, organik atıkların yanmasını ve aynı zamanda yatağın tüm kısımlarında kömürün tamamen yanmasını sağlar. Bu sırada yatağın tüm kısımlarında her zaman yeterli oksijen bulunur. Yanma gazları yatağın üzerindeki yanma bölgesinde tutulur. Yanma sonucu ortaya çıkan ısı, yatak içinde veya gazların odadan çıkış noktasında veya her iki yerde bulunan cihazlarla geri kazanılır. Fazla kül, odanın tabanında çıkarılır ve hareketli bir ızgara sisteminde taban külüyle aynı şekilde yönetilir. Geri kazanılan metal fraksiyon geri dönüşüme gönderilir.

Kabarcıklı akışkan yatak yakma işleminde hava akımı yatağı harekete geçirmek ve atıklarla iyi temas etmek için yeterlidir. Hava akımı büyük miktarlarda yanma odasının içinde taşınmasına izin verecek kadar yüksek değildir. Öte yandan dolaşımdaki akışkan yatakta havanın hızı çok daha yüksektir. Bu da yanma odasından ve birincil siklonda oluşan bir halkada yatak malzemesi, kül ve yanan yakıtın dolaşımı ile sonuçlanır. Hava akımı ve yatak malzemesi arasındaki farklılıklar yakılabilecek atık türlerinin yanı sıra enerji geri kazanım sistemine yapılan ısı transferini de etkiler.

Üç yakma tipinin (ızgaralı fırın, akışkan yataklı fırın ve döner fırın) proses özellikleri Tablo 2.8' de özetlenmiştir (Bosmans vd., 2013).

**Tablo 2.8 Üç Yakma Tipinin Proses Özellikleri**

	<b>Izgaralı Fırın</b>	<b>Döner Fırın</b>	<b>Akışkan Yataklı Fırın</b>
<b>Açıklama</b>	Izgara, atıkları yanma odasının çeşitli bölgelerinde hareket ettirir.	Fırının kendi ekseninde etrafında dönmesine / salınmasına izin veren silindirikler üzerinde bulunan silindirik kap, atık yavaşça ile taşınır.	Dikey bir silindir şeklinde kaplanmış yanma odası, alt kısmı havayla akışkanlaştırılmış bir inert malzeme yatağından oluşur, atıklar sürekli olarak akışkanlaştırılmış kum yatağına beslenir.
<b>Kullanım Amacı</b>	Karma belediye atıkları, olası ilaveler; ticari ve endüstriyel, tehlikeli olmayan atıklar, atık su çamuru, klinik atıklar	Tehlikeli ve klinik atıklar	İnce bölünmüş atıklar (örneğin, RDF, atık çamur)
<b>İşlem Sıcaklığı</b>	850–1100-C	850–1300-C	Ortamda: 850–950-C Yatak: 650-C veya daha yüksek
<b>Uyarılar</b>	En yaygın uygulanan	1) çok sağlam, katı, sıvı, gaz halindeki atıkların ve tortuların yanmasına izin verir 2-toksik bileşiklerin yok edilmesini arttırmak için bir yanma odası eklenir	Çamurlar için kullanılan kabarcıklanma tipi, yüksek kalorifik değeri olan kurumuş çamurlarda kullanılan dolaşım sistemi, Döner tip, çok çeşitli kalorifik değerli yakıtlara izin verir (örneğin, çamurların ve önceden işlenmiş atıkların birlikte yakılması)

Tablo 2.9'da yakma sistemlerinin avantaj ve dezavantajları kıyaslanmıştır. İlk yatırım maliyeti ve sıvı atıkların kullanılmama dezavantajlarına rağmen ızgaralı yakma sistemlerinin avantajlarının daha çok olduğu belirtilmektedir (Rand vd., 2000).

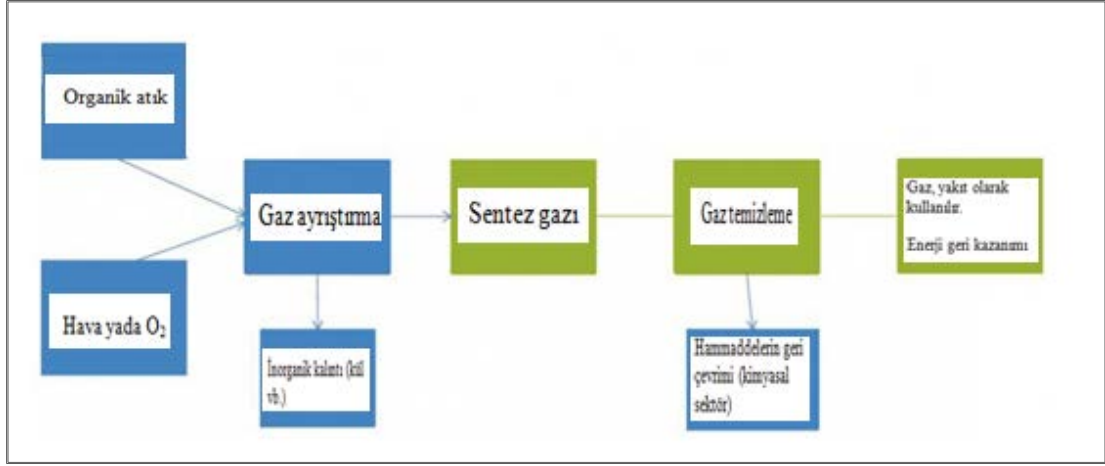
**Tablo 2.9** Yakma Sistemlerinin Avantaj ve Dezavantajları

	AVANTAJLAR	DEZAVANTAJLAR
Izgaralı Sistemler (Grate, Stoker)	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Ön işleme gerek yoktur.</li><li>○ Yaygın kullanım</li><li>○ Değişik kompozisyona ve kalorifik değere sahip atıklar için uyarlanabilir</li><li>○ %85'e varan termal verim değerleri elde edilebilir.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Tehlikeli atıkların bertarafında kullanılamaz.</li><li>○ Bakım ve İYM yüksek</li></ul>
Akışkan Yataklı Sistemler (Fluidized Bed)	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Değişik kompozisyona ve kalorifik değere sahip atıklar için uyarlanabilir.</li><li>○ %80'e varan termal verim değerleri elde edilebilir.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Atıklar ön işleme tabi tutulmalıdır.</li><li>○ Daha az kullanılan bir teknik olduğu için işletmede sorunlar yaşanabilir.</li></ul>
Döner Tambur Fırın (Rotary Kiln)	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Daha basit bir tasarıma sahip olduğu için maliyeti daha düşüktür</li><li>○ Sıvı ve katı her tür atık için kullanılabilir</li><li>○ Ön işleme gerek yok</li><li>○ %90 termal verim</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Az yaygın</li><li>○ Maliyet bakımından oldukça yüksek</li><li>○ Daha az kullanılan bir teknik olduğu için işletmede sorunlar yaşanabilir</li></ul>

### 2.3.5 Gazifikasyon

Gazlaştırma, çeşitli kimyasal reaksiyonlar, ısı ve kütle transferleri ve basınç bağımlılıklarını içeren bir termokimyasal dönüştürme işlemidir. Bu teknoloji 1800'lü yıllardan beri kömürden (şehir gazı) gaz üretimi için kullanılmaktadır. 1900'lü yılların başlarında Avrupa'da, yakıt kesintileri sırasında otomobillerin yakıtı için kullanılan odun gazlaşması kullanılmıştır. Tarihsel olarak katı yakıtın gazlaştırılması, yanıcı bir gaz formunda enerji üretmektir. Yakın zamanlarda, bu süreç ayrıca sıvı hidrokarbon fraksiyonlarını gazlara veya kimyasallara dönüştürmek için de kullanılmıştır (Widjaya vd., 2018). Gazlaştırma işleminden üretilen gaz, genel olarak sentez gazı veya üretici gazı olarak adlandırılır ve önemli miktarda inert gaz CO<sub>2</sub> ile birlikte CO, H<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> gibi yanıcı gazlardan oluşur (Sansaniwal vd., 2017). Bu gazların yanısıra, eğer gazlaştırma bileşeni hava ise (saf oksijen değilse) önemli miktarda N<sub>2</sub> gazı da oluşacaktır. Temel olarak biyokütleden elde edilen bu sentez gazının kalorifik değeri %50-70 arasında bir karbon dönüşüm verimi ile 4–10 MJ/m<sup>3</sup>tür.





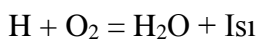
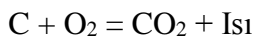
Şekil 2.12 Gazlaştırma prosesi ve buna bağlı olarak enerji eldesinin aşamaları (Watson vd., 2018).

### 2.3.5.1 Gazlaştırmanın Kimyası ve Aşamaları

Katı yakıtların temelinde karbon, oksijen ve hidrojen kompozisyonları yer almaktadır. Gazlaştırıcılar ise biyokütleyi yüksek ısı altında yakmaktadırlar. Bu anlamda gazlaştırma prosesi 5 ana aşamadan oluşmaktadır. Bunlar, kurutma, oksidasyon, piroliz, karbonlaştırma ve gazlaştırma (indirgeme) şeklindedir (Demirtaş ve Danışmaz, 2016). Şekil 2.13’de reaktör içerisinde gazlaştırmanın aşamaları verilmiş olup bu prostedeki termo-kimyasal dönüşüm aşamaları aşağıda açıklanmıştır.

**Kurutma:** Bu bölgede reaktöre giren hammadde yüksek ısı ve buharla içeriğindeki nemden arındırılır. Genel olarak biyokütle %20-30 oranında nem içerirken, kömür daha az neme sahiptir.

**Oksidasyon:** Biyokütlenin organik molekülleri karbon (C) ve hidrojen (H), aşağıdaki reaksiyonlar gereğince, okside olarak ısı enerjisi açığa çıkarılır. Bu reaksiyonlar sıcaklığın dışarıya verildiği ekzotermik reaksiyonlardır. Bunlar sırasıyla karbondioksit ve su buharına dönüşürler. Yanma sonucu yanmayan inorganik minerallerin bulunduğu kül de açığa çıkmaktadır.



**Piroliz:** Organik maddeler oksijensiz ortamda ısıtılırsa ortaya çıkan termal parçalanma sürecine piroliz adı verilir. Oksijensiz ortamda 500-600°C' a kadar

yapılan ısıtmada; gaz bileşenleri, uçucu yoğuşabilir maddeler, mangal kömürü ve kül açığa çıkar. Yüksek sıcaklığa çıktığında ise gaz bileşenleri ve odun gazı açığa çıkar. Piroliz süreci şu şekilde gerçekleşmektedir; Oksijensiz ortamda karmaşık organik moleküller 400-600°C sıcaklık aralığında parçalanarak yanabilir. Neticesinde yanmaz gazlar, katran ve zift açığa çıkar.



**Şekil 2.13** Gazlaştırmanın reaktör içerisindeki aşamaları

**Karbonlaştırma:** Karbonlaştırmada; odun, turba, maden kömürü gibi organik maddeler havasız ortamda kimyasal parçalanmaya uğrarlar. Bu işlem de farklı sıcaklık bölgelerinde gerçekleşir (150-500°C). Karbonlaşma işlemi sonucu açığa çıkan gaz bileşenleri: %50 CO<sub>2</sub> , %35 CO, %10 CH<sub>4</sub>, %5 diğer hidrokarbon ve H<sub>2</sub>'dir. Gaz karışımının yaklaşık kalori değeri 8,9 MJ/m<sup>3</sup>'tür. Odunun karbonlaştırılmasındaki sıvı ürünler ise sulu kısım ve katrandır.

**Gazlaştırma (İndirgeme):** Organik maddelerin gazlaştırılmasında yaklaşık 500 °C sıcaklığa kadar olan süreç piroliz safhası olup burada; karbon, gazlar (kalorifik değeri 20 MJ/m<sup>3</sup>'e kadar çıkabilir) ve katran elde edilir. Isıtma 1000 °C'a kadar çıkıldığında karbon da su buharıyla tepkimeye girerek CO ve H<sub>2</sub> üretilir. Ham maddedeki değişken oksijen oranına bağlı olarak gazlaştırma işlemi için ilave oksijen girdisi gerekmeyebilir. Gazlaştırmada önemli olan biyokütlenin nem oranının % 30'u geçmemesidir. Nem oranı arttıkça gazın kalorifik değeri düşmektedir. Ayrıca hacimsel olarak yanabilir gaz olan CO miktarı düşerken CO<sub>2</sub> miktarı da artmaktadır. Bitkisel atıklar yakılırsa kısmi yanmada kalori değeri 4,5-6 MJ/m<sup>3</sup> olan gaz üretilir.

Oluşan karbondioksit ve hidrojen reaksiyonları gereğince indirgenme reaksiyonu olan ikinci bir işleme tabii olarak karbon monoksit ve hidrojene dönüşürler. Bunun yanı sıra kömür ve katran da oluşur. Katrana dönüşen kömür gazlaştırılır. Oluşan gazlar yanıcı gazdır ve üründeki partikül madde konsantrasyonu azalmıştır.

### **2.3.5.2 Gazlaştırmayı Etkileyen Faktörler**

Gazlaştırma performansını önemli ölçüde etkileyen faktörler kısaca; Reaktör tipi, Biyokütlenin karakterizasyonu, Gazlaştırma maddesi, Gazlaştırma sıcaklığı, ısıtma yöntemi, nem içeriği ve hammadde parçacık büyüklüğü vb. olarak belirtilmiştir.

**Reaktör Tipi:** Biyoatıkların gazlaştırılması için kullanılan dört tip tipik gazlaştırıcı olup, bunlar sabit yataklı, akışkan yataklı, sürüklenen akış ve plazma gazlaştırıcılardır. Her tip gazlaştırıcının farklı kabul edilebilir reaksiyon koşulları, besleme stoğu karakteristikleri ve kül içeriği vardır. Tablo 2.10 son zamanlarda yapılan gazlaştırma çalışmalarında yaygın olarak kullanılan gazlaştırma sistemlerine genel bir bakış sunmakta ve bunların kendine özgü avantajlarını ve dezavantajlarını vurgulamaktadır (Watson vd., 2018). Bu gazlaştırıcılar arasında en sık kullanılanları ve genel olarak en avantajlı olanları ise sabit yataklı gazlaştırıcılar olup akışkan yataklı gazlaştırıcılar da birçok çalışmada kullanılmaktadır.

**Tablo 2.10** Biyo atık gazlaştırma için yaygın olarak kullanılan reaktör sistemleri ve avantajları/dezavantajları.

Reaktör Konfigrasyonu	Avantajları	Dezavantajları
Yukarı Akışlı Sabit Yataklı	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yüksek kül içeriğine karşı tolerans</li> <li>• Yüksek nem içerikli hammadde kabul edilebilir</li> <li>• Hammaddenin boyutuna ve miktarına daha az duyarlı</li> <li>• Düşük çıkış gaz sıcaklığı</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Büyük miktarlarda katran birikimi</li> <li>• Sonraki aşamalar için gaz temizlemenin gerekmesi</li> </ul>
Aşağı Akışlı Sabit Yataklı	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düşük miktarlarda katran birikimi</li> <li>• Nispeten az gaz temizleme gereklidir.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sadece yüksek yoğunluklu hammadde kabul edilebilir</li> <li>• Düşük enerji verimliliği</li> <li>• Yüksek çıkış gaz sıcaklığı</li> <li>• Yüksek kül birikimi</li> </ul>
Kabarcıklı Akışkan Yataklı	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mükemmel ısı transferi</li> <li>• Yüksek oranda karışım</li> <li>• Kolay kül temizleme sistemi</li> <li>• Hammadde değişimlerine düşük hassasiyet</li> <li>• Büyük miktarda, düşük kaliteli hammadde işleyebilir</li> <li>• Yüksek reaksiyon hızları</li> <li>• Ölçeklendirme için düşük yatırım maliyetleri</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Akışkan maddenin dahil edilmesi nedeniyle kompleks işletim</li> <li>• Üretilen gazda yüksek katran ve toz içeriği</li> <li>• Yüksek sıcaklıklarda ötektiklerin oluşumu</li> <li>• Sabit yataklı gazlaştırıcılara kıyasla daha yüksek gaz akış hızı</li> </ul>
Dolaşım Akışkan Yataklı	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kabarcıklı Akışkan Yataklı gazlaştırıcılarla aynı avantajlara sahiptir.</li> <li>• İlave olarak, hammadde partiküllerinin geri dönüşümü</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kabarcıklı Akışkan Yataklı gazlaştırıcılarla aynı dezavantajlara sahiptir.</li> <li>• Gazlaştırma ajanının yüksek hızını gerektirir</li> <li>• İşletimi sabit yataklı gazlaştırıcılara kıyasla çok daha zordur</li> </ul>
Sürüklenen akışlı	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yüksek derecede hammadde esnekliği</li> <li>• Düşük bekleme süresi</li> <li>• Reaktör boyunca aynı reaksiyon sıcaklıkları</li> <li>• Üretilen gazda düşük miktarlarda katran içeriği</li> <li>• Cüruf olarak çok kolay kül temizliği</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yüksek miktarlarda oksitleyici madde gerekir</li> <li>• Üretilen gazın ısı yüksek seviyelerdedir.</li> <li>• Yüksek reaksiyon parametreleri nedeniyle yüksek sermaye maliyetleri</li> </ul>
Plazma	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tüm tehlikeli ve tehlikeli olmayan atıklar arıtılabilir</li> <li>• Cüruf olarak çok kolay kül temizliği</li> <li>• Tehlikeli atıkların imhasında güvenlidir</li> <li>• Oluşan gazda az miktarda ya da sıfır kül içeriği mevcuttur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• İlk yatırım ve işletim maliyeti çok fazladır</li> <li>• Ekonomi hala belirsiz</li> <li>• Sık bakım ihtiyacı</li> <li>• Çok az ya da negatif enerji üretimi</li> </ul>

**Sabit yataklı gazlaştırıcılar:** Bu gazlaştırıcılar, yukarı akışlı ve aşağı akışlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yukarı akışlı gazlaştırıcılarda yakıt, tepeden verilirken hava akımı aşağıdan yukarı doğru verilir. Yakıt, aşağı doğru inerken kurur; pirolize uğrar; gazlaşır ve yanar. Bu gazlaştırıcı tipinin başlıca avantajları; basitliği, gaz çıkış sıcaklığının düşük olmasına bağlı olarak internal ısı değişimi ve yüksek gazlaştırma verimidir. Internal ısı değişimi sayesinde yakıt, gazlaştırıcının tepesinde kurur ve

buna bağı olarak da yüksek nem miktarına sahip yakıtlar da kullanılabilir. Yani hiçbir ön kurutma işlemine gerek olmaksızın gazlaştırma yapılabilir. Ayrıca, bu tip gazlaştırıcılar küçük boyutlardaki yakıt parçacıklarıyla da çalışabilir. Bu da, çok geniş bir boyut aralığına sahip olan biyokütlenin, farklı parçacık boyutları ve nem miktarlarıyla gazlaştırılmaya uygun olduğunu gösterir. Ancak, yukarı akışlı sabit yataklı gazlaştırıcıdaki ürün gazı, karşı akış rejiminde düşük sıcaklıkta yoğunlaşan biyokütlerde üretilen gaz nedeniyle büyük miktarda katran içerir. Oluşan katran ağırlıkça %4,7 gibi az miktarda olabileceği gibi, %18,2 oranları gibi yüksek miktarlarda da olabilmektedir. Oluşan bu yüksek oranlardaki katran, enerji miktarı bakımından istenmeyen bir durum olduğu gibi, aynı zamanda da sık ve düzenli temizleme gerektirmektedir.

Aşağı akışlı gazlaştırıcılarda hava/oksijen ve biyokütle tepeden beslenir. Yani gazlaştırma kütlesi ile eşzamanlı bir akış kullanılır. Yakıt ve gaz hareketi aynı yönlü olur ve gaz, reaktörü alt kısımdan terk eder. Yukarı akışlı gazlaştırıcının tersine, aşağı akışlı gazlaştırıcıda, biyokütle ile gaz arasındaki ısı transferi çok düşüktür. Bu yüzden çıkış gaz sıcaklığı oldukça yüksek olur, aşağı akışlı gazlaştırıcının en önemli avantajı, üretilen gazın oldukça düşük miktarda katran içermesidir. Yapılan çalışmalar, katran içeriğinin ağırlıkça %0.49 kadar az olduğunu ve ürün gazının doğrudan motorun çalışması için kullanılabileceğini göstermiştir (He vd., 2009). Bu reaktör tipinin ise, beslemenin ve havanın aynı yönde akışından dolayı iki önemli dezavantajı bulunmaktadır. Birincisi, besleme hammaddesi seçimi sınırlıdır. Örneğin, biyokütlenin nem içeriği %25'ten düşük olmalıdır, kullanılacak maddelerin boyutu 4-10 cm arası yaklaşık birbirinin aynı olmalıdır, basınç düşüşüne neden olmaması için yüksek yoğunluklu ve kesintisiz besleme olmalıdır. İkinci dezavantajı ise, ürün gazı reaktörden çok yüksek sıcaklıklarda ayrılarak reaktörün düşük enerji verimliliğine neden olur. Bu da, enerji geri kazanımı ve ekonomik fizibilitesini iyileştirmek için harici ısı alışverişini gerektirmektedir.

**Akışkan yataklı gazlaştırıcılar:** Akışkan yataklı gazlaştırıcılar ise kabarcıklı ve dolaşimli olmak üzere ikiye ayrılmakta olup, bu gazlaştırıcılar benzer tasarıma sahiptirler. Tek farkları ise hammaddenin partiküllerinin geri dönüşümüdür. Yani, dolaşimli gazlaştırıcılarda tamamen gazlaştırılmayan hammadde partikülleri bir siklon aracılığıyla geri döndürülür. Bu gazlaştırıcıların ana avantajları ise, katı ile gaz faz arasında yüksek ısı transfer oranlarının olması, yatak malzemesi ve besleme

arasında yüksek karışma oranları, yüksek gazlaştırma verimi ve karbon dönüşüm verimliliği ile sonuçlanan yüksek miktarda katı-gaz temasıdır (Puig-Arnabat vd., 2010). Yapılan çalışmalar, tarımsal atıkların 900°C'de %100'e kadar karbon dönüşüm verimliliğinin elde edilebileceğini göstermiştir (Ngo vd., 2011). Bu iki reaktörün dezavantajı, yüksek kül içerikli besleme stoğunun ötektiklerin oluşumuna neden olmasıdır. Bu ise, akışkanlaştırılmış maddede yapışkanlığa neden olur ve inert yatak malzemesinin akışkanlığını azaltan aglomerasyona neden olmaktadır (Siedlecki vd., 2011).

**Biyokütlenin Karakterizasyonu:** Hammadde içindeki karbon ve oksijen miktarı ne kadar büyük olursa, gazlaştırma sırasında daha fazla miktarda CO<sub>2</sub> ve CO üretilir. Düşük sıcaklıklarda (600°C'nin altında) CH<sub>4</sub> üretilmesine rağmen, CH<sub>4</sub> içeriği azalacak ve metan reformasyonu ve ayrışma reaksiyonları nedeniyle sıcaklık arttıkça CO<sub>2</sub> ve CO içeriği artacaktır. Bu, diğer atık besleme stoklarına kıyasla daha fazla oranda CO ve CO<sub>2</sub> içeriğine sahip evsel katı atık ve tarımsal atıkların beslenmesinde ortaya çıkar (Watson vd., 2018). Yüksek oranlarda azot ve kükürt içeren hammadde beslemelerinde ise, NO<sub>x</sub>/SO<sub>x</sub> emisyonları oluşur ve katalizör zehirlenmesine yol açabilir. Gazlaştırma sırasında nitrojenin çoğu organik kompleksler formundadır ve bu nedenle amonyak ve hatta hidrojen siyanür oluşturmak için gazlaştırma koşulları altında hidrojen ile reaksiyona girer. Azot ayrıca, moleküler azot, azot oksitler ve çeşitli aromatik organik bileşikler olarak küçük bir oranda salınır. Gazlaştırma şartlarında H<sub>2</sub>S de oluşmakta olup, oluşan bu hidrojen sülfürün arıtılması ve sentez gazından ayrıştırılması için ilave işlemler gerekmektedir.

Yüksek kül içeriğine sahip hammaddeler, reaktörün tıkanması, katalizörün katılaşması ve uygun şekilde bertaraf edilmesi gibi sorunlara yol açar. Di Gregorio vd., tarafından yapılan çalışmada, kanatlı hayvan gübresi hammaddesinin kül içeriği %17'den %25'e yükseldiğinde, gazlaştırma veriminin %63'ten %33'e düştüğü ve H<sub>2</sub> ve CO içeriğinin önemli ölçüde azaldığı rapor edilmiştir (Di Gregorio vd., 2014). Uçucu madde de, hammaddenin bir başka önemli özelliği olup, yüksek oranlardaki uçucu madde içeriği katran üretiminin artmasına neden olmaktadır. Genel olarak, tarımsal atıklar (ağırlıkça %73-83) ve evsel katı atıklar (ağırlıkça %77-86), yüksek uçucu madde içerikleri nedeniyle büyük miktarda katran üretme eğilimindedir. Bu

nedenlerle, kül ve uçucu madde içeriği direk olarak gazlaştırma verimini etkilemekte olup, uygun reaksiyon koşullarının ve reaktör tipinin seçiminde önemli olmaktadır.

**Gazlaştırma Maddesi:** Gazlaştırma işlemini destekleyen hava, oksijen, buhar veya karbon dioksit gibi gazlaştırma maddesi, sistem üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Gazlaştırma maddesi olarak hava ile, ürün gazında oldukça yüksek miktarda azot, hacimce kuru bazda yaklaşık %47.5 ve düşük ısıtma değeri, yaklaşık 5.5 MJ / Nm<sup>3</sup> olmuştur. Ana ürünler CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub> ve katranlardır.

**Sıcaklık:** Gazlaştırma sıcaklığı, ürün gaz kalitesini ve proses verimliliğini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Bunun nedeni çoğu gazlaştırma reaksiyonlarının endotermik olmasıdır. Sıcaklık artışı, endotermik katran kırma reaksiyonlarını arttırır, böylece katran içeriğini azaltır ve H<sub>2</sub>, CO ve CO<sub>2</sub> üretir. Metan ayrışma reaksiyonları yüksek ölçüde endotermiktir, dolayısıyla düşük sıcaklıklarda (300-600 °C) CH<sub>4</sub> korunabilir. Ancak, sıcaklıklar 600°C'den yüksek olduğunda CH<sub>4</sub>, metan ve hidrokarbon reformasyon reaksiyonları yoluyla ayrışır (Chen vd., 2015; Nogueira vd., 2011). Öte yandan, genel olarak sıcaklık arttıkça metan ayrışması, buhar ve hidrokarbon yeniden oluşum reaksiyonlarının artması nedeniyle sentez gazı içerisindeki H<sub>2</sub> miktarı da artar. Sıcaklıkla bağlantılı olarak, H<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> üretimine yönelik değişimler birçok çalışmada raporlanmış olsa da, sıcaklığın CO ve CO<sub>2</sub>'in değişimine yönelik kesin sonuçlara literatürde rastlanılmamıştır.

Yapılan çalışmalarda, tüm biyokütlelerin gazlaştırılmasında sıcaklık artışına bağlı olarak H<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> eğilimleri takip edilmiştir. Örneğin artıma çamurlarının hammadde olarak kullanıldığı bir çalışmada, sıcaklık artışına bağlı olarak (700-1000°C arasında) H<sub>2</sub> oranında %7'lik bir artış yaşanırken, CO<sub>2</sub> oranında %4'lük bir azalma görülmüştür (Nipattumakul vd., 2010). Atık odun kullanılan bir diğer çalışmada ise, 750-950 °C arasındaki sıcaklık artışında, H<sub>2</sub> %19,7 oranında artmış ve CH<sub>4</sub> %5,1 oranında azalmıştır (Wu vd., 2006). Bununla birlikte CO ve CO<sub>2</sub> kompozisyonlarında, sıcaklığa bağlı olarak beklenen, tanımlanmış herhangi bir eğilim yoktur. Ancak bazı çalışmalar, sıcaklık artışıyla, CO içeriği arttıkça CO<sub>2</sub> içeriğinin daha düşük olmasına neden olduğunu göstermiştir (Luo vd., 2012; Nipattumakul vd., 2010; Wu vd., 2006).

**Basınç:** Bir gazlaştırıcının işletme basıncı, proses ihtiyacına ve ürün uygulamalarına göre seçilir (Higman ve Burgt, 2003). Çalışmalar, artan basıncın CH<sub>4</sub> ve CO<sub>2</sub>'de

kademeli bir artış gösterdiğini ve ürün gazındaki CO ve H<sub>2</sub> içeriğinde hafif bir düşüş olduğunu ortaya koymaktadır (Castaldi, 2008).

**Isıtma Hızı:** Isıtma oranının etkisi piroliz ve uçuculaşma aşamasında uçucuların ayrılması üzerinde görülebilir. Daha yüksek bir ısıtma hızı, uçucu maddeleri hızla serbest bırakır ve biyokütlenin buharla gazlaştırılmasında katı maddenin gözenekli doğasını ve reaksiyon hızını önemli ölçüde artırır. Öte yandan, düşük ısıtma hızı char parçacıklarının uçucu maddeler ile reaksiyona girmesine izin verir (Higman ve Burgt, 2008). Isıtma hızı, katı maddenin temel bileşimini etkilemez (Fushimi vd., 2003).

**Isıtma Yöntemi:** Gazlaştırma işlemi bir dizi endotermik ve ekzotermik reaksiyonu içerir. Doğrudan ısıtılmış gazlaştırıcıda, gerekli ısı, reaktör içindeki besleme stoğunun kısmi bir oksidasyonu yoluyla ekzotermik reaksiyonlarla sağlanır; ve dolaylı ısıtılmış gazlaştırıcıda, gerekli ısı bir dış kaynak tarafından sağlanır.

**Hammadde Isıtma Değeri:** Genel olarak ısıtma değeri, katı yakıt için ağırlık biriminde (MJ/kg) ifade edilen yanma reaksiyonundan salınan ısı miktarı ve gaz yakıt için hacim birimi (MJ/Nm<sup>3</sup>) anlamına gelir. Hammaddenin ısınma değeri nem içeriğine ve yanıcı organik malzemeye bağlıdır (De Filippis vd., 2004). Farklı hammaddeler arasında en yüksek değer kömür; ve biyokütle tipi yakıtlar için 14-20 MJ/kg aralığındadır (Higman ve Burgt, 2008; 2003; Van Wylen vd., 1994).

**Atık Parçacık Büyüklüğü ve Hazırlama Adımları:** Atık parçacıkların yoğunluğu, büyüklüğü ve şekli, gazlaştırma yatağı içindeki ısı transferini etkiler. Örneğin, sürüklenen bir akış gazlaştırıcısı, beslemenin parçacık büyüklüğünün birkaç yüz mikron aralığında, akışkan yataklı bir reaktör için, birkaç mm aralığında; ve sabit yataklı gazlaştırıcıda daha büyük parçacıklar olmasını gerektirir; (Rezaiyan ve Cheremisinoff, 2005).

**Nem İçeriği:** Nem seviyesi, reaksiyon sıcaklıklarını ve syngas bileşimini ve prosesin enerji dengesini çeşitli şekillerde etkiler. İzin verilen nem içeriği aralığı yaklaşık %10-15'tir (Rezaiyan ve Cheremisinoff, 2005).



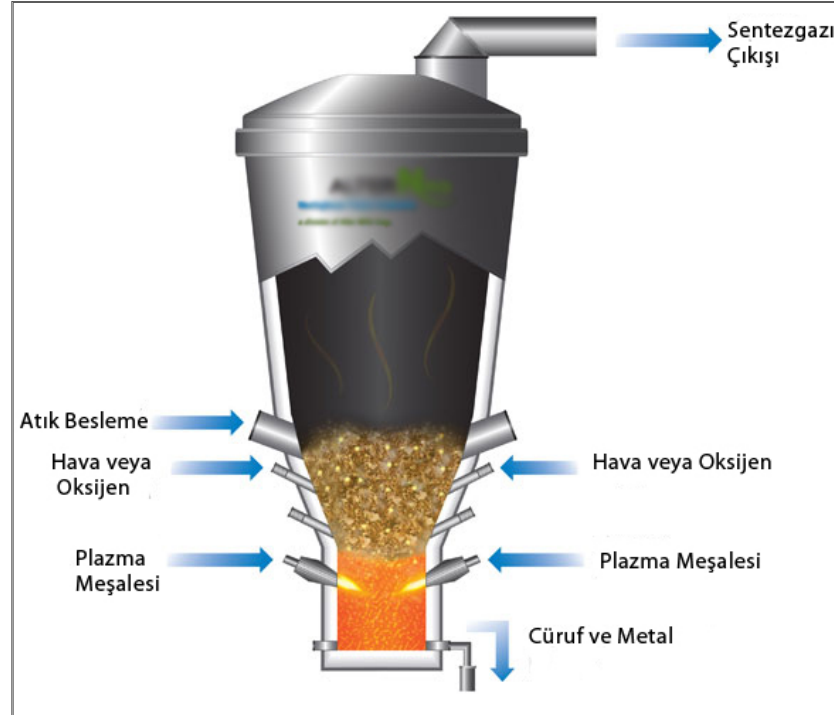
### 2.3.5.3 Biyokütlenin Gazlaştırılması ve Dünya'daki Uygulamaları

Son yıllarda, gazlaştırma işlemi, karışık belediye katı atıklarının bertarafında uygulanmıştır (Lawrence, 1998).

MSW, karbon içeriği ve yüksek ısıtma değeri açısından avantaj sağlayabilen ahşap, gıda artıkları, bahçe süsleri, kağıt ve plastikler dahil yaklaşık %60 biyokütle kaynaklı bileşenlerden oluşur. MSW'nin temel bileşimi (ağırlıkça %) karbon: 17-30, hidrojen: 1.5-3.4, oksijen: 8-23, su: 24-34, küller: 18-43 aralığındadır ve ortalama kalorifik değeri 5-10 MJ/kg'dır (Cherednichenko vd., 2002). MSW gazlaştırma çalışmaları, MSW'de yer alan her bir bileşenin gazlaştırma incelemelerine kıyasla sınırlıdır (Choy vd., 2004; Cheung vd., 2007; Jung vd., 2005). Biyokütlenin gazlaştırılması, katı yakıtların ısıl çevirim teknolojisiyle yanabilen bir gaza dönüştürülmesi işlemidir. Gazlaştırma işleminin başlıca ürünü, farklı güç üretimi işlemlerinde veya endüstriyel uygulamalarda yakıt olarak kullanılabilen gazlardır. Üretilen gaz; karbonmonoksit, karbondioksit, hidrojen, metan, su ve azotun yanı sıra kömür parçacıkları, kül ve katran gibi artıkları da içermektedir. Üretilen gaz temizlendikten sonra kazanlarda, motorlarda, türbinlerde ısı ve güç üretilmek üzere kullanılır. Gazlaştırma teknolojisi ile biyokütleden, yüksek bir verimle petrolle çalışan güç ve ısı sağlayan türbinlerde kullanılacak bir gaz yakıt elde edilebilir. Üretilen sentez gazı için çeşitli son kullanımlar olmasına rağmen, biyoatık gazlaştırma için hala büyük ölçekli tesis bulunmamaktadır.

Güvenilir, uygun fiyatlı ve temiz bir enerji kaynağı, toplum, ekonomi ve çevre için büyük öneme sahiptir. Özellikle 21. yüzyılda hayati önem taşımaktadır. Bu anlamda, biyokütlenin kullanımının, büyük potansiyel ve gelişmiş uygulamalar seçeneği nedeniyle çok ümit vaat ettiği düşünülmektedir. Gazlaştırma ise, çeşitli hammaddeleri çok çeşitli uygulamalara dönüştürme olanağı sunan temiz ve yüksek verimli bir dönüştürme prosesi olup, son yıllarda hem gelişmiş ülkelerde ileri düzeyde uygulamaları ile hem de gelişmekte olan ülkelerde kırsal kesimin elektrik ihtiyacının karşılanmasında önemli bir teknoloji olarak görülmüştür. Bu nedenle, biyokütle kullanımı için modern bir uygulama ve uygun teknoloji olarak kabul edilmiştir. Gazlaştırmanın kullanımı 1970 yıllarında ABD'de, 1980 yıllarında ise Avrupa ülkelerinde (Almanya, Finlandiya gibi) ilk uygulamaları yapılmıştır. 1990'lara gelindiğinde, iklim değişikliği konusunda farkındalık artmış ve bunun

sonucunda yenilenebilir enerjiye ve bununla birlikte biyokütlenin gazlaştırılmasına olan ilgi artmıştır (Babu, 1995). ABD'de gazlaştırma konusunda çalışmalar ve gelişmeler devam ederken, Avrupa ülkelerinde bu sistem giderek daha fazla yer almaya başlamıştır. Almanya ve Avusturya gibi önde gelen ülkelerle birlikte Hollanda, İtalya, İngiltere, İsviçre ve Danimarka da dahil olmak üzere gazlaştırma sistemlerinin geliştirilmesine ve uygulanmasına dahil olmuşlardır (Kwant ve Knoef, 2004). Özellikle yenilenebilir enerjiye güçlü destekler veren ve biyokütlenin kullanılabilirliği olan ülkelerde, biyokütle gazlaştırmanın geliştirilmesi yerleşik bir uygulama haline gelmiştir (Faaij, 2006). ABD ve Avrupa'daki bu gelişmelerin yanısıra ülkemizde bu prosesin kullanımı ve bilimsel çalışmalara konu olması günümüzde bile oldukça sınırlıdır. Yapılan çalışmaların kısıtlı olması, yeterli bilgi ve tecrübenin olmaması bu sistemlerin ülkemizde kullanımının önüne geçmekte olup, bu sistemlerin daha iyi anlaşılmasına ve işletilmesindeki problemlerin azaltılmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Bir gazlaştırma tesisi sadece bir gazlaştırıcıdan ibaret olmayıp, aynı zamanda hammadde ön arıtma ve besleme, gaz temizleme ve son kullanım uygulamasını içerir. Zamanla bu süreçlerin her biri, sistem entegrasyonu ve gazlaştırma sürecinin bilimsel olarak anlaşılması konularının eklenmesiyle, sürekli araştırma ve geliştirmeye konu olmuştur.



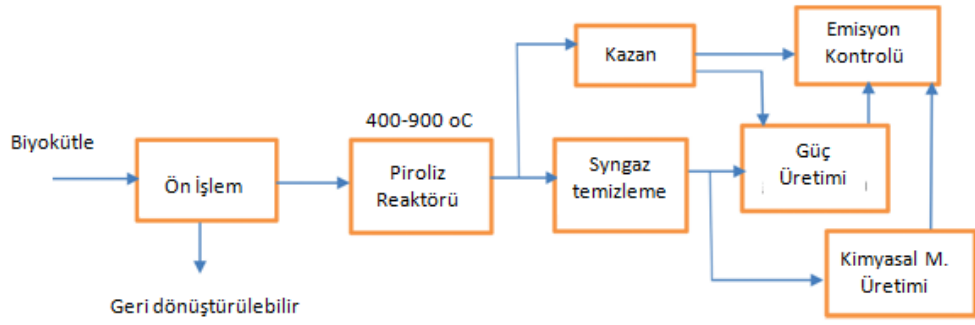
**Şekil 2.14** Plazma Gazlaştırma Sistemi

### 2.3.6 Piroliz

Piroliz ve Gazlaştırma, organik fraksiyonundan enerji elde etmek için ve belediye atıklarının bertarafı için yakma işlemine alternatif olarak geliştirilen termal işlemlerdir. Bunlar daha karmaşık süreçleri içeren gelişmiş termal teknolojilerdir. Atık kullanımında atık depolamadan ve yakmadan daha iyi bir olasılık sunmaktadır. Ancak şu ana kadarki ticari deneyimleri yeterli değildir (Chen vd., 2014; Bosmans vd., 2012; Di Gregorio vd., 2012; RTI Uluslararası, 2012; Castaldi, 2008; Castaldi ve Themelis, 2010; E4Tech, 2009; Arena, 2012; Ricketts vd., 2002; Morris ve Waldheim, 1998; Manya vd., 2006; Kim, 2003; Zhao vd., 2010; Yassin vd., 2009; Arena vd., 2010 & 2011; Xiao vd., 2009; Thomas, 2004; ESTET, 2004; Belgiorno vd., 2003; Surisetty vd., 2012; Faaij vd., 1997; Niessen vd., 1996; Morris ve Waldheim, 1998; Solantausta vd., 1999).

Piroliz ve gazlaştırma, ısı ve elektrik şeklinde enerji üretmek için kullanılacak tutarlı, yüksek kaliteli bir syngas üretme özelliğine sahiptir. Yüksek değerli kimyasallar ve yakıtlar üretmek için hammadde olarak da kullanılabilir. Atıklardan enerji geri kazanımı için piroliz ve gazlaştırma, çoğu durumda, gazlarının hemen yanması ve piroliz durumunda katı reaksiyon ürünlerinin oluşmasıdır. Bu sistemlerin doğası ve tasarımı, besleme stoğunun oksidasyonunu önleyerek önemli ölçüde giderilebilecek daha az kirleticinin oluşumuna neden olur. Sonuç olarak, bu teknolojiler herhangi bir ülkenin en katı yasal gerekliliklerine bile uymaktadır.

Piroliz, hava/oksijen yokluğunda veya gazlaşmanın sınırlı ölçüde gerçekleştiği sınırlı bir tedarikle karbonlu malzemenin endotermik bir termokimyasal dönüşümüdür. Bu kısmi gazlaştırma, piroliz için gereken termal enerjiyi sağlamak için kullanılır. Ancak, ürün pahasına sentez gazı, sıvılar (pirolitik yağlar) ve katı kömür olan ürün verimleridir. İşlem düşük sıcaklıklarda 400–900°C, ancak genellikle 700°C'den düşüktür (Helsen ve Bosmans, 2010). Ürünlerin verimi ve bileşimi, malzemelerin türüne, piroliz yöntemine ve sıcaklık, basınç, reaksiyon hızları gibi işlem koşullarına büyük ölçüde bağlıdır.



**Şekil 2.15** Piroliz Akış Diyagramı

Piroliz akış diyagramı Şekil 2.15'de gösterilmektedir. Atık malzemelerden bazıları uzun zincirlerin karmaşık kimyasal polimerlerinden oluşur ve bu maddelerin oksijen olmadan pirolize edilmesi, düşük moleküler ağırlıklara sahip zincirler ve moleküller üretmek için uzun zincirleri parçalar. Bu kısa moleküller hidrojen içeren yağların ve hidrokarbon gazlarının oluşmasına neden olur. Piroliz gazının ana bileşenleri, yanıcı gazlar olan CO, H<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub>'tür. Ayrıca, ısıtma değeri olmayan oksidize edilmiş bileşikler (karbondioksit ve su) içerir. Piroliz işlemi havasız düşük sıcaklıklarda gerçekleştiğinden, ham maddenin büyük bir reaksiyona girmemiş kısmı katı kömür formunda kalır. Piroliz, kendi başına bir bertaraf yöntemi olabilir, ancak çoğunlukla yanma veya bazı durumlarda sızılama görülür. Piroliz gazının ısıtma değerleri tipik olarak, MSW'ye dayanarak 5-15 MJ/m<sup>3</sup> ve RDF'ye dayanarak 15-30 MJ/m<sup>3</sup> aralığındadır. Düşük sıcaklıklar ve indirgeyici koşullar nedeniyle, MSW'nin pirolizi; işlem artıkları içinde alkali, ağır metaller, klor ve kükürt tutularak, dioksin ve furan oluşumunu önleyerek ve termal NO<sub>x</sub> oluşumunu azaltarak korozyon ve emisyonları azaltma ve önleme avantajına sahiptir (Liu, 2005).

MSW'nin ön işlenmesi tipik olarak işlemin daha verimli olması için gereklidir. Spesifik piroliz işlemine bağlı olarak, ön-işlem, cam, metaller ve beton gibi tematik olarak parçalanamayan malzemelerin sıralanmasını ve ayrılmasını, ardından boyut küçültme ve yoğunlaştırmayı içerebilir. Atığın yüksek nem içeriğine sahip olması durumunda nem < %25'e düşürmek için ön işleme aşamasına bir kurutucu eklenebilir, böylece besleme stoğunun ısıtma değeri sistemin daha verimli hale gelmesi için artırılabilir. Sistem tarafından üretilen atık ısı veya yakıt, gelen MSW'yi kurutmak için kullanılabilir. Pirolitik reaksiyonlar işlem koşullarına bağlı olarak yavaş, hızlı

veya geleneksel olabilir. 400°C'de uzun kalma süreleri ile yavaş piroliz temel olarak kömür üretir. İlmli ısıtma oranlarını (20°C/dak) ve tipik olarak 400-600°C aralığında sıcaklıkları içeren geleneksel piroliz, ham atıkların yapısına bağlı olarak oldukça eşit miktarda kömür, yağ ve gaz dağılımı üretir. Hızlı veya ani pirolizde atık, çoğunlukla buhar ve aerosoller ile kömür ve gaz üretmek için çok hızlı bir şekilde ayrışır (Bridgwater, 2012). Kısa kalma süreleri (<1 sn) ve piroliz gazlarının hızlı soğutulmasıyla yüksek ısıtma oranları 400 ila 650°C'de sıvı üretimi, 650 ile 900°C'de sıvı ve syngas ve 1000 ila 3000°C'de syngas üretimi ile sonuçlanır. Böylece işlem koşulları istenen bir ürünü üretmek için optimize edilebilir. Örneğin, sıvı ürünler (pirolitik yağlar) düşük piroliz sıcaklıkları tarafından üretilirken, syngas yüksek piroliz sıcaklıkları tarafından üretilir. Yavaş, hızlı ve ani piroliz - terimlerinin öznel olduğu ve ikamet sürelerinin ve ısıtma oranlarının kesin bir tanımının olmadığı ve bazen hem hızlı piroliz hemde ani piroliz olarak tanımlanır. Termal enerji genellikle dolaylı olarak bir kondansatör reaktörünün duvarları boyunca termal iletimle uygulanır çünkü hava veya oksijen kasıtlı olarak reaksiyona sokulmaz veya kullanılmaz. Reaktör duvarlarından ısı transferi, reaktörün ayrıca gaz halindeki ürünlerin çıkarılması için bir taşıma ortamı da sağlayan etkisiz gazla doldurulmasıyla gerçekleşir. Hammaddenin hazırlanması ve öğütülmesi, atığın kalitesini iyileştirmek ve standartlaştırmak ve ısı transferini teşvik etmek için çok önemlidir. Ayrıca, sürece bağlı olarak, ayrılmış bir kurutma ham işlem gazlarının düşük ısıtma değerini ve piroliz reaktörü içindeki gaz-katı reaksiyonlarının verimini artırır.

### **2.3.6.1 Artılar**

Ayrışma sıcaklığı yakma sıcaklığından daha düşüktür, bu nedenle tesisin termal sıkıntısı yakmadan daha az yoğundur. Ayrışma, yakma işleminden farklı olarak zayıf bir ortamda gerçekleşir ve bu nedenle daha az oksijen ihtiyacı, daha az hava emisyonuna neden olur. Karbondaki kül içeriği yakma durumunda olduğundan çok daha yüksektir. Atığa dahil olan metaller piroliz sırasında oksitlenmez ve ticari değeri daha yüksektir. Ağır metallerin külde tutulması, yakma işleminden daha yüksektir (600°C işlem sıcaklığında ağır metallerin tutulması: %100 krom, %95 bakır, %92 kurşun, %89 çinko, %87 nikel, %70 kadmiyum). Piroliz gazının yanmasından hiçbir kül üretilmez ve elde edilen gazın temizlenmesi daha basittir. Başlangıçtaki atık hacmi yakma ile karşılaştırıldığında oldukça azalır. Yakma ile

karşılaştırıldığında azaltılmış; LCV 8 MJ/kg olan ürün gazı, kısa tutma süresi olan kompakt bir yanma odasında yanabilir ve kapsamlı baca gazı temizliğinden sonra emisyonlar düşüktür. HC1 katı tortu içinde tutulabilir veya damıtılabilir. Dioksin ve furan oluşmaz. Plastik atıklar gibi yüksek uçucu içerikli atık fraksiyonları için çok uygundur. Verimli bir buhar döngüsüne sahip mevcut kazan tesislerinde ateşlendiğinde yüksek güç/ısı oranına sahiptir. Ancak genel olarak düşük enerji verimliliği vardır.

### 2.3.6.2 Eksiler

Ünitenin montaj ve işletme maliyetini büyük ölçüde artırabilecek olan besleme ve taşıma sistemlerinin tıkanmasını önlemek için piroliz reaktörüne girmeden önce atık parçalanmalı veya ayrılmalıdır. Pirolitik yağlar/katranlar toksik ve kanserojen bileşikler içerir. Piroliz ürünleri başka bir işlem yapılmadan bertaraf edilemez. Gazları ve atık suları temizleme tesisleri son derece düşük maliyetlidir. İşlenmiş atığın yapısına bağlı olarak, katı kalıntı, katı yakıtlı bir kazan veya gazlaştırıcıda nihai yanma gerektiren birincil yakıtın (MSW) kalorifik değerinin %20-30'unu içerir. Kalan katı kalıntı yüksek bir ağır metal içeriğine sahiptir. Proses için en azından çalıştırma sırasında yedek yakıt temini gereklidir. Önemli ölçekte tesislerden uzun süreli işletme deneyimi sıfırdır. Bununla birlikte döner tambur veya akışkan yatak biçimindeki ortalama sıcaklık reaktörlerinin beklentileri daha iyi görünmektedir (Moustakas, K., Loizidou, M., 2010).

Özetle, pirolizin genel özellikleri aşağıda verilmiştir;

- Proses sırasında yakıtta bulunan oksijenden başka oksijen yoktur.
- Proses sıcaklıkları 400°C ila 800°C arasında değişmektedir.
- Proses ürünleri gaz, sıvı (pirolitik yağ) ve tamamen okside olmayan katı malzeme kalır.
- Daha uzun kalma sürelerine sahip düşük sıcaklıklar daha fazla katı malzeme ile sonuçlanma eğilimindedir.
- Kısa kalma süreleri (<1 s) olan yüksek sıcaklıklar daha fazla sıvı oluşmasına neden olur (% 80'e kadar).
- Üretilen orta enerji gazının tipik net kalorifik değeri (NCV) normal sıcaklık ve basınçta 15 ila 20 MJ/Nm<sup>3</sup>tür.

### 2.3.6.3 Proses Ürünlerinin Kullanımı

Reaktörden gelen sentez gazı doğrudan bir termal oksitleyici veya kazan içinde birleştirilerek enerji üretimi için buhar üretilir. Egzoz gazları daha sonra partikül maddenin uzaklaştırılması için kumaş filtreler veya elektrostatik çökticiler, asit gazlarının çıkarılması için ıslak veya kuru temizleyiciler ve ağır metallerin çıkarılması için aktif karbon yatakları içerebilen bir emisyon kontrol sisteminden geçer (CH2M Hill, 2009).

Pirolitik reaksiyon odasını ısıtmak veya reaksiyon odasına giren besleme stoğunu kurutmak için de kullanılabilir. Pirolitik yağlar doğrudan yakıt uygulamalarında kullanılabilir veya motor yakıtları, kimyasal maddeler ve diğer ürünler gibi daha yüksek kaliteli ikincil ürünler üretmek için rafine edilebilir. Yağ, ham atıktan daha yüksek bir enerji yoğunluğuna sahiptir. Ham maddedeki inorganik malzemeler taban külü olarak çıkarılır. Genellikle reaksiyona girmemiş kömür ile birleştirilir ve atılması için ayrılabilir veya inşaat mazemeleri yapımında kullanılabilir. Katı kömür bir katı yakıt olarak, yakıt için kömür-su bulamacı olarak, karbon siyahı olarak kullanılabilir veya karbon aktif hale getirilmek üzere yükseltilebilir. İkincil yakıt üretimi için piroliz kullanımı veya atıklardan elde edilen malzemelerin geri kazanılması potansiyelin varlığına bağlıdır.

**Tablo 2.11** Yakma, Piroliz ve Gazifikasyon Sistemlerinin Karşılaştırılması

FAKTÖR	YAKMA	PIROLİZ	GAZİFİKASYON
Genel Kullanım Kanıtlanmış Teknoloji	Yaygın, Evet	Az,Kısmen Kanıtlanmış	Az,Kısmen Kanıtlanmış
Temel Prensiptir	Yanma	Anerobik Termo- Kimyasal Dönüşüm	Termo- Kimyasal Dönüşüm
Aritma Maliyeti	Orta-Yüksek	Orta-Yüksek	Yüksek-Çok Yüksek
Uygunluk	İyi	Düşük- Orta	Teknolojiye Bağlı Değişkenlik
Atık Kabulü	Emisyon Kontrolü Uygun ise Her Türü Atık	Özellikle Kontamine, İyi Tanımlanmış Kuru Atık	Kuru Atık Kabulü
Nemli Evsel Atık Kabulü	Evet	Mümkün ancak kabul edilmiyor	Mümkün ancak kabul edilmiyor
Kuru Evsel Atık Kabulü	Evet	Evet	Evet
Kabul Edilmeyen Atık	Yok	Nemli Evsel Atık	Nemli Evsel Atık
Katı	Orta	Düşük	Orta- Yüksek
Hava	Orta- Yüksek	Orta- Yüksek	Orta- Yüksek
Su	Yüksek	Yüksek	Orta- Yüksek
Koku Kontrolü	İyi	İyi	İyi
Çalışma Ortamı	İyi	İyi	İyi
Enerji Kazanımı	Evet 7500-10.000 MJ/KG	Evet Yakma Sisteminin %70+ Enerji İçeren Ürünler	Evet Yakma Sisteminin %50'si
Karbon Döngüsü	%1 Kalıntıda %99 Atmosfere	%20-30 Katı Kalıntıda Kalanı Atmosfere	%2 Kalıntıda %98 Atmosfere
Geri Dönüşüm İçin Uygun Ürün	%15-20 Kül %3 Metal	%30-40 Kömürleşmiş Katı Madde %3 Metal	%15-20 Kül %3 Metal
Su	Uçucu Kül ve Baca Gazı Kalıntıları %2-3	Baca Gazı Kalıntıları %2-3	Gazı Temizleme Kalıntıları %2-3

**Tablo 2.12** Tipik Reaksiyon Koşulları ve Elde Edilen Ürünler

FAKTÖR	YAKMA	PIROLİZ	GAZİFİKASYON
Reaksiyon Isısı (0 C )	800-1450	250-700	500-1600
Basınç	1	1	1-45
Yanma Odası	Hava	İnert- Nitrojen	Gazifikasyon Alanı O <sub>2</sub> ,H <sub>2</sub> O
Sitokiyometrik Oran	> 1	0	<1
Gaz Faz	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, O <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> , CO Hidrokarbonlar, H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , C H <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O, N <sub>2</sub>
Katı Faz	Kül, Cüruf	Kül, Kok	Kül, Cüruf
Sıvı Faz		Pirolitik Yağ, Su	



Piroliz, Gazifikasyon ve Yakma gibi termal proseslerinin tipik reaksiyon koşulları ve proses sonucu elde edilen ürünler farklılıklar gösterebilir (Kolb ve Seifert., 2002).

Yakma işlemi geleneksel kabul edilirken, gazlaştırma ve piroliz ileri termal işlemler olarak kabul edilmiştir. Her bir işlem, enerji üretmek için yakıtın oksitlenmesi ile karakterize edilir. Belediye atıkları yüksek bir sıcaklığa getirildiğinde önce bir ortamda kurur ve sonra uçucu (katranlar ve gazlar) ve kömür bileşenlerine ayırıştır veya pirolizi çözer. Bu aşama, üç sürecin hepsinde ortaktır.

Yanma işlemi, aşırı miktarda oksidan genellikle hava kullanır, böylece yanma reaktöründeki kömür ve uçucular tamamen yanar. Yakıtın tam kalorifik değeri reaktöre ve baca gazlarının hissedilir ısısına esas olarak karbon dioksit olarak salınır. Bu ısı, bir buhar türbini ile enerji üretimi için buharı yükseltmek için kullanılabilir. Yakma, ateşleme için yüksek sıcaklıklar, tüm bileşenleri oksidan ile karıştırmak için yeterli türbülans ve tüm oksidasyon reaksiyonlarını tamamlamak için zaman gerektirir.

Gazlaştırma işlemi, aynı reaktörde hem yanmayı hem de reaksiyonları azaltmak için sınırlı miktarda oksidan olarak oksijen kullanır. Kömür ve uçuculardan bazıları, piroliz ve metan ve diğer hafif hidrokarbonların yanı sıra, esas olarak karbon monoksit ve hidrojen içeren bir sentez gazı (syngas) üreten başka reaksiyonlar için gerekli olan ısıyı sağlamak için yanmaktadır. Böylece yakıttaki enerji büyük ölçüde reaktörden çıkan gazın ısıtma değerine aktarılır, bu daha sonra bir gaz türbini veya motorunda, buhar üretmek için güç veya bir kazan içinde yanar. Syngas ayrıca sentetik doğal gaz, metanol, dimetil eter ve diğer kimyasalları üretmek için bir ara madde olarak kullanılabilir.

Gazlaştırma işlemi, işlemin sınırlı miktarda oksijen varlığında daha yüksek sıcaklıklarda gerçekleştiği anlamda pirolizden farklıdır. Bu oksijen, kayda değer bir ısıtma değerine sahip olan yanıcı bir syngas üretmek için atıktaki karbon ile reaksiyona girer. Sınırlı oksijen, bir gazlaştırma maddesi (hava veya CO<sub>2</sub> veya buhar) aracılığıyla veya doğrudan temin edilebilir. Bu gaz, düşük miktarlarda karbondioksit, su, metan, hidrojen sülfür, amonyak ve belirli koşullar altında katı karbon, azot, argon ve bazı katran izleri içeren CO ve H<sub>2</sub>'den (yaklaşık %85) oluşur. Azot ve argon, havanın oksidan veya plazma gazı olarak kullanılmasından ortaya çıkar.

Syngas, ısı/enerji üretimi için bir yakıt olarak kullanılabilir veya çok çeşitli sıvı yakıtlar ve kimyasallar elde etmek için ayrıca işleminden geçirilebilir (Ladwig vd., 2007; Ishikawa vd., 2008; Galeno vd., 2011; Khodakov vd., 2007; Oxtoby, 2002; Young; 2010).

Piroliz işleminde oksijen kullanılmaz ve kömür ve uçucular büyük ölçüde değişmeden kalır. Böylece yakıttaki atık enerji, uçucuların ısınma değerlerine aktarılır ve kömür reaktörden çıkarılır. Bunlar güç üretmek için türbinlerde, motorlarda veya kazanlarda ayrı ayrı yakılabilir. Uçucular, sentetik bir yakıt olarak kullanılabilir bir sıvı vermek üzere yoğunlaştırılabilir.

Üretilen gaz, sıvı ve katran oranları, ısıtma hızına, reaktörün sıcaklığı gibi parametrelere bağlıdır. Üçünde de sonuç, aynıdır. Atıktaki enerji elektrik üretmek için kullanılabilir ısı üretmek için yanma yoluyla oksidasyon yoluyla salınan, gazlaştırma ve piroliz, heterojen katı yakıtı tutarlı bir sıvı ya da gaz halinde ara yakıtı dönüştürerek bu işlem üzerinde daha fazla kontrol elde etmenin bir yoludur (Howes, 2012).

Piroliz ve gazlaştırma, daha ileri termokimyasal dönüşüm işlemleri olarak kabul edilir, 1970'lerden beri uygulanmaktadır (Kolb ve Seifert, 2002).

Her dönüştürme teknolojisi, girdi için farklı gereksinimleri belirler, farklı modlarda çalışan farklı ekipman yapılandırmalarını kullanır ve farklı ürün yelpazesi sunar. Yakma işleminden farklı olarak, hem piroliz hem de gazlaştırma, atıkların enerji değerinden ziyade kimyasal değerinin geri kazanılması için kullanılabilir. Elde edilen kimyasal ürünler, diğer işlemler için hammadde olarak veya daha önce belirtildiği gibi ikincil bir yakıt olarak kullanılabilir. Bununla birlikte, atıklara uygulandığında, piroliz, gazlaştırma ve yanma bazlı işlemler, genellikle entegre bir işlemin bir parçasıyla aynı alanda birleştirilir. Genel olarak, bu tür entegre işlemler, geleneksel bir yakma fırınında olduğu gibi, atıkların kimyasal değeri yerine toplam enerji değerini geri kazanır (Bosmans vd., 2013).

Atık ısı işlem süreçleri, başarılı bir şekilde işletilen atık yönetim sistemleri tarafından kanıtlandığı gibi sürdürülebilir bir Entegre Belediye Katı Atık Yönetim sistemi için çok önemlidir (Brunner vd., 2004; Porteous, 2005; Psomopoulos vd., 2009).

Bu işlemler, biyokimyasal ve fizikokimyasal işlemler gibi diğerlerine kıyasla daha yüksek sıcaklıklar ve dönüşüm oranları ile karakterize edilir. Bunlar çoğunlukla sınıflandırılmamış atıklar olmak üzere çeşitli katı atık türlerinin etkili bir şekilde arıtılmasını sağlar ve çeşitli avantajlar sunar (Arena, 2012).

Gerekli depolama alanından önemli bir azalma sağlanır. Kütleli olarak %70-80 ve hacimsel olarak yaklaşık %80-90 bir azalma olur (Consonni vd., 2005).

Enerji tesisinin atıklarının depolanması için gerekli olan alan, düzenli depolama için gerekli olan alandan önemli derece küçüktür (Psomopoulos vd., 2009).

Halojenli hidrokarbonlar gibi organik kirleticiler etkisiz hale gelir (McKay, 2002; Buekens ve Cen, 2011).

Demir ve demir dışı metaller gibi geri dönüşümlü malzemelerin dip külü ve cürufun kullanımını sağlar (ISWA, 2006; CEWEP, 2011).

Anaerobik ayrıştırma işleminden kaynaklanan sera gazı emisyonlarının azaltılması sağlanır. Her bir ton atık için yaklaşık 1 ton eşdeğer CO<sub>2</sub> tasarrufu sağladığını göstermiştir (Psomopoulos vd., 2009).

Daha iyi çevresel performans ve diğer enerji kaynaklarına göre daha ciddi emisyon düzenlemelerine uygun hale gelir (Arena vd., 2003; Azapagic vd., 2004)

Enerji tesisinden gelen enerji üretimi, herhangi bir diğer elektrik kaynağından daha az çevresel etkiye yol açmaktadır (Rechberger ve Schöller, 2006). Özellikle tesis ısı ve enerji kojenerasyonu için tasarlanıp çalıştırıldığında “temiz” enerji üretimi elde edilir.

Özetle, termal bertaraf yöntemleri arzu edilen, özellikle yenilikçi teknolojiler kullanan sanayileşmiş ülkelerde, elektrik ve/veya ısı üretmek için sıklıkla uygulanabilmektedir (Akehata 1998; Rylander 1997; Fiyatı 1996; Vehlow 1996; Hjelmar 1996; Bontoux 1999; Anon 2000; Faulstich ve Jorgens, 1999).

### **2.3.7 Enerji Geri Kazanımı**

Modern termal yakma tesislerinde atık içerisindeki kimyasal enerji yanma prosesi esnasında baca gazına salınır bu nedenle baca gazı sıcaklığı yaklaşık 1000°C'ye

ulaşır. Baca gazının sahip olduğu ısı kazan, kızdırıcı ve ekonomizerde geri kazanılır. Elektrik üretimi için kazan borularındaki su bu ısı tarafından tipik olarak 400°C ve 40 bar basınca sahip kızdırılmış buhara dönüştürülür.

Geri kazanılan ısı kazan teknolojisine bağı olarak 3 farklı şekilde kullanılabilir.

Merkezi ısıtma olarak ısının direkt kullanılması.

Buhar türbinleri vasıtasıyla elektriğe dönüştürülmesi.

Hem ısıtma hem elektrik üretiminde kullanılması (Reddy, 2016).

Bir atık yakma tesisinin genel verimliliği, kullanılabilir enerjinin (ısı ve güç) tedarik edilen enerjiye oranı olarak tanımlanmaktadır. Atık ısı tamamen kullanılıyorsa (CHP) %80'e kadar teorik bir genel verimlilik elde edilebilir. Baca gazı yoğunlaştırması uygulanırken gizli ısı da geri kazanılabilir ve bu rakam %90'ın üzerine çıkar. Isı kullanılmazsa, normal buhar parametrelerini uygulayarak genel verim yaklaşık %20 olur.

Tipik kütle yakma tesislerinde, yanma enerjisinin elektriğe dönüştürüldüğü varsayılarak %14 ila %27 arasında enerji geri kazanım verimliliği vardır (AECOM, 2009).

Verimliliği maksimize ederek enerji geri kazanımı: Konvansiyonel modern tesislerde, elektrik verimi genellikle %22-25 (brüt) ile sınırlıdır, çünkü tesisteki buhar koşulları tipik olarak 400°C, 40 bar ile sınırlandırılmıştır. Bu kısıtlama, daha önce açıklandığı gibi ortaya çıkan ciddi korozyon problemlerini önlemek içindir.

Son 10 yılda, Avrupa ve ABD' de, yüksek basınçlı kazanlar kullanarak ve genel ısı verimi artırmak için başka önlemler almak üzere önemli sayıda tesis işletilmektedir. Büyük ölçekli hareketli ızgara yakma sistemleri için söz konusu teknik yaklaşımlar kullanılmaktadır (WSP, 2013).

### **2.3.8 Yakma Tesisleri İçin Çevresel Kirlilik Kontrolü Tedbirleri**

Yakma tesislerinde gaz halinde bulanunan kirleticileri uzaklaştırmak için; Kuru Yıkayıcılar, Elektrostatik Çöktürücüler (ESP), Kumaş Filtreler (Torba Filtreler) kullanılmaktadır.

Yakma ile ilgili en büyük endişe, dioksin ve furanlara ilaveten ince tanecikli madde, ağır metaller, azot oksitler, kükürt dioksit, karbon monoksit ve asit gazlarının salınmasından kaynaklanan olumsuz çevresel ve halk sağlığı etkileridir. Ancak, daha modern yakma tesisleri, çoğu durumda, elektrostatik çökelticiler veya torba ev filtreleri ile birlikte asit gaz yıkayıcıları şeklindeki baca gazı temizleyicilerini içeren kirlilik kontrol aparatı ile donatılmıştır. Asit gazlar, SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub>, genellikle ya ıslak ya da kuru temizleyicilerden veya bacalarda kireç temizleyicilerin kullanılmasından oluşan baca gazı temizleme sistemlerinde temizlenir. Bu temizleyicilerde kullanılan kireçtaşı minerali bunun bir baz olduğunu belirten 8 civarında pH'a sahiptir. Dumanı kireç temizleyiciden geçirerek, duman içinde olabilecek herhangi bir asit, atmosfere ulaşması ve çevreyi olumsuz yönde etkilemesi engellenerek nötralize edilir.

Ağır metallerin filtrelerde veya bir elektrostatik çökeltici içerisine sodyum sülfat enjeksiyonu yoluyla uzaklaştırılması daha olasıdır. Bu tip bir kirlilik kontrol ekipmanı ayrıca dioksinleri ve furanları temizleyebilir.

Baca yüksekliği, kalan kirleticilerin konsantre bir alanda toprağa ulaşmasını önlemek için bir güvenlik önlemidir. Gazlar bacaya girdiğinde, yukarıda açıklanan kontroller nedeniyle oldukça temizdir. Baca yükseklikleri, kullanılan yakıt miktarı hesaplanarak ve yerel hava koşulları dikkate alınarak belirlenmelidir.

Bu nedenlerle tasarımcılar ve mühendisler, hava, yer ve su kirliliğini azaltan ve önleyen, çevreye duyarlı sürdürülebilir yakma teknolojisi sağlayan tasarımları ve sistemleri dahil etmek zorundadır. Dolayısı ile Termal Yöntemler, büyük sermaye gerektiren, önemli işletme ve bakım maliyetleri olan son derece pahalı sistemlerdir.

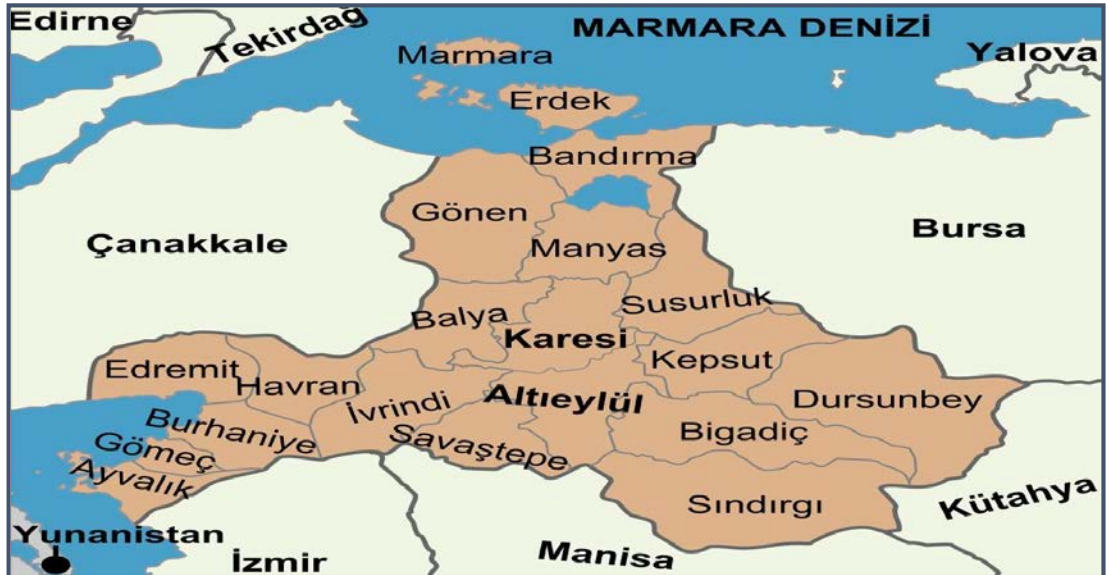
## BÖLÜM 3

### BALIKESİR İLİ TANITIMI

#### 3.1. Coğrafi Yapısı

Kuzeybatı Anadolu'da bulunan Balıkesir, 14.299 km<sup>2</sup>'lik bir alana sahiptir. Çanakkale, İzmir, Manisa, Kütahya ve Bursa ile sınırları bulunmaktadır. Coğrafi konum açısından son derece avantajlı olan Balıkesir'in bir bölümü Güney Marmara Bölgesi'nde bir bölümü ise Ege Bölgesi'nde kalmakta olup Ege Denizi'nde 115,5 km ve Marmara Denizi'nde 175 km kıyı şeridi bulunmaktadır.

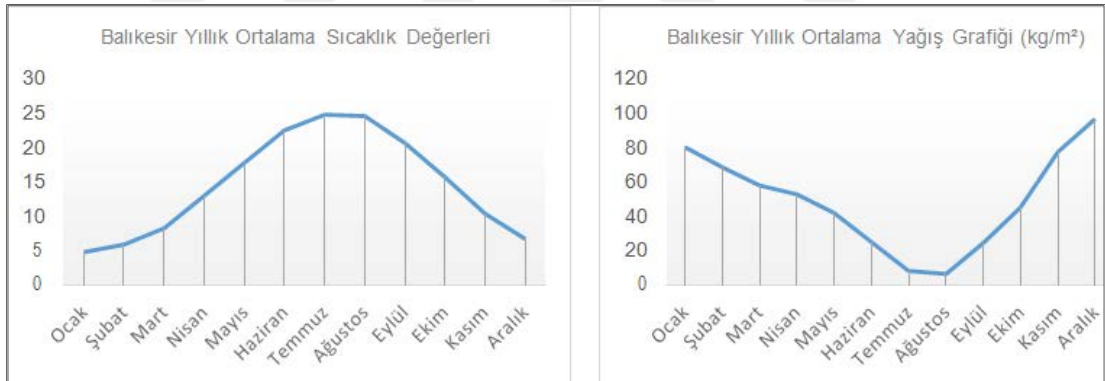
Balıkesir ilinin toplam arazi varlığının yaklaşık %45' ini orman arazisi, %32'sini kültür arazisi, %8' ini çayır ve mera, %15'ini kullanılmayan arazi oluşturmaktadır. Ege Denizi'nde Ayvalık Adaları olarak bilinen 22 adaya sahip olup Marmara Adaları olarak bilinen adaları da vardır. Manyas ve Tabak bölgenin en önemli Gölleridir. Dağlık bölgeleri de bulunan İlin en yüksek rakımı 2089 metre ile Dursunbey ilçesindeki Akdağ tepesidir (www.balikesir.gov.tr, Online).



Şekil 3.1 Balıkesir İl Haritası

### 3.2 İklimi ve Bitki Örtüsü

Balıkesir'de Marmara, Akdeniz ve kara ikliminin tesiri görüldüğünden, İlin bir bölgesindeki bitkiler, diğer bölgesinde görülmez. Yüz ölçümünün %30'u (650 bin hektar) ormanlıktır. Ormanlar daha çok Dursunbey, Sındırgı, Edremit, Burhaniye ve Balya bölgesinde zengindir. İlin %32'si mera ve çayırılıktır. Arazinin %23'ü ekime müsaittir. %15'i ise zeytinlik, sebze ve meyve bahçesidir. Doğal bitki örtüsü ve biyolojik çeşitlilik açısından zengin bir il olan Balıkesir'de üç iklim bir arada görülür. Kuzeyde Marmara, Ege kıyılarında Akdeniz ve iç bölgelerde kara iklimi hüküm sürmekte olup kıyılarda yaz ve kış arasındaki ısı farkı azdır. İç kısımlarda ise bu fark büyüktür. Dağlık doğu bölgede kışlar sert ve yazlar serin geçer. Ege kıyılarında 300 m yüksekliğe kadar makilere rastlanır. Edremit bölgesi ise denizden 500 metre yüksekliğe kadar zeytinliklerle kaplıdır. Daha yukarılarda kara ve kızılbaş ormanları vardır. İlin en sıcak ayları Temmuz-Ağustos, en soğuk ayları ise Ocak-Şubat'tır (Şekil 3.2). Ortalama yağış miktarı 550,9 mm'dir. İlde ortalama nispi nem %69 civarındadır. İlin tüm ilçelerinde meteoroloji istasyonu bulunmaktadır.



Şekil 3.2 Balıkesir Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Yağış Değerleri, 2017

### 3.3 Nüfus

Türkiye İstatistik Kurumu'nun 2015 yılı başında açıkladığı Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) sonuçlarına göre, 31 Aralık 2014 tarihi itibarıyla Balıkesir'de 1 milyon 189 bin 57 kişi ikamet etmektedir. Balıkesir ilinin 1965-2014 yıllarındaki nüfus sayımları incelendiğinde Balya, Dursunbey, Kepsut, Savaştepe, Sındırgı, Susurluk gibi ilçelerde 1990 yılından sonra büyük ölçüde göç yaşandığı ve 2014 yılı nüfuslarında azalma olduğunu Tablo 3.1'de görülmektedir (www.tuik.gov.tr," [Online]).

**Tablo 3.1** Yıllara Göre Nüfus Durumu

İLÇELER	1965	1970	1975	1980	1985	1990	2000	2014	2018
MERKEZ	136.694	153.996	169.932	195.899	222.589	245.651	287.709	-	-
ALTIEYLÜL	-	-	-	-	-	-	-	172.023	181.209
AYVALIK	30.213	31.957	33.104	34.543	38.879	46.827	58.738	69.880	71.063
BALYA	26.333	26.355	25.577	24.814	23.815	21.781	18.869	13.912	13.141
BANDIRMA	55.967	62.853	69.680	80.951	93.358	102.300	120.753	145.089	154.359
BİGADIÇ	37.740	40.483	42.595	46.936	49.865	50.728	49.957	48.470	49.887
BURHANİYE	33.061	34.396	34.303	38.620	39.670	33.706	43.199	57.554	60.799
DURSUNBEY	45.472	47.302	50.147	52.264	52.723	52.230	47.429	39.411	35.875
EDREMİT	40.186	42.152	43.670	46.185	52.160	63.430	93.351	140.161	154.487
ERDEK	23.894	24.594	26.401	28.294	30.290	26.547	32.020	34.676	32.963
GÖMEÇ	-	-	-	-	-	11.020	10.938	13.431	13.894
GÖNEN	55.982	56.586	58.858	61.811	63.562	67.599	71.804	73.095	73.829
HAVRAN	22.683	23.775	24.060	24.872	26.318	25.711	26.782	27.876	27.741
İVRİNDİ	29.472	32.559	33.120	35.760	36.652	37.181	37.891	34.207	32.758
KARESİ	-	-	-	-	-	-	-	170.776	181.013
KEPSUT	30.991	32.275	32.290	33.109	32.145	30.138	28.022	24.180	23.123
MANYAS	31.933	30.316	29.843	30.067	29.021	29.310	25.148	20.477	19.339
MARMARA	-	-	-	-	-	9.792	9.446	9.456	9.870
SAVAŞTEPE	20.689	22.246	23.135	22.885	23.585	24.337	23.355	18.863	18.243
SINDIRGI	47.269	47.873	51.465	53.058	52.223	52.004	47.784	35.591	33.924
SUSURLUK	39.763	39.951	41.075	43.109	43.427	43.022	43.107	39.929	39.058
TOPLAM	708.342	749.669	789.255	853.177	910.282	973.134	1.076.347	1.189.057	1.226.575

### 3.4 Sosyo-Ekonomik Yapı

Çeşitli kurumların rapor sonuçlarından faydalanılarak Balıkesir ilinin sosyo-ekonomik durumu ile ilgili aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Balıkesir ilinin ekonomik yapısı genel olarak tarım, küçükbaş besiciliği, tarıma dayalı sanayi, hayvancılık ve turizmden oluşmaktadır. Balıkesir’de istihdam edilen nüfusun (+15 yaş) sektörler göre yüzdesel dağılımını bu şekilde sıralamak mümkündür. Nüfusun %41,3’ü hizmet sektöründe, %39,7’si tarım sektöründe, %19’u ise sanayi sektöründe istihdam edilmektedir.

Bölgede Balıkesir ili, süt ve süt ürünleri, tarım ürünleri, beyaz-kırmızı et, zeytin ve zeytin yağı üretimi ile ön plana çıkmaktadır. Ülkemizde üretilen beyaz etin %20’si, yumurta üretiminin %10’u, yem üretiminin %14’ü Balıkesir’den karşılanmaktadır. Ayrıca ülke genelinde Balıkesir süt üretiminde ikinci, kırmızı et üretiminde üçüncü sıradadır. Yeraltı kaynakları bakımından; kömür, bor, demir başta olmak üzere mermer, krom, kurşun, çinko, antimuan, kaolin gibi maden yatakları bulunmaktadır.



Mermer, krom, bor, çinko, kurşun, gibi mineraller yurt dışına ihraç edilirken, diğer madenler ise ülke sanayisinde hammadde olarak kullanılmaktadır. Balıkesir’de tarım için gerekli alet ve makine üretimi son derece gelişmiştir. Burada üretilen zirai alet ve makineler ülkenin her tarafında kullanılmaktadır. Organize sanayi bölgesinin gelişimi sonucu, orman ürünleri üretim sektöründe önemli bir ilerleme görülmektedir.

Ülkemizde son yıllar itibariyle önemli hale gelen rüzgar enerjisi üretimi, Balıkesir ilinin coğrafik konumu sonucu büyük paya sahiptir. 2013 yılında Türkiye’nin en büyük rüzgar enerji santrali Balıkesir’de faaliyete geçmiştir. Enerji santrallerinin bulunduğu başlıca yerler: Altieylül, Karesi, Bandırma, Susurluk ilçeleridir.

- İl genelinde sanayi siciline kayıtlı sanayi işletmesi sayısı 1080’dir.
- Ülkemizin gelişmiş illerinden biri olan Balıkesir 2001 yılı verilerine göre gayri safi yurt içi hasıla içindeki payı %1,5 olup, iller sıralamasında 13. büyük ekonomiyeye sahiptir.
- Balıkesir ilinde bulunan sanayi işletmelerinin sektörel dağılımına bakıldığında; %37 gıda ürünlerinin imalatı, %9 diğer madencilik ve taş ocakçılığı, %10 ağaç ve mantar ürünleri imalatının ağırlıkta olduğu görülmektedir (istihdamın %80’i işçi, %4’ü mühendistir).

### **3.5 Belediye Atığı Verileri**

Balıkesir ilinde 14.07.2014 tarihinde Balıkesir Katı Atık Düzenli Depolama Sahası faaliyete alınmış ve ilk etapta 7 ilçenin (Altieylül, Bigadiç, İvrindi, Karesi, Kepsut, Savaştepe, Susurluk) evsel atıkları bu sahada bertaraf edilmeye başlanmıştır. Balıkesir Katı Atık Düzenli Depolama Sahasına 2017 yılından itibaren 11 ilçeden, 2018 yılının sonunda ise Bandırma, Ayvalık ve Havran Aktarma İstasyonlarının tamamlanması ile birlikte Bandırma, Erdek, Gönen, Ayvalık, Gömeç, Havran, Burhaniye olmak üzere 18 ilçeden atık kabul edilmektedir. İl sınırlarında bulunan diğer 2 ilçe belediyesi (Dursunbey ve Marmara Adalar) atıklarını düzensiz depolama yöntemi ile depolamaya devam etmekte olup, Dursunbey ilçesinde planlanan aktarma istasyonunun 2019 yılında tamamlanması ile birlikte atıklarını düzenli depolama sahasına getirmesi sağlanacaktır. Marmara Adalar Belediyesi

atıklarını vahşi depolamaya devam etmekte olup evsel atıkların bertarafının düzenli depolanması için çalışmalara başlanmıştır.

Balıkesir il genelinde yapılan anket çalışmaları ve kantar verileri değerlendirilerek 2014 yılında Balıkesir ili genelinde toplanan atık miktarları tespit edilmiştir. Buna göre 2014 yılında; Balıkesir ilinde toplanan evsel atıkların %30'luk kısmı düzenli; %70'lik kısmı ise düzensiz depolama sahalarında bertaraf edilmekte iken (Tablo 3.2) 2016 yılı itibari ile diğer ilçelerden de atık gelmesiyle beraber düzenli depolamaya giden atık oranı artış eğilimine girmiştir (Balıkesir Entegre Katı Atık Yönetim Planı, 2016).

Balıkesir'in 2014 yılı kış nüfusu ADNKS verilerine göre 1.189.057, beyan edilen yaz nüfusu ise 2.801.023 alınmıştır. İlçeler ile yapılan anket çalışmalarında 2014 yılında Balıkesir ili genelinde atık toplama veriminin %97 olduğu belirlenmiştir. 2018 yılı nüfus verilerine göre ise Balıkesir il nüfusunun (1.226.575 ) %96 sının atıkları düzenli depolama yöntemi ile bertarafı sağlanmaktadır.

Balıkesir Katı Atık Düzenli Depolama Sahasına 2014 yılında 445 ton/gün, düzensiz depolama sahalarına ise kış dönemi 652 ton/gün yaz dönemi 2.157 ton/gün atık gönderildiği belirtilmiştir. Katı Atık Düzenli Depolama Sahasında 2018 yılı kantar verileri incelendiğinde; kış döneminde günlük 900 ton, yaz döneminde ise günlük 1.200 ton atık girişi olduğu belirlenmiştir.

Balıkesir il genelinde 20 ilçede yapılan anket çalışmaları ve kantar verileri ile oluşturulan atık verileri Tablo 3.2'de verilmiştir (Balıkesir Entegre Katı Atık Yönetim Planı, 2016).

Aktarma istasyonlarının işletmeye alınması ile birlikte vahşi depolamaya son verilmiş ve düzenli depolama sahasına taşınan atık miktarında artış olduğu gözlenmiştir.

**Tablo 3.2** Balıkesir İli 20 İlçedeki Atık Miktarları

BELEDİYE ADI	HİZMET VERİLEN NÜFUS		TOPLANAN BELEDİYE ATIK MİKTARI (TON/GÜN)		TOPLANAN BELEDİYE ATIK MİKTARI (TON/YIL)	KİŞİ BAŞINA OLUŞAN ATIK MİKTARI (KG/KİŞİ-GÜN)	
	KIŞ	YAZ	KIŞ	YAZ		KIŞ	YAZ
ALTIEYLÜL	172.023	172.023	160	160	57.599	0,93	0,93
AYVALIK	69.880	400.000	80	450	62.099	1,14	1,13
BALYA	6.539	6.539	7	7	2.519	1,07	1,07
BANDIRMA	145.089	145.089	160	160	57.599	1,10	1,10
BİGADİÇ	42.654	42.654	30	30	10.799	0,70	0,70
BURHANİYE	57.554	350.000	60	300	43.199	1,04	0,86
DURUNBEY	35.076	35.076	40	40	14.399	1,14	1,14
EDREMIT	140.161	750.000	120	600	86.399	0,86	0,80
ERDEK	34.676	150.000	30	200	26.099	0,87	1,33
GÖMEÇ	13.431	150.000	15	120	14.849	1,12	0,80
GÖNEN	73.095	73.095	70	70	25.199	0,96	0,96
HAVRAN	15.053	8.100	15	15	5.399	1,00	1,85
İVRİNDİ	34.207	34.207	20	20	7.199	0,58	0,58
KARESİ	170.776	170.776	160	160	57.599	0,94	0,94
KEPSUT	17.651	17.651	15	15	5.399	0,85	0,85
MANYAS	20.477	20.477	20	20	7.199	0,98	0,98
MARMARA	9.456	150.000	10	150	16.199	1,06	1,00
SAVAŞTEPE	18.863	18.863	15	15	5.399	0,80	0,80
SINDIRGI	28.117	28.117	25	25	8.999	0,89	0,89
SUSURLUK	39.929	39.929	45	45	16.199	1,13	1,13
<b>TOPLAM</b>	<b>1.144.706</b>	<b>2.762.595</b>	<b>1.097</b>	<b>2.602</b>	<b>530.370</b>	<b>0,96</b>	<b>0,94</b>

Tablo 3.2'de hizmet verilecek nüfusun kış döneminde 1.144.706 kişi, yaz döneminde ise 2.762.595 kişi olduğu görülmektedir. Toplanacak atık miktarının kış döneminde günlük 1.097 ton, yaz döneminde ise 2.602 ton olduğu belirtilmektedir. Yıllık toplanacak atık miktarının ise 530.000 ton olacağı görülmektedir. Kişi başına oluşan atık miktarı kış döneminde günlük 0,96 kg, yaz döneminde ise günlük 0,94 kg olacağı belirtilmektedir.

## BÖLÜM 4

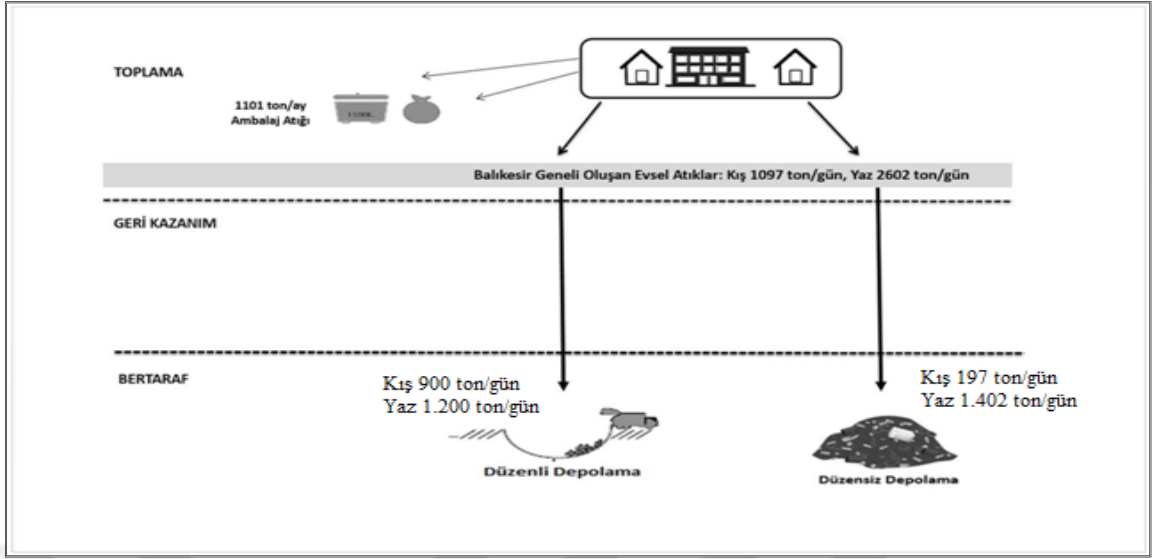
### BALIKESİR İLİ EVSEL ATIK YÖNETİMİ

#### 4.1 Atık Yönetimi Faaliyetleri

5216 sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanununa göre Büyükşehir Katı Atık Yönetim Planına uygun olarak, katı atıkları toplamak ve aktarma istasyonuna taşımak ilçe belediyelerinin sorumluluğunda olup; katı atık yönetim planını yapmak, yaptırmak ve katı atıkların aktarma istasyonundan bertaraf tesislerine taşınması Balıkesir Büyükşehir Belediyesinin sorumluluğundadır. AB uyum çerçevesinde mevzuatta yapılan ve yapılacak olan değişiklikler; geri kazanımı yaygınlaştırmayı, verimli hale getirmeyi ve düzenli depolama sahalarına organik madde girişini azaltmak için kaynağında ayrı biriktirme ve ikili toplamayı zorunlu kılmaktadır. Bu durumda toplamamanın önemi daha da artmaktadır.

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmeliğin yürürlüğe girmesinden itibaren 5 yıl içerisinde depolanacak olan biyobozunur atık miktarı, 2005 yılında üretilen toplam biyobozunur atık miktarının ağırlıkça %75' ine, 8 yıl içinde %50' sine ve 15 yıl içinde ise %35'ine indirilmesi öngörülmektedir (Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik, 2010). Balıkesir ilinde evsel katı atıklar içerisindeki biyobozunur atıklar hiçbir işleme tabi tutulmadan, doğrudan depolama sahalarına gönderilmektedir (Şekil 4.1). Biyobozunur atık azaltım hedeflerini sağlamak için, planlama aşamasında ayrı toplama, uygun geri kazanım ve bertaraf yöntemlerinin yoğun kullanımı gerekmektedir.

**Şekil 4.1** Atık Yönetimi Mevcut Durum, 2017



#### 4.1.1 Toplama ve Taşıma Sistemi

Bir katı atık yönetim sisteminin maliyeti en yüksek bileşenlerinden biri, atık toplama ve taşımadır. Entegre katı atık yönetim sisteminin başarısı, toplama sisteminin başarısı ile doğru orantılıdır. Toplama, atığın üretildiği noktadan toplama aracına yüklenmesi ve sonrasında istenilen yere taşınarak toplama aracından boşaltılmasına kadar olan süreci kapsamaktadır. Balıkesir ilinde atık toplama işlemi ilçe belediyeleri veya yüklenici firmalar tarafından yapılmaktadır. Kış dönemi en fazla atığın toplandığı ilçeler; Altieylül 160 ton/gün, Karesi 160 ton/gün, Bandırma 160 ton/gün ve en az atığın toplandığı ilçeler; Balya 7 ton/gün ve Marmara 10 ton/gün' dür. Yaz dönemi en fazla atığın toplandığı ilçeler; Edremit 600 ton/gün, Ayvalık 450 ton/gün ve Burhaniye 300 ton/gün ve en az atığın toplandığı ilçe ise yine Balya 7 ton/gün' dür.

Balıkesir ili genelinde evsel atıkların toplanma sıklığı mevsime dayalı turizmden kaynaklı olarak değişkenlik göstermektedir. Yaz aylarında ilçe merkezlerinde genellikle her gün toplama yapılmaktadır. Kış aylarında ise toplama günleri genellikle yaz ayları ile aynı olmakta ancak sefer sayıları azalmaktadır. Yaz aylarında kırsal mahallelerde ise mahallelerin atık ve nüfus yoğunluğuna göre her gün, haftada bir veya haftada iki gün şeklinde toplama yapılmaktadır. Bu sıklık kış aylarında pek değişkenlik göstermemektedir.

20 ilçede evsel atıklar, yaz aylarında kapasiteleri 7 m<sup>3</sup>'ten küçük, ve 7-10 m<sup>3</sup> arası toplam 127 sıkıştırılmalı araç ile, kapasiteleri 10 m<sup>3</sup>'ten büyük ve 13-20 m<sup>3</sup> arası ve 20 m<sup>3</sup>'ten büyük toplamda 54 sıkıştırılmalı araçla toplanmaktadır. Kış aylarında ise kapasiteleri 7 m<sup>3</sup>'ten küçük, ve 7-10 m<sup>3</sup> arası toplam 106 sıkıştırılmalı araç ile, kapasiteleri 10 m<sup>3</sup>'ten büyük ve 13-20 m<sup>3</sup> arası ve 20 m<sup>3</sup>'ten büyük toplamda 54 sıkıştırılmalı araçla toplanmaktadır. Evsel atıklar yaz aylarında, kapasiteleri 300 lt den küçük ve 300-770 lt arası 47.473, kapasiteleri 770-1100 lt arası toplam 15.083, kapasiteleri 1100-2250 lt arası toplam 136, kapasitesi 2250-3000 lt arası ve 3000 lt den büyük 115 konteyner ile toplanmaktadır. Kış aylarında ise , kapasiteleri 300 lt den küçük ve 300-770 lt arası 42.858, kapasiteleri 770-1100 lt arası toplam 15.083, kapasiteleri 1100-2250 arası toplam 136, kapasitesi 2250-3000 lt arası ve 3000 lt den büyük 115 konteyner ile toplanmaktadır (Balıkesir Entegre Katı Atık Yönetim Planı, 2016).

**Tablo 4.1** Evsel Atıkları Toplama ve Taşıma Sistemi

İLÇE	ARAÇ		KONTEYNER SAYISI		TOPLAMA SIKLIĞI MERKEZ		TOPLAMA SIKLIĞI KIRSAL	
Altıeylül	9	15	3000	7000	2/7	2/7	Kırsal bölge mevcut değil	Kırsal bölge mevcut değil
Ayvalık	10	12	7940	7940	7	7	1/7	3/7
Balya	3	3	820	820	7	7	1/7	1/7
Bandırma	18	18	5000	5000	6/7	6/7	1/7	1/7
Bigadiç	10	10	3260	3260	6/7	6/7	1/7	1/7
Burhaniye	9	9	5821	6036	2/7	4/7	1/7	1/7
Dursunbey	6	6	907	907	7	7	1/7	1/7
Edremit	29	29	9000	9000	7	7	7/7	7
Erdek	12	12	1440	1440	7	7	3/7	7
Gömeç	3	7	600	1000	7	7	Küçük mahallelerde 1/7 bazı büyük mahallelerde 2/7 gün	Küçük mahallelerde 1/7 bazı büyük mahallelerde 7/7, 2/7 gün
Gönen	11	11	3932	3932	7	7	1/7	1/7

<b>Havran</b>	5	5	1400	1400	7	7	Küçük mahallelerde 1/7 büyük mahallelerde 2/7	Küçük mahallelerde 1/7 bazı büyük mahallelerde 2/7
<b>İvrindi</b>	3	3	1648	1648	7	7	1/7	1/7
<b>Karesi</b>	11	11	6575	6575	2/7	2/7	1/7	1/7
<b>Kepsut</b>	6	6	440	440	7	7	1/7	2/7
<b>Manyas</b>	6	6	1305	1305	7	7	1/7	1/7
<b>Marmara</b>	3	6	750	750	7	7		
<b>Savaştepe</b>	5	5	846	846	7	7	7/7	7
<b>Sındırgı</b>	4	4	1000	1000	7	7	1/7	2/7
<b>Susurluk</b>	6	6	2508	2508	7	7	Küçük mahallelerde 1/7 bazı büyük mahallelerde haftada 2/7	Küçük mahallelerde 1/7 bazı büyük mahallelerde 2/7
<b>TOPLAM</b>	169	184	<b>58.192</b>	<b>62.807</b>				

\* Kış dönemi 9 ay, yaz dönemi 3 ay olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.1'de İlçe Belediyelerinin atık toplama araçları, konteyner sayıları ve katı atıkların toplama sıklığı verilmiştir.

#### 4.1.2 Aktarma İstasyonları

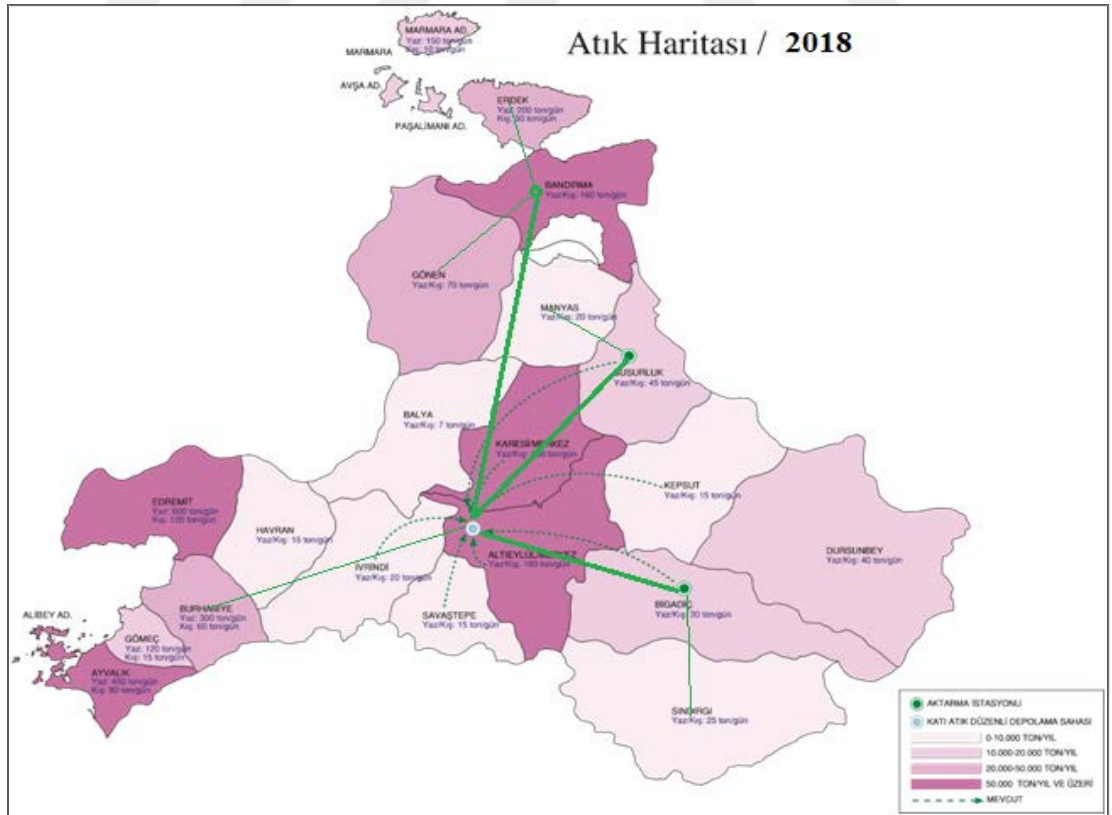
Aktarma istasyonlarının, taşıma için gereken sefer sayılarını azaltmak, atık hizmetlerinin maliyetlerini düşürmek ve etkinliğini arttırmak gibi faydaları bulunmaktadır. Aktarma istasyonları sisteme fazladan maliyet (ilk yatırım ve büyük tonajlı araç) yüklemekle birlikte, taşıma maliyetinin düşük kalmasını sağladığından çoğu kez daha uygun olmaktadır. Dağlık kesimler gibi topoğrafya veya yol durumunun müsait olmadığı hallerde Aktarma İstasyonlarının kurulması zorunluluk haline dönüşebilmektedir.

Aktarma istasyonları, atığın küçük hacimli çöp toplama araçlarından, tır, tekne veya yük vagonu gibi büyük hacimli araçlara transfer edildiği tesislerdir. Balıkesir ilinde Bandırma, Bigadiç, Susurluk, Havran ve Ayvalık olmak üzere 5 adet aktarma istasyonu bulunmaktadır. Bigadiç aktarma istasyonuna Bigadiç ve Sındırgı ilçelerinden, Susurluk aktarma istasyonuna Manyas ve Susurluk ilçelerinden, Bandırma aktarma istasyonuna Bandırma, Erdek ve Gönen ilçelerinden, Ayvalık

aktarma istasyonuna Ayvalık ve Gömeç ilçelerinden, Havran aktarma istasyonuna Edremit, Havran, Burhaniye ilçelerinden atık taşınmaktadır. Küçük tonajlı çöp toplama araçları ile ilçe belediyeleri tarafından aktarma istasyonlarına taşınan atıklar burada büyük tonajlı araçlara aktarılarak düzenli depolama sahasına taşınması sağlanmaktadır.

Karesi, Altıeylül, Kepsut, Savaştepe, İvrindi ve Balya ilçeleri ise atıklarını doğrudan düzenli depolama sahasına getirmektedir. Yapım aşamasında olan Dursunbey aktarma istasyonu ile birlikte ile tüm atıklar düzenli depolama sahasına taşınması planlanmıştır.

Marmara ilçesinin katı atık depolama sorunu ise ilçe sınırları içerisinde planlanan düzenli depolama sahasının yapımı ile birlikte ilçe sınırları içerisinde çözülmesi beklenmektedir. Bu planlar çerçevesinde Balıkesir ilinin evsel nitelikli katı atıklardan kaynaklanan sorunları çözülmüş, vahşi depolama sahalarının rehabilitasyonu sağlanmış ve çevre politikaları doğrultusunda doğal alanların korunması planlanmıştır.



Şekil 4.2 Katı Atık Düzenli Depolama Sahası Yeri ve Hizmet Verilen İlçeler



Balıkesir il genelinde mevcut durumda 18 ilçe belediyesinin evsel katı atıklarının depolandığı Düzenli Depolama Sahası Altıeylül ilçe sınırları içerisinde bulunmaktadır. Atık Haritası 2018'de görüldüğü üzere ilçelerde planlanan aktarma istasyonlarında atıklar depolama sahasına taşınmaktadır. Düzenli Depolama Sahası 8.9 hektarlık alan üzerinde kurulmuş olup 1. lotun depolama hacmi 1.3 milyon m<sup>3</sup> ve öngörülen kullanma süresi ise 7 yıl olarak planlanmıştır.

#### **4.1.3 Düzenli Depolama Sahaları**

5 Haziran 2014 Dünya Çevre Gününde açılışı yapılan tesise Temmuz 2014'ten bu yana atık kabulü yapılmaktadır. Gökköy mevkiinde düzensiz depolama sahasının hemen yanında inşa edilmiştir. Düzenli Depolama Sahası ilk aşamada 7 ilçeye hizmet verilmek üzere tasarlanmış olsada, sonradan yapılan planlar çerçevesinde il geneline hizmet verilecek şekilde kapasite artırımına gidilerek tüm ilçelerin evsel katı atıklarının depolanmasına uygun hale getirilmiştir. Ortalama günlük 900 ton atık kabulü yapılmaktadır.

#### **4.1.4 Düzensiz Depolama Sahaları**

2018 yılında aktarma istasyonlarının devreye alınması ile birlikte Balıkesir ilinde toplam nüfusun %96'sının atıklarının düzenli depolama yöntemi ile bertarafı sağlanmaktadır. Toplam nüfusun %4'ünün atıkları (Dursunbey ve Marmara Adalar İlçe Belediyeleri) düzensiz depolama sahalarında bertaraf edilmektedir. Genellikle ormanlık alanlarda bulunan sahaların rehabilitasyonlarının yapılarak yangın ve patlama risklerinin ortadan kaldırılması önem kazanmıştır.

### **4.2 Nüfus Ve Atık Projeksiyonu**

Balıkesir için nüfus ve atık projeksiyonları; İller Bankası Metodu, Aritmetik Artış Metodu, Geometrik Artış Metodu ve UNDP Yaklaşımı ile hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar neticesinde yapılan karşılaştırmalarda en gerçekçi sonuçların UNDP Yaklaşımı ile ortaya çıktığı belirlenmiştir.

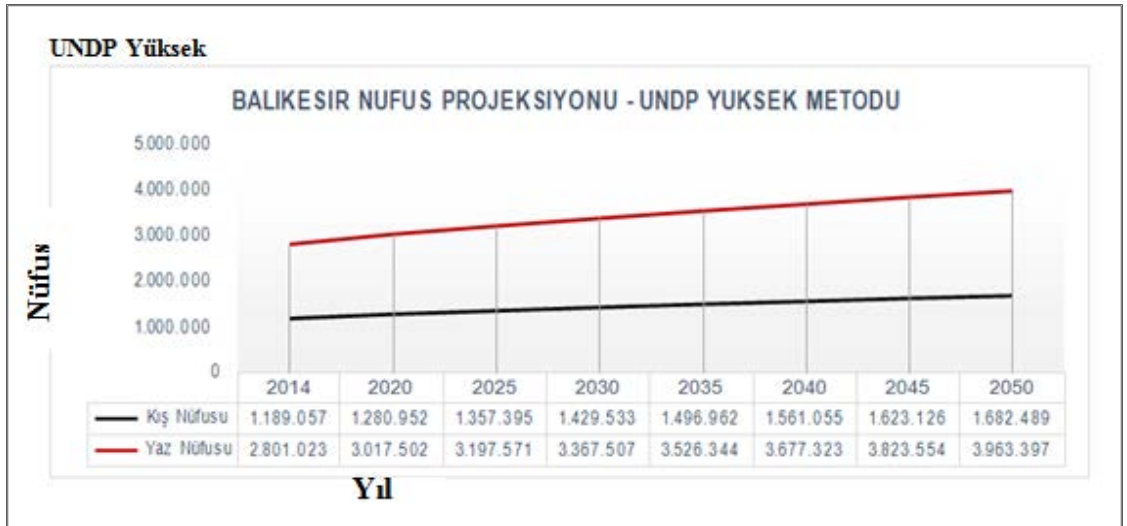
#### **4.2.4 UNDP Yaklaşımı**

Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı çerçevesinde çeşitli demografik ve sosyoekonomik faktörler göz önünde tutularak, dünya ülkelerinin 2010-2100

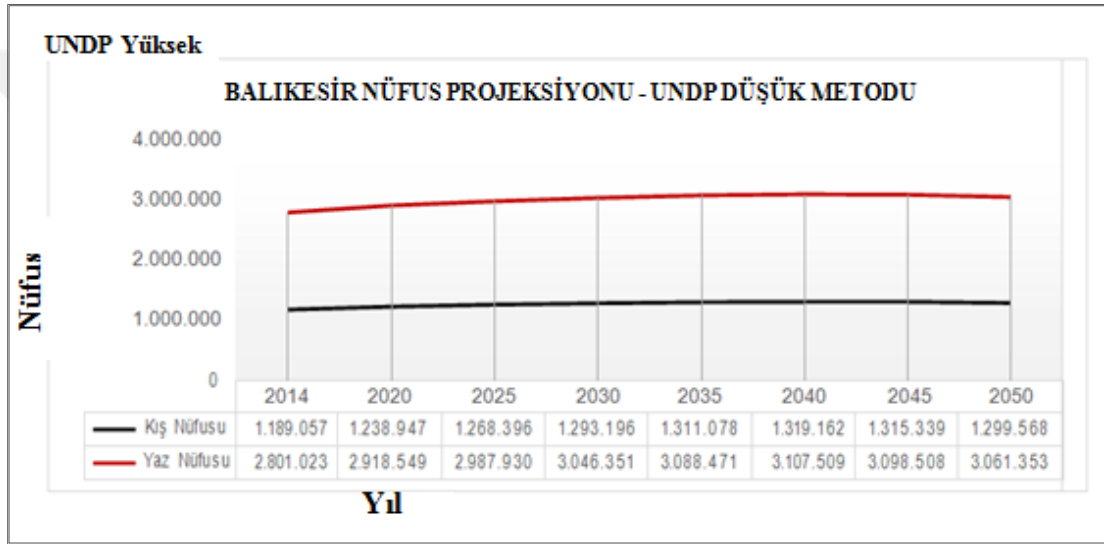
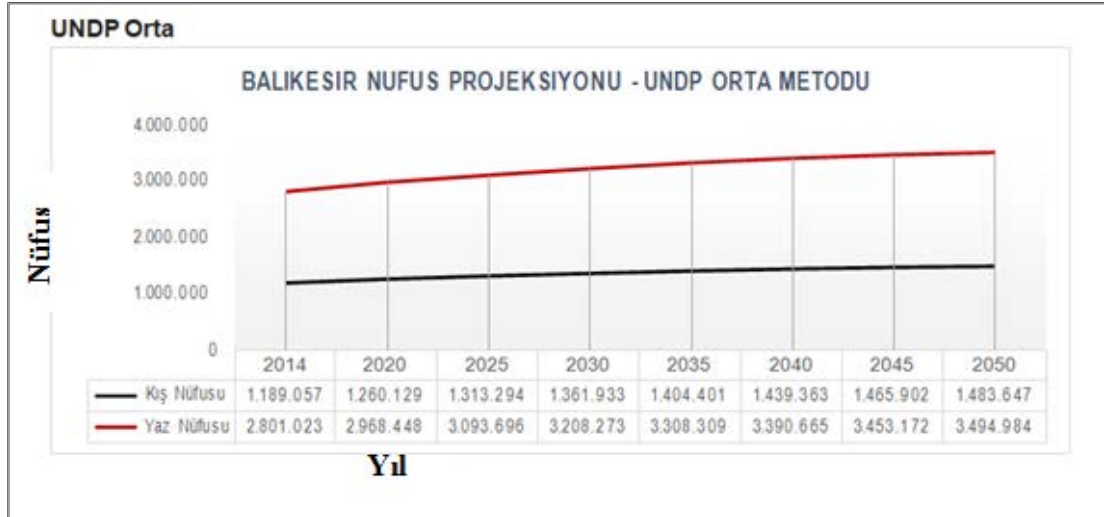
dönemindeki genel nüfus artış hızlarını gösteren beşer yıllık dönemler halinde yıllık ortalama artış hızları hesaplanmıştır (Tablo 4.2). Birleşmiş Milletler Nüfus Birimi tarafından yayınlanan bu nüfus artış hızları tahminleri yüksek,orta ve düşük olmak üzere farklı senaryoları içermekte ve farklılık göstermektedir. Balıkesir'in 2050 yılına kadar nüfusları, UNDP tarafından öngörülen artış hızları kullanılarak yüksek, orta ve düşük olmak üzere 3 farklı nüfus artış hızı ile hesaplanmıştır. UNDP yaklaşımı ile nüfus projeksiyonu çıkarılırken, önceki yılın nüfus değeri ile UNDP'nin öngördüğü farklı senaryoların büyüme hızları kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

**Tablo 4.2** Birleşmiş Milletler Kalkınma Programının Öngördüğü 2010-2055 Yılları Arasında Türkiye'nin Nüfus Artış Hızları

YIL	YÜKSEK	ORTA	DÜŞÜK
2010-2015	1,421 %	1,224 %	1,025 %
2015-2020	1,214 %	0,922 %	0,620 %
2020-2025	1,166 %	0,830 %	0,471 %
2025-2030	1,041 %	0,730 %	0,388 %
2030-2035	0,926 %	0,616 %	0,275 %
2035-2040	0,842 %	0,493 %	0,123 %
2040-2045	0,783 %	0,366 %	-0,058 %
2045-2050	0,721 %	0,241 %	-0,241 %
2050-2055	0,644 %	0,128 %	-0,400 %



**Şekil 4.3** Nüfus Artış Projeksiyonu (UNDP Artış Metodu)



**Şekil 4.4** Nüfus Artış Projeksiyonu (UNDP Artış Metodu)

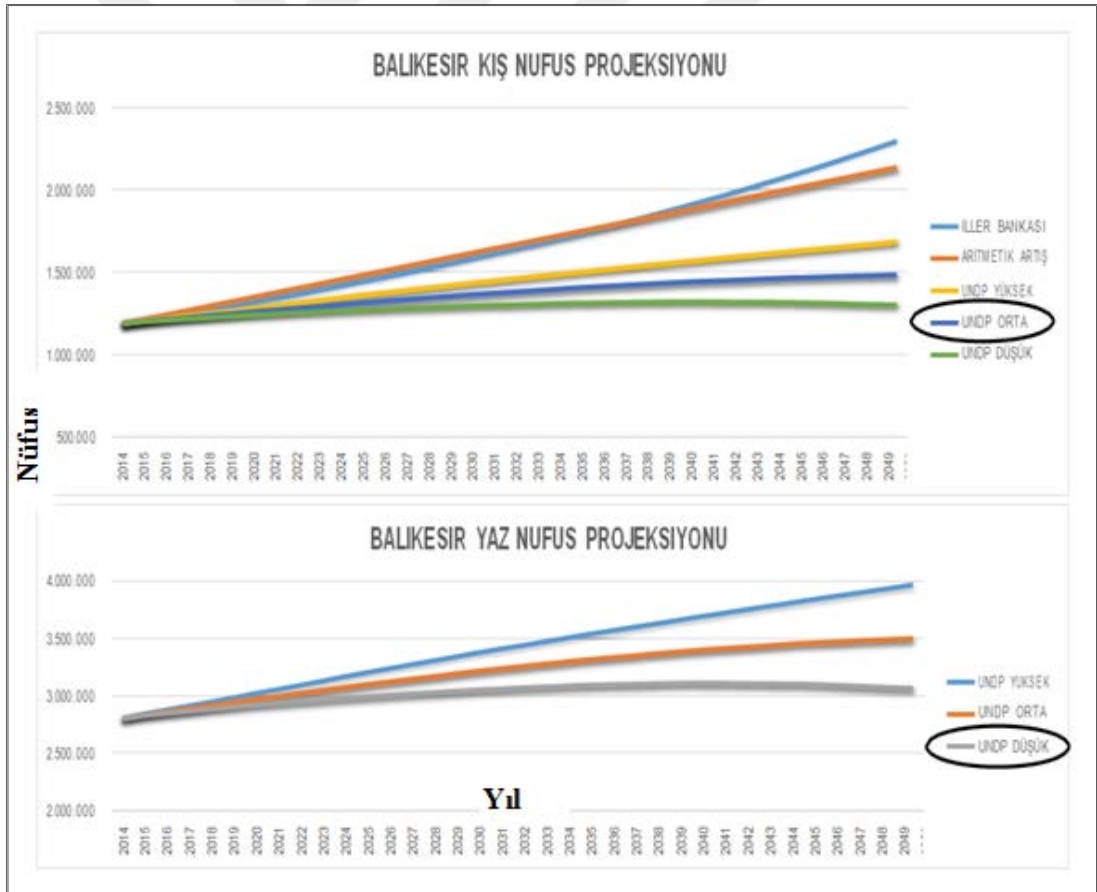
#### 4.2.5 Seçilen Nüfus Projeksiyonu

Balıkesir ilinin yıllık nüfus artış hızı, Türkiye ortalamasının altındadır. Balıkesir, 2014 yılı ADNKS verilerine göre 1.189.057 kişilik nüfusuyla Türkiye'nin 17. büyük kenti olma özelliğini taşımaktadır.

Balıkesir ili turizmin ilerlemesi, sanayinin gelişmesi ve aldığı göçlerle hızlı bir nüfus artışı yaşamıştır. Özellikle 2007 ve sonrasında uygulanan adrese dayalı nüfus verileri dikkate alındığında 2050 yılında Balıkesir'in kış dönemi yaklaşık 1.3-2.3 milyon, yaz dönemi ise yaklaşık 3-4 milyon nüfus aralığında kalması beklenmektedir (Şekil 4.5). Balıkesir'in bazı ilçelerinde nüfusun hızlı büyüme göstermesi geometrik artış yönteminin hesaplamalarda en yüksek değerde kalmasına neden olmaktadır ve bu yöntemle elde edilen tahmin değerinin gerçeği yansıtmadığı görülmektedir. TÜİK

tahminlerine göre Balıkesir nüfusunun 2023 yılında 1.256.873 olması beklenmektedir. TÜİK'in gelecek 35 yıl projeksiyonu irdelendiğinde, nüfus tahminlerinin UNDP düşük değerlerinin altında kaldığı görülmektedir. Balıkesir ilinin turizm, sanayi vb. açıdan ekonomik büyümenin getirdiği imkanlar sayesinde cazibe kenti olması nedeniyle kış dönemi (9 ay) için UNDP orta yaklaşımının, yaz dönemi (3 ay) için ise UNDP düşük yaklaşımının ortaya koyduğu nüfus projeksiyonu daha gerçekçidir. UNDP yaklaşımına göre 2050 yılı için Balıkesir ili nüfus tahmini kış dönemi 1.483.647 kişi, yaz dönemi 3.061.353 kişi alınmıştır.

Özet olarak, Balıkesir için kışın UNDP Orta büyüme senaryosu, yazın UNDP Düşük büyüme senaryosu dikkate alınarak nüfus projeksiyonu yapılması uygun görülmüştür. İl bazında atık üretimi hesaplamalarında da bu projeksiyonlar kullanılmıştır (Balıkesir Katık Atık Entegre Yönetim Planı, 2016).



**Şekil 4.5** Nüfus Artış Projeksiyonu (UNDP Büyüme Senaryosu)

### 4.3 Evsel Atık Projeksiyonu

Kişi başına katı atık üretimini hesaplamak için toplam katı atık miktarları nüfusa bölünmelidir. Bu çalışmada yalnızca Balıkesir anket çalışmaları ve kantar verilerinden değil aynı zamanda Türkiye geneline ilişkin diğer gösterge verilerinden de faydalanılmış; Yüksek Maliyetli Çevre Yatırımlarının Planlanması (EHCIP) ve Katı Atık Ana Planı (KAAP) sonuçları da dikkate alınmıştır.

Balıkesir ilinin 2014 nüfus ve atık verileri incelendiğinde; kişi başı atık miktarının kışın ortalama 0,96 kg/kişi-gün, yazın ortalama 0,94 kg/kişi-gün (ambalaj atığı miktarları dahil) olduğunu görülmektedir. 2014 yılında, Balıkesir ili toplam nüfusu içerisindeki atık hizmeti verilen nüfusun yüksek olması nedeniyle 2014 yılı için kişi başı atık miktarları bu şekilde dikkate alınmış ve bu veri üzerinden atık tahminleri yapılmıştır.

Kişi başı atık miktarının artışında ise KAAP ve EHCIP değerlerinden faydalanılarak birim atık miktarının yıllık %2,2 oranında geometrik olarak artacağı kabul edilmiştir.



Şekil 4.6 Balıkesir İçin Evsel Katı Atık Tahminleri

**Tablo 4.3** Kış Dönemi (9 ay) Atık Miktar ve Nüfus Projeksiyonu

YIL	NÜFUS	OLUŞAN ATIK MİKTARI (t/g)	*TOPLANAN ATIK MİKTARI (t/g)
2014	1.189.057	1.143	1.097
2015	1.203.611	1.181	1.134
2020	1.260.129	1.378	1.323
2025	1.313.294	1.602	1.538
2030	1.361.933	1.852	1.778
2035	1.404.401	2.088	2.046
2040	1.439.363	2.340	2.293
2045	1.465.902	2.605	2.553
2050	1.483.647	2.883	2.825

\*2014 yılında toplama verimi % 96 iken bu oranın 2035 yılı sonrasında % 98 olması beklenmektedir.

**Tablo 4.4** Yaz Dönemi (3 ay) Atık Miktar ve Nüfus Projeksiyonu

YIL	NÜFUS	OLUŞAN ATIK MİKTARI (t/g)	*TOPLANAN ATIK MİKTARI (t/g)
2014	2.801.023	2.628	2.602
2015	2.829.736	2.718	2.691
2020	2.918.549	3.126	3.095
2025	2.987.930	3.568	3.533
2030	3.046.351	4.056	4.016
2035	3.088.471	4.496	4.496
2040	3.107.509	4.946	4.946
2045	3.098.508	5.392	5.392
2050	3.061.353	5.824	5.824

\*2014 yılında toplama verimi % 99 iken bu oranın 2035 yılı sonrasında % 100 olması beklenmektedir.

#### **4.4 Evsel Atıkların Karakterizasyonun Tespit Edilmesi**

Evsel nitelikli katı atıkların karakterizasyonunun tespiti; atık yönetiminin temelini oluşturmakla birlikte katı atık yönetim sisteminin belirlenmesi, planlanması ve uygulanması açısından çok önemlidir.

Evsel atıkların genelini temsil edecek yeterlilikte numune alınmalı ve gerekli çalışmalar yapılmak üzere belirli bir alanda bekletilmelidir. incelenecek olan atıklar farklı ortamlarda ve fiziksel özelliklerde bulunurlar. Alınan bütün bu numuneler atıkları temsil edecek fiziksel koşulları sağlamalı ve temsil edeceği atıklarla uyumlu olmak zorundadırlar. Bu atıklar genellikle heterojen bir karışımdadırlar ve farklı yapıda bulunmaktadır. Atıkları temsil edecek numunenin alınması önemlidir ve iyi planlanmış bir alan çalışması gerektirir (ASTM, 2003).

Atık miktarının ve nüfusun artması atık çeşitliliğini artırmaktadır. Atığın değişkenliği ve çeşitliliği bir çok sebebe bağlıdır. Bu değişim tüketim alışkanlıkları, toplumun sosyo-ekonomik durumu, gelir düzeyi gibi değişkenlere bağlıdır.

Katı atıkların düzenli olarak toplanmaması ve sonrasında uygun bir şekilde bertaraf edilmemesi durumunda çevre ve halk sağlığı açısından tehdit oluşturacağı bilinmektedir. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde katı atık hizmetlerinin yeterince yerine getirilmemesi neticesinde hava, su, toprak ve görsel kirliliğe neden olmaktadır (Özcan vd., 2005; Mor vd., 2006).

Katı atıkların yapısının bir takım bileşenlere bağlı olarak değişim göstermesi nedeni ile belirli periyotlarda atıklar gözlemlenmeli ve gerekli ölçümlerle takip edilmesi gerekmektedir (Buenrostro vd., 2001).

Balıkesir için yapılan karakterizasyon çalışmasında, kentsel katı atık sınıflandırma çalışması yapılmış, kış ve yaz dönemlerine bağlı olarak atık özellikleri tespit edilmiştir. Madde grup sınıflandırmasının yanı sıra nem muhtevası, kızdırma kaybı ve kalorifik değer olmak üzere laboratuvar analizleri yapılmış ve atık özellikleri tespit edilmiştir. Elde edilen değerler katı atıkların karakteristiği ve atık bertarafında seçilecek yöntemin belirlenmesi açısından değerlendirilmiştir.

#### 4.4.1 Karakterizasyon Çalışması

Karakterizasyon çalışması sırasında numune alımı yapılırken bölgelendirme çalışması esas alınmıştır. Bölgelendirme çalışmalarında sosyo-ekonomik etki, toplama sistemi, kentsel yapı vb. gibi kriterler etkili olmaktadır.

Bölgede karışık toplama yapıldığı, ilçe belediyelerinin sıkıştırılmalı araçları ile toplanan tüm atıkların doğrudan düzenli depolama sahasına geldiği dikkate alınarak numune alma işlemi katı atık düzenli depolama sahasında gerçekleştirilmiştir.

Atık muhtevasına sosyo-ekonomik etkinin araştırılmasında merkez ve taşra yerleşiminin atık üzerine etkisi dikkate alınmıştır. Bu etkinin araştırılması için kış döneminde 17 ilçeden gelen toplam 20 katı atık toplama aracından, yaz döneminde ise 6 ilçeden gelen toplam 7 katı atık toplama aracından numuneler alınmış ve karakterizasyon belirlenmiştir.

İlçelere göre numune sayısı belirlenmesinde ilçe nüfusları ön planda tutulmuştur. İlçelerin sosyo-ekonomik yapısı dikkate alınarak gruplandırma yapılmıştır. Yüksek-Orta-Düşük gelir ve Ticari-Çarşı bölgelerinden hafta içi ve hafta sonu olmak üzere numuneler alınmıştır.

Numune alınan her bir araç için atığın alındığı ilçe ve mahalle bilgileri kış dönemi için Tablo 4.5' de, yaz dönemi için Tablo 4.6'da verilmiştir.

Alınan numuneler yönetim kolaylığı açısından kodlandırılmıştır.

Kodlamada; No: Numune sırası/Numune Kodu, HS-Hİ: hafta sonu-hafta içi, Y-O-D-T ise Yüksek Gelir, Orta Gelir, Düşük Gelir, Ticari/Çarşı grubu kelimelerinin ilk harflerini temsil etmektedir.



**Tablo 4.5** Balıkesir Kış Dönemi Katı Atık Karakterizasyonu Çalışması İçin Alınan Numunelerin Bilgi ve Verileri

No	Numune Kodu	Alındığı Yer (Yüksek, Orta, Düşük, Ticari)	Atığın Geldiği Belediye
1	HS-Y	Yüksek	Altıeylül
2	HS-D	Orta	Bigadiç
3	HS-D	Düşük	Balya
4	HS-O	Orta	Susurluk
5	HS-O	Orta	Havran
6	HS-O	Orta	Erdek
7	HS-D	Düşük	Savaştepe
8	HS-O	Orta	İvrindi
9	HS-T	Ticari	Bandırma
10	HS-Y	Yüksek	Gönen
11	HS-O	Orta	Dursunbey
12	HS-T	Ticari	Manyas
13	HS-O	Orta	Kepsut
14	HS-T	Ticari	Karesi
15	HS-T	Ticari	Edremit
16	HS-Y	Yüksek	Ayvalık
17	Hİ-T	Ticari	Altıeylül
18	Hİ-D	Düşük	Karesi
19	Hİ-O	Orta	Sındırgı
20	Hİ-Y	Yüksek	Bigadiç

**Tablo 4.6** Balıkesir Yaz Dönemi Katı Atık Karakterizasyonu Çalışması İçin Alınan Numunelerin Bilgi ve Verileri

No	Numune Kodu	Alındığı Yer (Yüksek, Orta, Düşük, Ticari)	Atığın Geldiği Belediye
1	Hİ-D	Düşük	Gönen
2	Hİ-T	Ticari	Bandırma
3	Hİ-Y	Yüksek	Altıeylül
4	Hİ-D	Düşük	Karesi
5	Hİ-T	Ticari	Karesi
6	Hİ-O	Orta	Bigadiç
7	Hİ-Y	Yüksek	Ayvalık

Karakterizasyon numunesi alınırken üstü açık, demirden imal edilmiş, sızma ve akmaya karşı önlemlerle, taşıma sapları bulunan 0,5 m<sup>3</sup>'lük numune ölçek kablari kullanılmıştır. Sınıflandırma işlemi ASTM standardında önerilen 91-136 kg'lık numunelerde çalışılması kriterini sağladığı için 0,5 m<sup>3</sup>'lük numune hacmi tercih edilmiştir. Ayırma işleminde atıklar, Avrupa Komisyonu'nun kentsel atıklar için hazırladığı "Methodology for the Analysis of Solid Waste (SWA-Tool)" referans alınarak ve atık bertaraf teknolojileri göz önünde bulundurularak 14 kategoride sınıflandırılmıştır.

**Tablo 4.7** Katı Atık Karakterizasyonu Madde Grupları

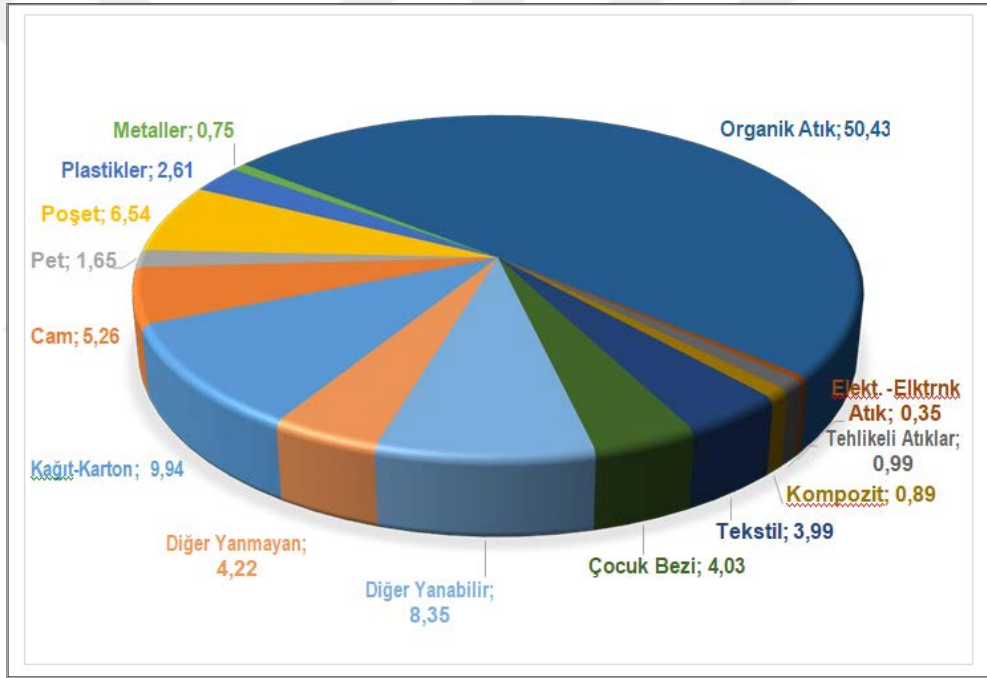
No	Malzemeler	Açıklamalar
1	Mutfak-Park ve Bahçe Atıkları	Yemek Artıkları, Sebze, Meyve, Park ve Bahçe Atıkları
2	Poşet	Alışveriş Poşetleri
3	Kağıt-Karton	Her Türlü Kağıt-Oluklu-Oluksuz Karton
4	Kompozit	Süt Kutusu, Meyve Suyu Kutusu
5	Plastikler	Pet Harici Her Türlü Plastik Türevi Atık
6	Pet	Su Şişesi, Meşrubat Şişeleri
7	Cam	Her Türlü Cam
8	Metaller	Her Türlü Metal
9	Elektrik-Elektronik Atıklar	Telefon, Radyo vs.
10	Tehlikeli Atıklar	Pil, Boya Kutusu, Deterjan Kutusu, İlaç Kutuları, Tıbbi Atıklar
11	Çocuk Bezi	Çocuk Bezi, Hijyenik Bez
12	Tekstil	Her Türlü Tekstil Malzemesi
13	Diğer Yanabilir	Ayakkabı, Halı, Çanta, Kemer, Köpük, Gıda Ambalajı, Tahta
14	Diğer Yanmayan	Taş, Toz, Kum, Seramik ve Kül

Madde grubu analizi yapılan numunelerden laboratuvar analizleri için yeterli olacak miktarda (her bir numuneden 2'şer kilogram) test numuneleri alınmıştır. Test numuneleri, bütün numune yığını temsil etmesi gerektiğinden, laboratuvar test numuneleri seçilirken, madde grup sınıflandırmasında tespit edilen yüzde değerler kullanılmıştır. Örnek olarak, içerisinde %5 oranında plastik, %7 oranında poşet ve %3 oranında kağıt/karton bulunan bir numune yığınının 2 kg'lık laboratuvar test numunesi seçildiğinde, test numunenin içerisinde yine aynı oranlarda madde (%5 oranında plastik, %7 oranında poşet ve %3 oranında kağıt/karton) bulunmalıdır. Herhangi bir karışıklık olmaması için numune poşetleri üzerlerine açıklayıcı atık kodları yazılarak etiketlenmiştir. Katı atık numunelerinin analizleri Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Yeterlilik ve TÜRKAK Akreditasyon Belgesine sahip İSTAÇ Çevre Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Laboratuvara gönderilen numuneler, etüvde 105°C' de 24 saat kurutulularak nem muhtevası belirlenmiştir. Kurutulan numuneler önce kaba öğütücüden sonra ince öğütücüden geçirildikten sonra laboratuvar analizlerine hazır hale getirilmiştir. Atıkların ısı değerleri bomba kalorimetre ile organik madde analizleri ise fırında 550°C'de 2 saat sonundaki yakma kaybıyla belirlenmiştir.

#### 4.4.2 Karakterizasyon Çalışmasının Sonuçları

Karakterizasyon çalışmasında kentsel atık 14 kategoride değerlendirilmiş ve yapılan bu çalışma düzenli depolama sahasında gerçekleştirilmiştir.

Madde-Grup sınıflandırması (ayırma) işlemi için atıklar, çalışma yapılan bölgeye iletilmiş, homojen karıştırma yapılarak numuneler alınmış ve ayırma işlemi uygulanmıştır. Yağışlı mevsimlerde bu değer nem muhtevasına paralel artış göstermektedir. Ayrıca inert içeriğe sahip olan kül, özgül ağırlık üzerinde önemli artırıcı etkiye sahiptir. 27 adet numune için yapılan madde grup sınıflandırmasının, her bir numunenin geldiği ilçenin nüfus sayıları dikkate alınarak hesaplanan ağırlıkça ortalama değerleri grafik olarak Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.7 Balıkesir İçin Kentsel Katı Atık Karakterizasyonu

Kentsel katı atık karakterizasyon çalışması için alınan numunelerin ilçe nüfusları dikkate alınarak hesaplanan ağırlıkça % ortalamaları; sosyo-ekonomik durumlarına göre "Yüksek Gelir, Orta Gelir, Düşük Gelir, Ticari-Merkez bölgeleri olarak değerlendirilmiş, ayrıca hafta sonu ve hafta içi günlerinin atık muhtevalarının ortalama değerleri de Tablo 4.8'de verilmiştir.

Genel olarak atık muhteva değerlerinde %50,43 ortalama ile biyobozunur atık (organik, mutfak atığı) ön plana çıkmakta ve %9,94 kağıt-karton, %8,35 diğer

yanabilir, %6,64 poşet, %5,26 cam, %4,22 diğer yanmayan yüzde oranları bunu takip eden önemli bileşenler olarak görünmektedir.

**Tablo 4.8** Atık Muhtevasının Sosya Ekonomik Duruma Göre % Değişimi

ATIK BİLEŞENİ	GENEL ORTALAMA	YUKSEK GELİR	ORTA GELİR	DÜŞÜK GELİR	TİCARİ-ÇARŞI	HAFTA SONU	HAFTA İÇİ
Kağıt-Karton	9,94	12,25	8,17	4,71	11,53	9,95	8,80
Cam	5,26	5,94	4,61	2,38	6,34	5,46	4,06
PET	1,65	1,35	1,62	0,69	2,30	1,45	1,87
Poşet	6,54	7,47	7,21	6,22	5,59	7,42	5,39
Plastikler	2,61	2,84	2,10	1,17	3,25	2,39	2,66
Metaller	0,75	0,56	0,54	0,39	1,23	0,73	0,77
Organik Atık	50,43	48,95	54,20	55,06	48,42	49,65	51,85
Elekt. - Elktmk A.	0,35	0,25	0,22	0,71	0,38	0,32	0,41
Tehlikeli Atıklar	0,99	1,52	1,15	0,64	0,70	1,18	0,56
Kompozit	0,89	0,90	1,10	0,77	0,84	0,86	0,84
Tekstil	3,99	3,60	4,12	3,29	3,53	3,30	4,31
Çocuk Bezi	4,03	4,65	4,51	6,88	2,48	4,50	3,94
Diğer Yanabilir	8,35	7,44	6,39	6,40	10,26	8,81	8,90
Diğer Yanmayan	4,22	2,29	4,05	10,70	3,17	3,96	5,65
TOPLAM	100	100	100	100	100	100	100

#### 4.4.3 Karakterizasyon Çalışması Sonrası Laboratuvar Analizleri

Atık karakterizasyon çalışması sırasında alınan numuneler nem tayini, kalorifik değer ve kızdırma kaybı analizleri için günlük olarak laboratuvara gönderilmiştir. Nem tayini için numuneler etüvde 105 °C'de 24 saat kurutularak su muhtevası belirlenmiştir. Kurutulan numuneler önce kaba öğütücüden, ardından iseince öğütücüden geçirilerek diğer analizler için hazır hale getirilmiştir. Atıkların kalorifik (ısı) değeri bomba kalorimetre ile kızdırma kaybı analizleri ise kuru numunenin 550 °C'de en az 60 dakika yakılarak, kızdırma sonucunda gaz olarak ortaya çıkan maddelerin kütlelerinin % olarak hesaplanması prensibine dayanmaktadır. Atık özellikleriyle ilgili laboratuvar analiz sonuçları kış dönemi için Tablo 4.9'da, yaz dönemi için Tablo 4.10'da verilmiştir. Buna göre 27 numune için ortalama su muhtevası %59,15 bulunmuştur.

Literatüre göre yağmurlu mevsimler sırasında su muhtevaları %40-60 gibi değerlere ulaşabilmektedir (İ.Öztürk, 2015). Buna göre, su muhtevası değerinin beklenen değerlerin üzerinde seyrettiği söylenebilir. Nem muhtevası atık yönetimi ve seçilecek bertaraf teknolojileri açısından büyük öneme sahiptir. Nem muhtevasına yağışın

etkisinin en aza indirilmesi sağlamak için atık toplama sisteminin yani toplama kaplarının (konteynerlerin) kapalı sistem olarak seçilmesi önem kazanmaktadır.

**Tablo 4.9** Laboratuvar Analizi Sonuçları (Kış Dönemi)

TARİH	NUMUNE	NEM (%)	KIZDIRMA KAYBI (%)	ÜST KALORİFİK DEĞER (kcal/kg)	ALT KALORİFİK DEĞER (kcal/kg)
30.11.2015	1-HS-Y	58,2	87,7	4818	1674
	2-HS-O	63,4	76,8	3885	1051
	3-HS-D	61,4	88,4	4953	1553
	4-HS-O	57,2	86,0	5079	1839
	5-HS-O	58,6	81,4	3925	1282
	6-HS-O	62,0	89,4	5815	1847
	7-HS-D	57,0	71,6	4254	1496
	8-HS-O	64,0	86,9	4265	1161
	9-HS-T	70,5	87,3	5802	1299
	10-HS-Y	63,8	85,8	4551	1274
01.12.2015	11-HS-O	65,0	87,1	5496	1543
	12-HS-T	64,7	85,3	5785	1664
	13-HS-O	69,0	85,6	4301	930
	14-HS-T	66,4	83,4	5279	1385
	15-HS-T	52,8	85,0	4918	2013
	16-HS-Y	69,6	85,4	4613	995
	17-HI-T	48,2	88,7	5242	2433
	18-HI-D	70,0	80,0	5030	1100
	19-HI-O	43,2	84,0	4587	2352
	20-HI-Y	53,6	92,0	6402	2657
	<b>ORTALAMA</b>	<b>61,1</b>	<b>85,2</b>	<b>5058</b>	<b>1605</b>

Hi: Hafta içi; HS: Hafta sonu; Y: Yüksek gelir; O: Orta gelir; D: Düşük gelir; T: Ticari

Hi: Hafta içi; HS: Hafta sonu; Y: Yüksek gelir; O: Orta gelir; D: Düşük gelir; T: Ticari

**Tablo 4.10** Laboratuvar Analizi Sonuçları (Yaz Dönemi)

TARİH	NUMUNE	NEM (%)	KIZDIRMA KAYBI (%)	ÜST KALORİFİK DEĞER (kcal/kg)	ALT KALORİFİK DEĞER (kcal/kg)
02.06.2011	1-HI-D	41,0	60,2	3467	1806
	2-HI-T	46,8	86,6	4459	2098
	3-HI-Y	62,2	80,8	4439	1314
	4-HI-D	65,1	78,4	4056	1035
	5-HI-T	54,7	76,6	3816	1409
	6-HI-O	52,8	82,8	4414	1775
	7-HI-Y	48,5	68,1	2946	1534
	<b>ORTALAMA</b>	<b>53,3</b>	<b>75,1</b>	<b>3729</b>	<b>1508</b>

Hi: Hafta içi; HS: Hafta sonu; Y: Yüksek gelir; O: Orta gelir; D: Düşük gelir; T: Ticari

Atık üst kalorifik değerleri kış dönemi 3885-6402 kcal/kg, yaz dönemi 2946-4459 kcal/kg aralığında olup, ağırlıklı ortalaması 4726 kcal/kg'dır. Bu kapsamda, atık üst kalorifik değerinin beklenenin üzerinde olduğu söylenebilir. Bu durum, ambalaj

atıklarının kaynağında yeterli oranda ayrıştırılamamasının bir sonucu olarak da gözlenmiş olabilir.

Atık alt kalorifik değerinin düşük olması istenilen bir durum değildir. Bu değer yüksek olması; atık nem muhtevası ve inert madde içeriği ile ters orantılıdır. Elde edilen nem muhteva oranı %59,15'tir. Yapılan çalışmada atık alt kalorifik değerlerinin kış döneminde 930-2657 kcal/kg, yaz döneminde ise 1035-2098 kcal/kg aralığında olduğu gözlenmiş, ağırlıklı ortalamasının ise 1581 kcal/kg olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda, atık alt kalorifik değerinin beklenen düzeyde seyrettiği söylenebilir. Alt kalorifik değer, yağışla birlikte atık içerisindeki nem içeriği fazlalığı ile ters orantılıdır. Toplama sisteminin yani konteynerlerin kapaklı ve kapalı sistem olması atığın alt kalorifik değerini yükseltebilmektedir.

*Alt kalorifik değer hesaplarında aşağıdaki formül kullanılmıştır.*

*Alt Kalorifik Değer Hesaplama Formülü:  $H_u = (H_o * ((100-w)/100)) - (5,85w)$*

*$H_u =$  Alt kalorifik değer(kcal/kg)*

*$H_o =$  Üst kalorifik değer(kcal/kg)*

*$w =$  Su muhtevası(%)*

Yapılan laboratuvar çalışmalarında tespit edilen alt kalorifik değer termal teknoloji seçiminde en önemli parametrelerden biridir. Dışarıdan yakıtı ihtiyaç duyulmadan evsel atıkların yakma teknolojisi ile bertarafı için atık alt kalorifik değerinin en az 1.500 ile 1.600 kcal/kg atık düzeyinde olması gerektiği belirtilmektedir.

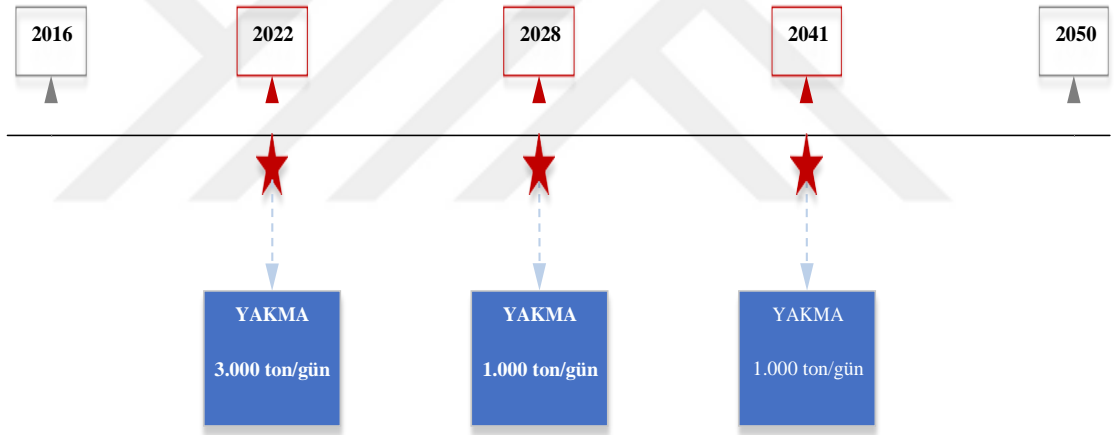
Atık içerisinde bulunan uçucu organik maddelerin % olarak bir göstergesi olan kızdırma kaybı kış dönemi için %85,2, yaz dönemi için ise %75,1 gibi yüksek düzeylerde bulunmuştur. Bu değer hem termal hem de biyolojik prosesler bakımından yüksek olması istenilen bir durumdur. Kızdırma kaybı değeri inert muhteva ile ters orantılıdır. İncert atıkların termal ve biyolojik sistemlerde verim kaybına yol açması ve iletim hatlarında ise tıkanmalara sebebiyet vermeleri en temel işletme problemlerine yol açmakta ve mümkün olduğunca bu atıklar için ayrı bir strateji geliştirilmelidir.

Balıkesir için yapılan atık karakterizasyon çalışmasında geri kazanılabilir ambalaj atığı ağırlıkça %21,10 ile öne çıkan en önemli parametredir. Organik atık içeriği (mutfak ve park-bahçe atıkları) 27 numunede ağırlıkça %50,43 bulunmuştur. Çarşı

ve yüksek gelir bölgelerinden alınan atık numuneleri ile taşradan alınan numuneler arasında özellikle geri kazanılabilir atık içeriğinde görülür farklılıklar vardır.

Laboratuvar sonuçlarına göre atığın nem içeriği ortalama %59,15 olduğu ve yüksek değerde seyrettiği ve Üst kalorifik değer ise nemden bağımsız olarak tipik evsel atık kalorifik değerinin üzerinde seyrettiği görülmüştür. Alt kalorifik değer, değişen nem içeriği ile birlikte önemli değişkenlikler göstermiştir. Alt kalorifik değer ortalama 1581 kcal/kg ile kendi kendine yanma için gerekli olan 1.500-1.600 kcal/kg değer aralığındadır. Dolayısı ile kritik olan bu değer Termal bertaraf yöntemlerinin seçilmesi durumunda söz konusu değerlerin altına düşülmemesi tavsiye edilmektedir.

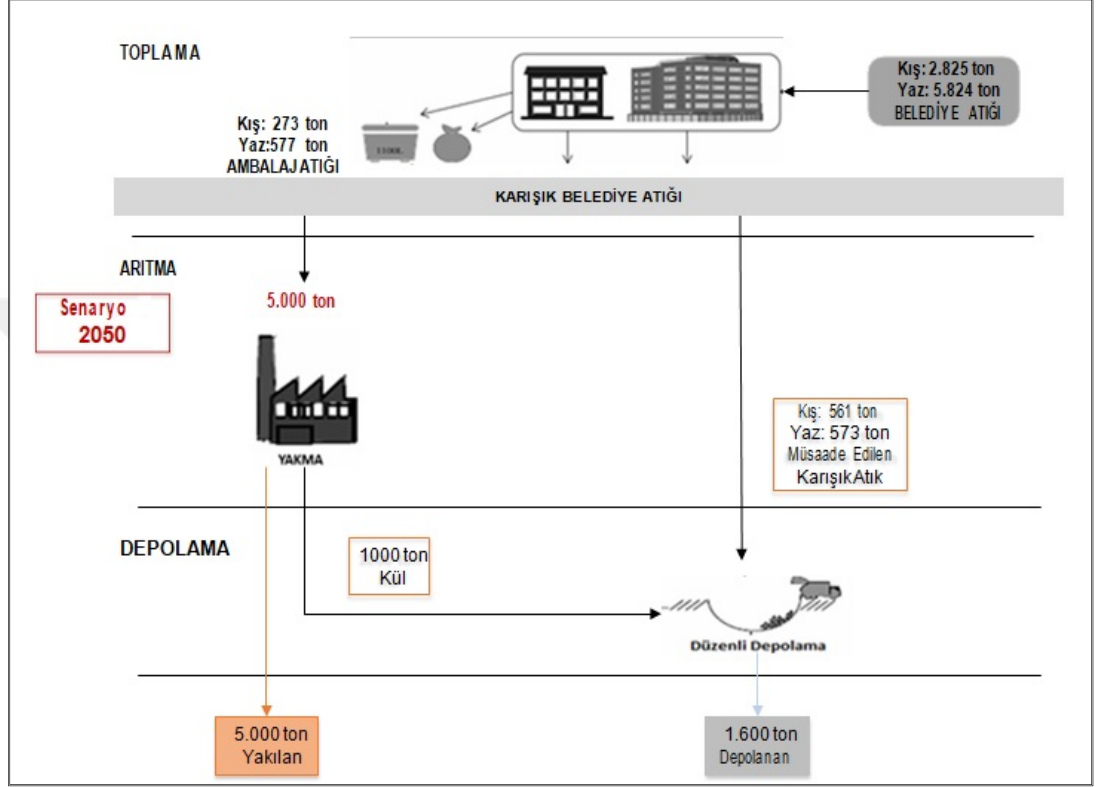
Atık kızdırma kaybı değerlerinin ortalama %82,7 olması uçucu organiklerin yüksek olduğunu göstermekte ve bu da atığın bertaraf modellerinin seçiminde biyolojik ve termal yöntemleri ön plana çıkarmaktadır.



**Şekil 4.8** Balıkesir Termal Sistem Planlaması

Bu kriterler ışığında yapılan karakterizasyon sonuçlarına göre Balıkesir İli belediye atıkları için Termal Bertaraf Yöntemlerinden Yakma Teknolojisi kullanılması tercih edilmiştir. İlçelerden tesise karışık halde gelen evsel atıklar doğrudan günlük kapasitesi 5.000 ton olan yakma tesisine alınarak bertarafı sağlanacak şekilde çalışma yapılmıştır.

Yapılan çalışmada 2022 yılına kadar günlük 3.000 ton evsel atık bertarafını sağlayacak kapasitede yakma tesisinin devreye gireceği ve sonrasında 2028 ve 2041 yılları içinde de günlük 1.000 ton kapasiteli 2 ayrı yakma hattı devreye alınması planlanmıştır. Yıllık yakılacak toplam atık miktarı 50.000 tondan az olmamalıdır (Rand vd., 2000).



**Şekil 4.9** Balıkesir Termal Sistem İşletme Şeması

Balıkesir ili için 2050 yılı sonuna kadar toplamda 5.000 ton/gün kapasiteli yakma tesisi planlanmasında biyobozunur atık miktarında yapılacak azaltım dikkate alınmıştır.

Balıkesir ili atık yönetimine ilişkin termal sistem uygulamasında karışık belediye atıklarının yakma teknolojisi ile bertarafına ilişkin anahtar kriterler incelendiğinde; seçilen teknoloji hareketli ızgara yöntemi ile toplu kütle yakma teknolojisine dayanmalıdır. Ayrıca, tercih edilen tedarikçinin daha önceden yaptığı veya işlettiği başarılı tesislere ait referansları olmalıdır. Fırın kararlı ve sürekli çalışmaya uygun dizayn edilmeli ve içerisindeki tüm atık ve baca gazını yakmalıdır.



**Tablo 4.11** Balıkesir Katı Atık Yönetim Sistemi Bileşenleri ve Özellikleri

<b>Katı Atık Yönetim Sisteminin Bileşenleri</b>	<b>Bileşen Özellikleri</b>
<b>Kaynağında Ayırma</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ Mevcut durumda devam eden ikili toplama sisteminin planlı şekilde sürdürülmesi.</li><li>○ Ambalaj atığının kaynağında ayrı toplanması için gerekli sistemlerin kurulması.</li><li>○ 2020 yılında Balıkesir ilinin tamamının ayrı toplamaya (ikili toplama sistemi) geçmesi.</li><li>○ 2020 yılından itibaren Belediyelerde Atık Kumbaralarının yerleştirilmesi ve Atık Getirme Merkezlerinin kurulması</li></ul>
<b>Geri Dönüşüm/Geri Kazanım</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>○ İlk aşamada yapılması planlanan Aktarma İstasyonlarına Atık Getirme Merkezlerinin kurulması.</li><li>○ Mahalle statüsüne kavuşan uzak köylerde atık toplama merkezlerinin kurulumunun 2 yıl (2020) süre ile ötelenmesi.</li></ul>

Yürürlükteki yasal düzenlemelerle uyumlu atık yönetim sistemi çerçevesinde planlanan sürece ilişkin yapılacak çalışmalar ve 2050 yılına kadar bu çalışmalara uyumlu kapasite bilgileri Tablo 4.12’de belirtilmiştir.

Bu çalışmalara istinaden yapılacak yatırım atık kapasitesine bağlı olarak artırılabilir, bu çalışma kapsamında değişiklikler yapılabilir denmektedir (Balıkesir Katı Atık Entegre Yönetim Planı, 2016).

**Tablo 4.12** Balıkesir Termal Proses Kapasitesi

Tesis Adı	Tesis Sayısı	İşletmeye Alma Tarihi	Kapasite	Düzenli Depolama İçin Gerekli Kümülatif Hacim (m <sup>3</sup> )
Yakma	1	2022	3.000 ton/gün	3.790.000 (2017-2022)
		2028	1.000 ton/gün	5.280.000 (2017-2028)
		2014	1.000 ton/gün	8.200.000 (2017-2041)

Yapılan çalışmaya göre; düzenli depolama yöntemi ile depolanacak toplam evsel atık miktarının 2040 yılına kadar yaklaşık 6,8 milyon ton ve 2050 yılına kadar 8,8 milyon ton olacağı öngörülmektedir. Belirtilen süreçte gerekecek alan miktarının; 2040 yılına kadar 8 milyon m<sup>3</sup>, 2050 yılına kadar ise yaklaşık 10,3 milyon m<sup>3</sup> olması planlanmaktadır. Depolanan alanın zeminden yüksekliği 40 metre varsayıldığında, Düzenli Depolama Tesisi için 26 hektarlık araziye ihtiyaç olacağı görülecektir. Planlanan tesisin devreye alınması ile birlikte projenin başlangıç tarihinden 35 yıl sonrasına kadar düzenli depolanacak toplam atık miktarında, mevcut çalışmaya göre yaklaşık %70 oranında bir azalma sağlanacağı öngörülmektedir.

Planlanan senaryonun gerçekleşmesi durumunda Balıkesirin evsel atıkları yakma tesisinde bertaraf edilecek, depolama alanından %70 oranında alan kazanılacak, aynı zamanda üretilen elektrik enerjisi UEDAŞ Balıkesir mevcut hattına verilecektir. Sürdürülebilir Katı Atık Yönetimi ile birlikte enerjiden faydalanılacak ve böylece süreç fosil yakıtların tüketiminin azaltılması ile sonuçlanacaktır.

## BÖLÜM 5

### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 5.1 Bulgular

Balıkesir ili evsel atıkları için yapılan atık karakterizasyonu çalışmaları sonucunda atığın alt kalorifik değeri ortalama 1.581 kcal/kg olarak belirlenmiştir. Nüfus projeksiyonuna dayalı yapılan atık projeksiyonu çalışmalarında gelecek yıllar için atık miktarları tespit edilmiştir. Buna göre 2019 yılında kış dönemi için 1.097 ton/gün, yaz dönemi için 2.825 ton/gün atık toplanması beklenirken 2050 yılı için kış döneminde 2.825 ton/gün, yaz dönemi için 5.824 ton/gün atık toplanması beklenmektedir.

Yanma veya yakma olarak adlandırılan kontrollü bir yanma işlemi öncelikle atık miktarını azaltmak için uygulanır. Hacim azaltmanın yanı sıra, yakıcılar, uygun şekilde donatıldıklarında, suyu buharla ısıtma sistemlerine dönüştürebilir veya elektrik üretebilirler.

Atıktan enerjiye yanma için temel teknoloji, 1960'larda ve 1970'lerde Avrupa'da geliştirilmiştir. Bu teknoloji, geliştirilmesinden bu yana değiştirilmiş ve ilerletilmiştir. Ve Batı Avrupa ile ABD'de yaygın olarak uygulanmaktadır. Katı atığın yakılmasının hacmini dokuz kat azaltabileceği ve nihai atık bertaraf sahalarını iyileştirebileceği gerçeğine rağmen, enerji üretimi için katı atık kullanma potansiyeli, çevre kirliliği açısından yaygın endişeler nedeniyle henüz gerçekleşmemiştir veya gerçekleşmemektedir. Bununla birlikte, yeterli çevresel tedbire ve dikkatli izlemeye sahip olan modern WtE yakma tesislerinin önümüzdeki yıllarda önem kazanması, muhtemel güvenli ve uygun maliyetli bir teknoloji olduğunu gösterilmiştir.

Balıkesir İli Katık Atık Entegre Yönetim Planında da Balıkesir ili için 2050 yılı sonuna kadar toplamda 5.000 ton/gün kapasiteli yakma tesisi planlanmıştır.

Birçok ülkede, çöp kamyonları, çöp yakma tesisine teslim edilmeden önce dahili bir kompresörde atık hacmini azaltır. Yakma genellikle, jeneratörleri elektrik üretmeye

zorlayan buhar oluşturmak amacıyla suyu kaynatmak için çöplerin yanması prosesidir. Yakma hem küçük hem de büyük ölçekte yapılır. Bu, belirli tehlikeli metalik olmayan organik atıkları ve tıbbi atıkları bertaraf etmenin gerçekçi bir yöntemi olarak kabul edilir çünkü yüksek sıcaklık, WtE aktivitesinde en yaygın işlem olmasının yanı sıra bakteri ve virüsleri de parçalar. Bu işlem nispeten steril, gürültüsüz ve kokusuzdur; arazi ihtiyacı asgaridir.

İşlenmemiş ham MSW'yi yakıt olarak kullanmak, ülkeye ve mevsime göre değişen malzemenin heterojen yapısından dolayı sıkıntılıdır. Aynı zamanda düşük bir ısı değerine, yüksek kül ve nem içeriğine sahiptir. Bu durum, tesis operatörlerinin kirlilik içermeyen yanma seviyelerini her zaman sağlamasını zorlaştırır. Atıkların RDF'e işlenmesi bu sorunların kısmen üstesinden gelir ve yakıt daha sonra zincir ızgaralı su borulu kazanlarda veya dolaşımdaki akışkan yataklarda daha başarılı şekilde kullanılabilir.

Yanma için daha homojen bir yakıt üretmek üzere mekanik olarak işlenen katı atıklara 'Atıktan Türetilmiş Yakıt' denir. RDF teknolojisi, MSW'yi yalnızca yakma için değil, temel olarak malzemenin fiziksel özelliklerini değiştirerek ek bir yakıt kaynağı olarak işler. RDF'yi, cam, metaller, kum vb. gibi yanıcı olmayan malzemeleri, mekanik yollarla ayırdıktan sonra farklı şekillerde hazırlar ve boyutunu küçültür. Yüksek organik içerikli atıklar, yanmaz ve geri dönüştürülebilir malzemeler ayrıldıktan sonra briketleme ve topak haline getirme için uygundur. RDF işleme, yanma akımından geri dönüştürülebilir maddeleri ve kirleticileri çıkarma avantajına sahip olsa da, bu işlemin karmaşıklığı işletme maliyetlerini artırmış ve tesislerin güvenilirliğini azaltmıştır. RDF kullanan yakma üniteleri için ton başına ortalama maliyet, diğer yakma türlerinden daha yüksektir.

Balıkesir ili evsel katı atıklarının kalorifik değerleri ve literatür incelemesine bağlı olarak, Balıkesir ili evsel katı atıklarından elde edilebilecek enerji miktarının tahmini için hesaplama yapılmış olup, elde edilen değerler Tablo 5.1' de gösterilmiştir. Atığın ortalama düşük kalorifik değeri, tüm mevsimlerde en az 6 MJ/kg olmalıdır. Yıllık ortalama düşük kalorifik değer, 7 MJ/kg'dan az olmamalıdır (World Bank, 1999). Atığın alt kalorifik değeri bütün mevsimler boyunca en az 1.400 kcal/kg olmalıdır. Yıllık ortalama alt kalorifik değer ise en az 1.650 kcal/kg olmalıdır.

Her ne kadar literatürde atığın alt ısıl değerleri belirlenmiş olsa da Balıkesir için elektrik üretimi hesaplamasında atığın kalorifik değerlerinin artırılması için çalışmalar yapılacağı ve analiz sonuçları baz alınarak atığın alt ısıl değeri tüm mevsimlerde 8 MJ/kg olarak kabul edilmiştir.

Hesaplamalar bu çerçevede yapılarak, kalorifik değer için enerji verimi 0,78 MJ/kg olarak kabul edilmiştir. Buhar türbinleri farklı amaçlar doğrultusunda farklı tip ve yapılar da literatürde yer almaktadır. Sisteme uygun olarak yoğuşmalı tip buhar türbin seçimi yapılmış ve elektrik üretim verimi ise %35 kabul edilmiştir (World Bank, 1999).

**Tablo 5.1** Balıkesir İli Evsel Katı Atıklardan Elde Edilebilecek Enerji Miktarına Ait Hesaplamalar

Planlanan Tesis Kapasite Bilgileri		
	Birimler	Veriler
Atığın Alt Isıl Değeri	MJ/kg	8
Enerji Verimi	MWh/t	0.78
Yakma kapasitesi	ton/gün	960
Hat başına kapasite	ton/saat	20
Elektrik Üretim Verimi	%	35
Hat Sayısı	-	2
Tesisin Çalışma Süresi	saat/yıl	8.000
Atık Kabulü	t/yıl	320.000
Üretilen Elektrik Enerjisi	MWh	11
Toplam Elektrik Üretim Miktarı	MW	87.360

$$\text{Yıllık Elektrik Üretimi} = 320.000 \times 0,78 \times 0.35 = 87.360 \text{ MW}$$

Balıkesir için planlanan Termal Yakma Tesisinin günlük evsel atık yakma kapasitesi 960 ton, toplam yıllık evsel atık yakma kapasitesi ise 320.000 tondur. İç tüketim hesaplanmadan üretilen elektrik enerjisi 87.360 MW dir.

Hesaplamalarda Enerji ve Elektrik Üretimi Verimlerinin kabulleri literatürden yapılmış olup Balıkesir evsel atıkları için yapılan analizler dikkate alınmıştır.

Almanya'da kurulu olan bir yakma tesisinde, kalorifik değeri yaklaşık 10.000 kJ/kg olan evsel ve ticari katı atıklar, 735.000 t/yıl kapasite ile yakılmakta olup, 281.000 MW elektrik üretimi sağlanmaktadır (Evermann, 2017).

Balıkesir ili için yapılmış olan hesaplamalara bakıldığında ise 320.000 t/yıl kapasiteli yakma tesisi için hesaplanan değerle oldukça uyumlu olduğu görülmüştür (87.360 MW).

Almanya'daki tesis için ton ve kalorifik değer başına üretilen elektrik enerjisi miktarı 382 kWh olup, yapılan çalışma için bu değer 273 kWh olarak elde edilmiştir.

Arada oluşan bu farkın atığın kalorifik değeri ve uygunlanan teknolojiden kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Bugünün yanma ve emisyon kontrol teknolojileri ile evsel katı atık yakma işleminin en yüksek standartta yapılması mümkündür. MSW, enerji kaynaklarının korunmasına yardımcı olan ve geleneksel fosil yakıt teknolojilerine kıyasla düşük CO<sub>2</sub> emisyonu seviyelerinde ısı veya elektrik gücü sağlayan bir biyoyakıt olarak düşünülebilir.

Karbon monoksit, kükürt dioksit, ağır metal bileşikleri ve dioksinler içeren partikül madde gibi çeşitli konsantrasyonlarda kirletici maddeler, MSW'yi yakan yakma fırınlarında üretilen baca gazında bulunabilir. Bu kirleticilerin çoğunun eksik/kısmi yanma sonucu oluştuğu bilinmektedir. Bu kirleticilerin oluşumu ve atmosfere yayılmaları, bir dizi hava kirliliği kontrol cihazı dahil edilerek ve WtE tesisinin uygun şekilde işletilmesiyle etkili bir şekilde azaltılabilir veya önenebilir.

Parçacıkların içindeki ağır metallerin konsantrasyonları, özellikle kurşun, çinko, civa ve kadmiyum önemli olabilir ve bunların uzaklaştırılması ve bertaraf edilmesine özen gösterilmelidir. Baca gazı kirleticilerinin en önemlileri asit yağmuru oluşturan kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) ve hidrojen klorürdür (HCl). Bunlar ıslak yıkayıcılar tarafından elimine edilebilir. Hidrojen florür ve NO<sub>x</sub> düşük konsantrasyonlarda üretilir, ancak genellikle bir sorun değildir.

Yanıcı, karbon içeren kirletici maddelerin - dioksinler ve furanlar - emisyonu da ciddi bir endişe kaynağıdır. Bunlar, yanma işlemini optimize ederek kontrol edilebilir.

Yapılan literatür taraması ile birlikte Balıkesir ili evsel atıklarının karakterizasyonu ve laboratuvar analizleri esas alınarak teknik ve ekonomik kriterler değerlendirilerek hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 5.2' de verilmiştir. Bu hesaplamanın amacı Balıkesir ili evsel atıkları için en uygun termal teknolojinin seçiminde taban sağlamaktır. Termal Proseses değerlendirme matrisinde teknik kriterlerin ağırlığı (W) %60, ekonomik kriterlerin ağırlığı ise %40 olarak öngörülmüştür. Her bir değerlendirme kriterinin ağırlığı ise proseslerin tüm süreçlerindeki önemine bağlı olarak puanlandırılmıştır. Örneğin, deneyim/referanslar kriteri proseslerin işletimi için oldukça önem arz etmekte olduğundan, bu hesaplama için ağırlık faktörü 20 puan olarak belirlenmiştir. Ayrıca tanımlanan prosesleri değerlendirmek için farklı teknik ve ekonomik değerlendirme kriterleri ile tartım faktörleri (P) tanımlanmıştır. Bu faktörler ise prosesleri belirlenen kriterlerdeki uygunluk durumu esas alınarak 0-3 arasında puanlandırılmıştır. Değerlendirmenin somutlaştırılması her bir kriterin yerine getirilmesi, üç (3 = çok olumlu) ve sıfır (0 = olumsuz) olacak şekilde belirlenmiştir. Süreç değerlendirmesinin toplam sonucu, ağırlık faktörü ve tartım faktörünün çarpılmasıyla elde edilen E değerlendirme puanlarının toplamı ile gösterilmiştir (E = W \* P; W = ağırlık faktörü, P = puan). Bu toplam sonuca bağlı olarak termal bertaraf açısından en uygun proses seçimi yapılmıştır.

**Tablo 5.2** Termal Proseslerin Değerlendirilmesi

KRİTERLER	W	Yakma		Piroliz		Gazifikasyon	
		P	E	P	E	P	E
<b>Teknik</b>							
Deneyim/Referanslar	20	3	60	0	0	0	0
Yüksek t kalma süresi	5	3	15	2	10	2	10
Yanmanın bütünlüğü	5	3	15	3	15	3	15
Cüruf kalitesi	5	2	10	3	15	3	15
Atık özelliği	10	3	30	2	20	2	20
Kullanılabilirlik/güvenirlik	10	3	30	0	0	0	0
Operasyonel davranış	5	3	15	1	5	1	5
Ara Toplam	60		175		65		65
<b>Ekonomik</b>							
Yatırım Maliyeti	25	3	75	1	25	1	25
İşletme Maliyeti	15	3	45	1	15	1	15
Ara Toplam	40		120		40		40
Değerlendirme- Toplam	100		<b>295</b>		105		105

$$E = W * P \quad (W = \text{ağırlık faktörü, } P = \text{puan})$$

$$E=W \times P$$

3 = çok olumlu , 2 = olumlu, 1 = tatmin edici, 0 = olumsuz

Yapılan süreç değerlendirmesi sonucunda E değerlendirme puanı 295 ile belirlenen Yakma Teknolojisinin uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada Termal Proseslerin avantajları ve dezavantajları kıyaslanmış, Dünyada mevcut olan termal tesislerden bir kaçı üzerinde deneyimler gözlemlenmiş ve Balıkesir İli evsel atıklarına uygulanabilecek çevreci, ekonomik, sürdürülebilir termal prosesin seçimi bu çerçevede yapılmıştır.

## 5.2 Tartışma

Karışık belediye atıklarının termal bertaraf yöntemleriyle bertarafı; atığın değerlendirilerek ekonomiye kazandırılması, atığın dezenfekte edilmesi, depolamada yaşanan sağlık problemlerinin en aza indirgenmesi ve düzenli depolanacak atığın miktarında hacimsel azalma sağlanmasıyla düzenli depolama sahalarının ömrünü uzatması bakımından önemli bir yere sahiptir.

Ülkemizde nüfusun hızla artması sanayinin de gelişmesini beraberinde getirmiştir. Sanayileşme ile birlikte gelir düzeyinde iyileşme olmuş ve toplumun tüketim alışkanlıklarında değişimine neden olmuştur. Tüm bu gelişmeler paralellinde Ülkemizin gıda ihtiyacının karşılanması için tarım arazileri giderek önem kazanmıştır. Dolayısı ile ülkemizde katı atık depolama alanları için gerekli alanın ayrılmasının mı daha önemli olduğu, yoksa atıkların ekonomiye kazandırılması ve sonuçta depolama alanları için hacimce önemli ölçüde imkanlar sunan uygun teknolojilerin seçimlerinin mi yapılması gerektiği konularında politikalar üzerinde çalışılması gerekliliği önemli bir tartışma konusu olmaktadır.

Modüler yakma üniteleri genellikle, günde yaklaşık 5 ila 120 ton katı atık gerektiren nispeten küçük kapasiteli tesislerdir. Tipik tesisler, günde yaklaşık 15 ila 400 ton arasında bir toplam tesis kapasitesi için bir ile dört üniteye sahiptir. Modüler ünitelerin çoğu, enerji ürünü olarak buhar üretir. Küçük kapasitelerinden dolayı, modüler yakma tesisleri genellikle küçük nüfuslarda, ticari ve endüstriyel işletmelerde seçilir ve kullanılır. Modüler tesisler, prefabrik tasarımları nedeniyle



kısa sürede inşa edilebilir. Ortalama olarak, ton başına maliyet, modüler birimler için diğer yakma seçeneklerine kıyasla daha düşüktür.

Evsel atıkların düzenli depolanmasının yerine nihai bertaraf tesislerinde bertarafının sağlanmasıyla ülkemiz genelinde bu atıklardan ekonomik ve ticari değeri olan malzemelerin üretilerek ekonomiye kazandırılması büyük önem arz edecektir. Bu üretim tekniklerinden en önemlileri daha önce bahsedildiği üzere yakma, proliz, gazifikasyon ve bu teknolojilerin çeşitli varyasyonlarıdır.

Balıkesir ili genelinde evsel atıklar üzerinde yapılan çalışmalar ile dünyada kullanılan evsel atık bertaraf yöntemlerine bakıldığında, yakma tesisleri için gerekli atık miktarının ve atık karakterizasyonunun Balıkesir ilinde yakma tesisi kurularak atıkların termal yollarla bertarafının yapılmasının uygun olduğu görülmektedir.

Uygulanabilir bir Atıktan Enerji Tesisi (WtE) için minimum belirlenmesi gereken şartlar aşağıdaki gibi olmalıdır;

WtE, teknik ömrü yaklaşık 50 yıl olan uzun vadeli bir yatırımdır. WtE uzun vadeli ve çevreci bir yatırım olmalıdır. Yüksek kaliteli bir WtE tasarımı yapılmalıdır. 35-40 ton/saat veya yılda 300 k - 400 k ton kapasiteli bir tesis olmalıdır. Yıllık bir hat uygulaması için minimum.150k –200k ton atık kapasitesine sahip olmalıdır. Bertaraf güvenliği için yedekli bir ikinci hat planlanmalıdır. Yüksek lojistik maliyet durumunda, genellikle daha küçük tesis kapasitesi düşünülmelidir. Lojistik maliyetlerinin ve tesis işletmesinin optimizasyonu sağlanmalıdır. Enerji kullanımı kavramı kapasiteyi etkilememelidir. Enerjinin veya elde edilecek ürünlerin kullanılacağı potansiyel araştırılmalıdır. Tesis yapımı için uygun yer planlara işlenmelidir. Tesis onayı ve uygunluk için gerekli çalışmalar yapılmalıdır. Proje, politika ve yerel halk tarafından kabul edilmeli ve sahiplenilmelidir. Türkiye pazarından elde edilecek kritik ekipmanlar belirlenmelidir. Personel gereksinimleri ve nitelikleri tespit edilmelidir.

**Tablo 5.3** AB'de Evsel Atık Yönetimi Maliyetleri

250.000 ton/yıl Kapasiteli Yakma Tesisi ( x 10 <sup>6</sup> €)	
Plan/Proje	3.5
Makine/ekipman	70
Diğer Ekipman	28
Elektrik	18
Altyapı	14
İnşaat	7
<b>Toplam Yatırım Maliyeti</b>	<b>140</b>
Ana Yatırım Değeri	14
Personel	4
Bakım	3
Yönetim	0.5
Enerji	3
Atık bertarafı	3.5
Diğer	1
<b>Toplam İşletme Maliyeti</b>	<b>29</b>
Yaklaşık İşletme Maliyeti	<b>115 €/t</b>

250.000 ton/yıl kapasiteli tesisin detaylandırılmış maliyet dağılımı Tablo 5.3' de görülmektedir. Yakma tesisinin maliyetlerini etkileyen unsurlar farklılıklar göstermektedir. Arazi maliyeti, tesis kapasite kullanım oranı, baca gazı arıtma gereksinimleri için farklı üye ülkelerin farklı standartları, geri kazanılan enerjinin verimliliği ve sağlanan enerji için elde edilen gelir, metallerin geri kazanımı ve bundan elde edilen gelirler, kül atıklarının yönetimi ve boşaltımı, yeniden kullanımı, uçucu küller için oluşan maliyetler farklı yaklaşımlar, boşaltım öncesi arıtmayla ilgili mevzuat nedeniyle ve aynı zamanda bertaraf yapılacak saha nedeniyle büyük ölçüde farklılaşmaktadır.

**Tablo 5.4** Farklı Üye Ülkeledeki Yakma Tesisleri Finansal Karşılaştırması

Ülke Adı	Vergi Öncesi Net Gelir	Vergi (Enerji Geri Kazanımı Tesisler İçin)	Enerji Geliri(kWh)	Kül Arıtım Maliyeti
<b>Avustralya</b>	326 €-60.000 ton/yıl 159 €-150.000 ton/yıl 97 €-300.000 ton/yıl	-	Elektrik 0,036€	Curüf 63 €/t Baca gazı kalıntıları 363€/t
<b>Belçika</b>	71-75 €-150.000 ton/yıl	12,7 €/t	Elektrik 0,025€	-
<b>Danimarka</b>	30-45 €/t	44 €/t	Elektrik 0,05 €	-
<b>Almanya</b>	250 €-(50.000 t/y altı) 105 €-200.000 t/y 65 €-600.000 t/y	-	Elektrik 0,046€	Curüf 28,1 €/t Baca gazı kalıntıları 255,6 €/t
<b>Hollanda</b>	71-110* €/t (VVAV) 70-134* €/t (OWAM)	-	Elektrik 0,05 € (est.)	-
<b>İspanya</b>	34-56 €/t	-	Elektrik 0,036€	-
<b>İsveç</b>	21-53 €/t	-	Elektrik 0,03 € Isı 0,02 €	-
<b>İngiltere</b>	69 €-100.000 ton/yıl 47 €-200.000 ton/yıl	-	Elektrik 0,032€	Curüf geri kazanımı Baca gazı kalıntıları 90 €/t

Tablo 5.4'te Avrupa Birliğine Üye Ülkelerdeki yakma tesisleri arasındaki finansal karşılaştırmalar gösterilmiştir. Farklılıklar, maliyetlerin raporlanmasında yada maliyetlerin gerçek yapılarındaki değişikliğin ana dinamikleriyle ilgili farklılıklarından kaynaklanmaktadır.



**Şekil 5.1** Cologne City /Almanya (Evermann, 2017)

Almanya'da bulunan yakma tesisi deneme süresi ile birlikte 36 aylık bir sürede inşaatı tamamlanmış ve 1998 yılında işletmeye alınmıştır. Bu yakma tesisinde 2015 yılında bertaraf edilen atık miktarları ve kapasite bilgileri aşağıdaki gibidir. Yıllık yakma kapasitesi 735.000 ton olan tesiste Belediye ve ticari atık bertaraf edilmiş ve atığın kalorifik değeri 10.000 kJ/kg- (Net enerji tüketimi olmadan); 338 milyon kWh (toplam)- 281 Milyon kWh elektrik-331.000 tonluk buhar üretimi sağlanmıştır (Evermann, 2017).

Evsel atık yakma teknolojisi dünyada en çok kullanılan yöntemlerdir. Yatırım maliyetleri tesisi dizayn eden teknik ekibin kendine has projesine bağlı olarak, tesis boyutu, hava kontrol sistemi, enerji geri kazanım yöntemi ve atığın kalorifik değerine göre değişiklik gösterebilmektedir. İlk yatırım maliyetine ait veriler elde edilirken firmaların ve idarelerin bir takım bilgileri uzun dönemli ve büyük ölçekli yatırımlar için pek paylaşılmadığı ve güvenilir maliyetlerinin alınmasının zor ve birçok belirsizliklerin olduğu literatür taramasında bahsedilmiştir. Ayrıca kamuya sunulan bilgiler teknik açıdan yetersiz olduğu için ilk yatırım maliyetleri içerisinde arazi temini, proje bedelleri, atığın kalorifik değeri gibi kalemleri içerip içermediği belli olmamaktadır. Kesin ve net verilere ulaşamadığından maliyet verilerinin

karşılaştırılmasının biraz problemlili olduğunu göstermektedir. Bu çalışmalarda verilen ilk yatırım maliyetleri içerisinde sadece teknolojinin mi yoksa saha temini ve proje bedellerinin mi dahil olduğu net bilinmemektedir. Yapılan incelemelerde benzer kapasitedeki tesisler için maliyetlerin geniş aralıklarda olduğu bunun nedeni ise tesis dizaynları, hat sayısı ve mimari dokunuşlar önemli birer faktör olarak maliyetleri değiştirmektedir (Tablo 5.5).

**Tablo 5.5** Yakma Tesisleri Yatırım ve İşletme Maliyetleri

Kapasite (1000 ton/yıl)		İlk Yatırım Maliyeti (Milyon €)		Net Elektrik Üretimi (MW)		İşletme Maliyeti (€/ton)	
Orta	Aralık	Orta	Aralık	Orta	Aralık	Orta	Aralık
-	100-115	56	44-62	6	-	-	62-81
150	-	75	62-90	9	-	-	56-62
-	170-200	94	75-112	-	10-12	-	50-56

(Atıktan Enerji Üreten Yakma ve Yakma Olmayan Teknolojilerinin Maliyetleri Londra Belediyesi, 2008)

**Tablo 5.6** Yakma, Gazifikasyon ve Piroliz Teknolojileri Maliyetler

Kütleli Yakma	Maliyetler
İlk Yatırım Maliyeti (Ortanca değer)	775\$/yıllık işleme kapasitesi (ton)+/- %50
İşletme Maliyeti (Ortanca değer)	655\$/ton +/-%50

Tablo 5.5 ve Tablo 5.6'da çok fazla değişkene ve teknolojiye bağlı olarak karmaşık bir yapıya bürünen yapıdan dolayı net giderlerin belirsizliğini koruduğu ve %50 gibi farklılıklar olduğu bilinmektedir.

**Tablo 5.7** Avrupadaki Bazı Evsel Atık Yakma Tesisi Maliyetleri

	TESİS ADI				
	Avi-Amsterdam	Asm Brescia	Trea Bresigau	Tridel Lausanne	Bkb Hannover
Yeri	Amsterdam-Hollanda	Brescia-İtalya	Freiburg-Almanya	Lausanne-İsviçre	Hannover-Almanya
Hat Sayısı	4+2	2+1	1	2	2
Kapasite	1.400.000 t/y	480.000 t/y	132.000 t/y	156.000 t/y	280.000 t/y
Maliyet	450+370 Mil €	175 Mil €	83 Mil €	220 Mil €	100 Mil €
Bertaraf Ücreti	60 €/ton	50-65 €/t	-	114 €/t	-

Tablo 5.7' de bazı ülkelerdeki yakma tesislerinin gerçek yatırım maliyetleri kapasite ve yakma ücretleri ile birlikte verilmiştir. Tesislerin ilk yatırım maliyetleri yapım yılı, kapasite ve bölgelerine göre farklılık göstermiştir.

Bir termal dönüşüm teknolojisi kullanan bir EfW tesisinin maliyet analizini belirlemek oldukça karmaşık bir iştir. Seçilen teknolojinin aşağıdaki kriterleri karşılaması gerekir: belirli bir yer için ölçek uygunluğu, çevresel performansı yerel standartlarla eşleştirmek, bölgenin hedeflerine uygunluk ve pazarlanabilir ürünler üretme kabiliyetinin olması önemli kriterlerdir.

Proje; seçilen teknolojiye ek olarak, enerji (kalorifik değer) ve yerel atık akışının uygun şekilde tahmin edilmesi gereken nem içeriği gibi faktörlerden etkilenir. Bölgeden bölgeye değişen, gerekli operasyon ölçeğinde operasyonel deneyim; örneğin, Avrupa/ABD'deki deneyim Japonya'dakilerden oldukça farklıdır.

Japon teçhizatları, teknoloji, işletme, maliyet, faydalar ve yasal yapı göz önüne alındığında oldukça iyi durumdadır. Japonya, geleneksel ve yeni termal dönüşüm teknolojilerinin geliştirilmesinde ve uygulanmasında lider olarak kabul edilmektedir. 1999 yılına kadar başlıca ve en popüler teknoloji, ızgara tipi yakma olmuştur. 2000 yılında dioksinlere karşı özel önlemler ile ilgili kanun çıkarılarak yakma tesislerinden dioksinlerin salınımının büyük ölçüde azaltılması amaçlanmıştır. Sonuç olarak, 100

üzerinde ısıtma işlemi doğrudan eritme (JFE, Nippon Steel), Ebara akışkanlaştırma işlemi ve Thermosteel gazlaştırma ve eritme işlemi gibi nispeten yeni işlemler geliştirilmiştir. Bu işlemlerin emisyonları geleneksel atık yakma işlemi kadar düşük değil ve aynı zamanda sınırlı arazi mevcudiyeti nedeniyle yasaların talep ettiği miktarda kül üretmektedir. Japonya yılda yaklaşık 65 milyon ton atık üretmekte ve 40 milyon tonu termal olarak işlemektedir. Kalan atıklar geri dönüştürülmekte veya kompost haline getirilmektedir. Ve sadece %2'si düzenli depolama ile bertaraf edilmektedir.

Japonya'da kentsel atıkların bir belediyeden diğerine taşınmasına izin verilmediğinden ızgara yakma tesisleri nispeten küçüktür. Bölgede kentsel atıklar, yerel RDF tesislerinde işlenir ve daha sonra çeşitli bölgelerde hizmet veren merkezi bir enerji tesisine taşınır. Mevzuat ve sınırlı arazi mevcudiyeti nedeniyle yeni teknolojiler Dünyanın diğer bölgelerinde ekonomik olarak elverişli görünmese de Japonya'da kurulmuştur. Bununla birlikte, evsel katık atıkların %84'ü hala ocaklı yakma tesislerinde işlenmektedir (Themelis ve Mussche 2013; Nagayama, 2012).

Rochester, Massachusetts, ABD'deki SEMASS tesisi (RDF tipi proses) 1989'da Energy Answer Corp tarafından geliştirilmiştir. Bu, yılda 0.9 milyon ton kapasiteye sahip en başarılı proseslerden biridir. Atığın verimli bir şekilde yanmasını, kullanılabilir veya geri dönüştürülebilir malzemelerin külden tamamen geri kazanılmasını sağlar. Tasarımın temel amacı "sıfır depolama" gerçekleştirmektir. ABD'de faaliyet gösteren diğer belediye katı atık yakma sistemleri ile karşılaştırıldığında sonuç olarak; en yüksek enerji geri kazanımı, en düşük kül yüzdesi, en yüksek demir geri kazanım oranı, bertaraf gerektiren en düşük tortular, ton başına en düşük sermaye maliyetleri nedeniyle mükemmeldir. Bu tesis, Atıktan Enerjiye Araştırma ve Teknoloji Konseyi (WTERT) 2006 Endüstri Ödülü için 10 finalist arasında sayılmaktaydı. Bu nedenle; kWh elektrik + enerji tonu başına elde edilen kWh ısı cinsinden ve MSW beslemesindeki termal enerji girişinin yüzdesi olarak enerji geri kazanımı, elde edilen emisyon seviyesi, optimum kaynak geri kazanımı ve WtE külünün faydalı kullanımı, tesisin estetik görünümü, ve tesisin toplulukların çoğunluğu tarafından kabul görmesi gibi nedenlerle, dünyanın en iyileri arasında olduğu kabul edildi (Psomopoulos vd., 2009).

<b>Location / Purchaser</b> Kita-Nagoya City, Japan	
<b>Fuel</b> Municipal solid waste	
<b>Capacity</b> 2 x 14 t/h <b>Largest Waste gasification</b>	
<b>Year of Start Up</b> - (awarded at 11 <sup>th</sup> Dec. 2015)	
<b>NSENGI Scope of Supply</b> Full Turn key BTO Operation & Maintenance	

**Şekil 5.2** Kita-Nagoya City, Japan

Bir yerde başarıyla çalışan teknolojiyi, mevcut atıkların kalitesine, miktarına ve diğer özelliklerine uyacak şekilde başka bir yere kurmak için yeniliğe ihtiyaç duyulabilir.

<b>AVI-Amsterdam, Hollanda</b>		
<b>Kuruluş yılı</b>		1994 - 2007
<b>Hat sayısı</b>		4 + 2
<b>Hat başına kapasite</b>		30 ton/saat
<b>Toplam kapasite</b>		1.370.000 ton/yl
<b>Üretilen Elektrik E.</b>		67 MW
<b>Bertaraf Ücreti</b>		60 €/ton

**Şekil 5.3** AVI-Amsterdam, Hollanda

Toplam yakma kapasitesi 1.370.000 olan tesis 6 hattan oluşmaktadır. Tesisin hat başına kapasitesi 30 ton/saattir. Atığın ton başına bertaraf ücreti ise 60 Euro olup saatlik elektrik üretimi 67 megavattır.

	<b>End user</b>	TUAS-SOUTH
	<b>Location</b>	Tuas, Singapore
	<b>Processing object</b>	Municipal solid waste
	<b>Operation since</b>	March, 2000
	<b>Process</b>	Stoker
<b>Ability</b>	4,320 tpd 6 × 720 tpd Power Generation Capacity: 132,600 kW	

**Şekil 5.4** Tuas-Singapur

Singapurda 2000 yılında kurulmuş olan yakma tesisi 6 hattan oluşmakta ve 4.320 ton günlük atık yakma kapasitesine sahiptir.

**Tablo 5.8** Avrupa Ülkelerinde Yakma Teknoloji Uygulama %

Ülkeler	Kullanılma %
Almanya	35
Belçika	42
İsveç	52
Hollanda	49
Avusturya	35
Danimarka	52
Lüksemburg	36
Fransa	33
Finlandiya	34
Birleşik Krallık	17
İrlanda	16
İtalya	20
Estonya	16
Portekiz	20
Çek Cumhuriyeti	20
İspanya	10
Macaristan	9
Slovakya	10
İsviçre	50
Norveç	57
İzlanda	7



Atık yakma teknolojisinin yüzlerce yıl öncesine dayanan geçmişi bulunmaktadır. Yakma Teknolojisi Avrupa'da en sık kullanılan gelişmiş bir atık bertaraf yöntemidir. 2012 yılı % değişimlerine göre Yakma teknolojisinin; Norveç, İsveç, Danimarka, İsviçre, Hollanda, Belçika ve Almanya başta olmak üzere Avrupa ülkelerinde sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Bu teknolojinin uzun yıllardır uygulanıyor olması teknolojiyi uygulayacak yatırımcılar açısından ciddi deneyimler oluşturmaktadır.



## BÖLÜM 6

### SONUÇ VE ÖNERİLER

#### 6.1 Sonuç

Dünya nüfusunun hızla artması ve buna paralel olarak tüketim maddelerinde çeşitliliğinin ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi önemli derecede atık sorunları oluşturmakla birlikte çözüm arayışına zorlamaktadır. Dünyada olduğu gibi Ülkemizde de önemli bir sorun olarak karşımıza çıkan atık problemleri yaygın olarak kullanımı söz konusu olan termal yöntemlerle çözülebilmesi için mevzuat düzenlemeleri yapılmakta ve uygulanabilir bu teknolojilerin hızla yaygınlaşması beklenmektedir. Aynı zamanda atık olarak görülen ve önemli bir ekonomik değere sahip olduğu bilinen evsel nitelikli atıklardan önemli ölçüde yararlanılacağı kaçınılmaz olmaktadır.

Ülkemizde etkin katı atık yönetimi için çalışmalara hız verilmiştir. Bu çalışmalardan biride Sıfır Atık Projesidir. Kamu kurumlarında uygulanmaya başlanan Sıfır Atık Projesi hızla tüm kurum ve kuruluşlarda uygulanmaya devam etmektedir. Sıfır Atık Projesine gösterilen duyarlılık ile birlikte çevre alanında çalışmalar hız kazanmıştır. Atık sorunlarından dolayı ciddi sorunlarla karşı karşıya kalan; uzun kıyı şeridi, tarım arazileri, meraları ve orman arazilerinin tehlike altında olduğu illerden biri de Balıkesir'dir.

Yapılan araştırmada Dünya genelinde 2000'den fazla yakma teknolojisi ile çalışan tesis olduğu öğrenilmiştir. Aynı şekilde Avrupa Birliğine üye ülkelerde de 400 adet yakma tesisinin faaliyette olduğu bilinmektedir.

Dünyada Gazlaştırma ve Piroliz gibi termal teknolojilerin kullanımları incelendiğinde gelişmiş ekonomileri ve güçlü atık toplama stratejilerine rağmen tesislerin sürdürülebilir olmadığı görülmektedir. Dolayısı ile bu iki teknolojinin Ülkemizde karışık evsel atıklara uygulanabilirliği mümkün görülmemektedir. Ancak

ticari atıklar ve ön işleme tabi tutulmuş belirli bir kalorifik değerin üstünde olan homojen içerikli atıklara uygulanabilirliğinin mümkün olacağı düşünülmektedir.

Yakma teknolojisinin çoğunlukla uygulandığı Avrupa ülkelerinde atıkların kalorifik değerinin yüksek olduğu ancak Balıkesir ili evsel atıkları için yapılan laboratuvar çalışmalarında çıkan sonuçlardan atık kalorifik değerlerinin düşük olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmada atık alt kalorifik değerlerinin kış döneminde 930-2657 kcal/kg, yaz döneminde ise 1035-2098 kcal/kg aralığında olduğu gözlenmiş, ağırlıklı ortalamasının ise 1581 kcal/kg olduğu tespit edilmiştir. Atıkların termal işlemler ile bertarafı sonrasında çıkan ısının yeterli derecede enerjiye dönüşümü için atıkların içerisinde bulunan nemin azaltılarak kalorifik değerin artırılması gerekmektedir. Bu amaçla ısıl işlem öncesinde ek yatırımlarla birlikte mekanik veya tam otomatik işleme tesisleri kurularak daha kuru ve homojen bir atık oluşumu sağlanarak atığın kalorifik değeri artırılabilir.

Belediye atıklarından elde edilecek enerji büyük bir öneme sahiptir. Yakma teknolojisi dünyada en çok kullanılan termal bertaraf ve enerji eldesi yöntemi olarak görülmektedir. Bu çalışmada Balıkesir ili evsel katı atıkları için termal bertaraf yöntemlerinden yakma, gazifikasyon ve piroliz incelenmiş ve Balıkesir için uygun termal bertaraf yönteminin yakma teknolojisi olduğu belirlenmiştir. Uygulanacak yakma yönteminde Balıkesir ilinin evsel katı atıklarından elde edilebilecek enerji miktarının hesaplanmasında atığın alt kalorifik değeri tüm mevsimlerde 8 MJ/kg yani yaklaşık 2.000 kcal/kg olacak şekilde belirlenmiştir.

Doğru ve uygulanabilir bir katı atık yönetim modelinin temeli; katı atığı düzensiz bir şekilde şehirden uzaklaştırarak araziye atmak değil, ekonomik bir değer olarak görülmesi sağlanmalı, çevreye ve doğaya uyumlu uygun bertaraf yöntemlerine tabi tutulması hedeflenmelidir.

Balıkesir ili için mevcut düzenli depolama alanı, 20 ilçenin atıklarının taşınması ile birlikte uzun vadede artacak olan atık miktarı için uygun çözüm olmaktan çıkmaktadır. Termal bertaraf teknolojileri oluşan atık sorununu gidermede büyük oranda çözüm getirecektir. Buna karşın termal bertaraf sistemlerinin planlanması detaylı fizibilite çalışmasını zorunlu kılmaktadır. Bu sistemlerin planlanması sırasında gerekli koşullar oluşturulmadığında yüksek mali kayıplara ve çevresel açıdan olumsuz durumlara yola açacağı bilinmesi gerekmektedir.

## 6.2 Öneriler

1. Bölge genelinde milli park, sit alanı, zeytinlik ve mera arazilerinin fazla olmasından dolayı katı atık düzenli depolama sahalarının oluşturulması için yer bulunması oldukça zordur. Bu nedenle günümüzde Balıkesir'de düzenli depolama için yeterli alan olsa da uzun dönemde termal bertaraf teknolojilerinin kullanılması gibi farklı stratejiler geliştirilmesi adına planlamalar yapılabilir.
2. Termal teknolojilerin uygulanmasının önündeki en büyük engel maliyet olmakla beraber, belediyelerin bütçelerinin bulunmadığı, çöp toplama sistemlerinin bu teknolojilerin uygulanması için uygun olmadığı ve atığın birden fazla sahibinin bulunmasından dolayı atık yönetiminin istenilen düzeyde sağlanmadığı belirtilmektedir. Ancak gelişen dünyada olduğu gibi Ülkemizde de bu tür alternatif teknolojilerin uygulanabilmesi için atık mevzuatı güncelleştirilerek bütüncül bir yaklaşımla kamu-özel sektör işbirliği sağlanabilir.
3. Ülkemizde biyokütleden enerji üretimine uygulanan 13.3 dolar-cent/kWh YEKDEM teşvik fiyatı, biyometanizasyon ve yakma/gazlaştırma teknolojilerine de verilmeye başlanmıştır. Ancak termal teknolojiler için özel teşvik şartları konulabilir ve belediyelerde bu tür teknolojilerin uygulanması için güçlü alt yapıların oluşturulması sağlanabilir.
4. Ülkemizdeki biyokütle (çöp gazı dahil) potansiyelini kullanmak isteyen pek çok yatırımcı için YEKDEM mekanizması kapsamında yeni bir pazar oluşmuş durumdadır. Dolayısı ile bu potansiyelin değerlendirilerek uzun vadeli yatırım planlarının yapılması gerekebilir.
5. Diğer bir taraftan yapılacak yatırımların sağlayacağı önemli bir fayda da yaratılacak olan iş gücü olacaktır. Gelişmiş ülkelerde çevre alanında yapılan yatırımlar oldukça fazla istihdam yaratmaktadır. Farklı teknolojiler ülkemizde uygulanarak bu alanda yetişmiş personel değerlendirilebilir.

6. Hem Balıkesir ili hem de Türkiye'deki evsel katı atıkların ortalama kalorifik değerleri toplama sisteminden dolayı düşük seviyelerdedir. Bu nedenle kalorifik değeri artırma yoluna gidilmelidir. Atıktan enerji üretmek için kalorifik değeri artırma yollarından biri olan ikili toplama sisteminin kurularak aktif hale getirilip sonrasında yakma tesislerinin sürdürülebilir ve verimli bir şekilde çalışmalarını sağlanabilir.
7. Çevre Kanunu'nun kirleten öder prensibine dayalı olarak Çevre Temizlik Vergisinde atık yönetimi maliyetlerini kapsayacak düzeyde gelir temini sağlanması için düzenlemeler yapılabilir. Halihazırda uygulanan Çevre Temizlik Vergisinin belediyelerin atık toplama, taşıma ve bertaraf maliyetlerini karşılamadığı görülmektedir. Dolayısı ile belediyelerin veya yatırımcıların günümüz teknolojilerine cevap verecek şekilde yatırımlar yapabilmeleri için söz konusu düzenlemeler yapılabilir.
8. Büyükşehir Belediyelerinde var olan "Su İdareleri" gibi "Katı Atık İdareleri" kurulabilir ve böylelikle bütüncül bir yaklaşım ile atığın tek elden yönetimi mümkün olabilir. Ancak bu şekilde yatırım maliyetlerinin yüksek olduğu entegre katı atık tesisleri kurulabilecek ve sürdürülebilir tesis yatırımları mümkün olabilecektir.
9. Balıkesir ili gibi kentsel atıkların turizm ve bölgesel açıdan farklılık gösterdiği şehirlerde pilot termal tesisler kurulabilir ve Ülkemizde de bu yönde deneyim kazanılabilir.
10. Evsel atıkların termal teknolojilerle bertarafı için özel teşvik mekanizmaları oluşturulabilir ve enerji yatırımcıları için evsel atıklar YEKDEM mekanizması ile ekonomik değeri olan potansiyel bir hammadde olarak daha cazip hale getirilebilir.
11. Yakma tesislerinde işlenmemiş evsel atıkların yakıt olarak kullanılması değişen malzemenin heterojen yapısından dolayı sıkıntılıdır. Yakma için daha homojen bir yakıt üretmek üzere atıklar mekanik biyolojik ön işlem tesislerinde RDF'e işlenebilir.

## KAYNAKÇA

AECOM (2009). Management of Municipal Solid Waste in Metro Vancouver, Project Number: 80563 108052.

Akehata, T. (1998). Energy Recovery. *Macromolecular Symposia*, **135 (12)**, 359-373.

Anonymous (2000). Profile Incineration in Europe, Report Prepared for Juniper for ASSURE.

Aras, P. (2016). Artvin (Merkez) Entegre Katı Atık Yönetimi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ondokuz Mayıs Üniversitesi. Samsun.

Arena, U. (2012). Process Technological Aspects of Municipal Solid Waste Gazification. A Review. *Waste Management*, **32**, 625-639.

Arena, U., Mastellone, M.L., Perugini, F. (2003). The Environmental Performance of Alternative Solid Waste Management Options. *Chemical Engineering Journal*, **96 (1-3)**, 207-222.

Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik. (26.03.2010). Resmi Gazete (Sayı:27533).ErişimAdresi:<http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2010/03/20100326-13.htm>

Azapagic, A., Perdan, S., Clift, R. (2004) Sustainable Development in Practice. John Wiley & Sons Ltd. Chicester, UK.

Bardi, S., Astolfi, A. (2010) Modelling and control of a Waste-to-Energy plant- Waste bed temperature regulation. *IEEE Control Systems Magazine*, **30(6)**, 27-37.

BBB (2016). Entegre Katı Atık Yönetim Planı. Balıkesir

Bontoux, L. (1999). The Incineration of Waste in Europe. Issues and Perspectives. European Commission, Institute For Prospective Technological Studies Seville. Sevilla, EUR18717EN.

Bosmans, A. Vanderreydt I., Geysen, D., Helsen, L. (2013). The Curicial Role of Waste to Energy Technologies in Enhanced Landfill Mining: A Technology Review. *Journal of Cleaner Production*, **5**, 10-23.

BREF (2001). Draft of a German report with basic information for a BREF Document “Waste Incineration”. BREF Report English—FTP Direct Listing.

Bridgwater, A.V. (2012). Review of Fast Pyrolysis of Biomass and Product Upgrading. *Biomass and bioenergy*, **38**, 68-94

Brunner, P.H., Morf, L., Rechberger H. (2004). Thermal Waste Treatment-A necessary Element for Sustainable Waste Management. Twardowska, Allen, Kettrup, Lacy (Eds.), *Solid Waste: Assessment, Monitoring, Remediation*, Elsevier B.Y, Amsterdam, The Netherlands (2004)

Buekens, A., Cenk, K. (2011). Waste Incineration, PVC and Dioxins. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. **13(3)**, 190-197.

Castaldi, M.J., Themelis, N.J. (2010). The case for increasing the global capacity for waste to energy (WtE). *Waste and Biomass Valorization*, **1**, 91–105.

Castaldi, M. J. (2008) Principles and Essential Design Characteristics of Gasification and Anaerobic Digestion Systems for Solid Waste Processing, Waste Conversion Technologies: Theory and Practice. SWANA NYS Chapter.

ÇŞB (2016). Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı, Ankara

CEWEP (2011). Confederation of European Waste-to-Energy Plants. Environmentally Sound Use of Bottom Ash. Düsseldorf. Germany

CH2M Hill (2009). WtE Review of Alternatives. Final report prepared for Regional District of North Okanagan. Canada Ltd. Burnaby, Canada.

Chapman, A.J. (1986). Fundamentals of Heat Transfer. Englewood Cliffs, NJ, Prentice-Hall.

Chen, D., Yin, L., Wang, H., He, P. (2014). Pyrolysis techniques for MSW: A review. *Waste Management*, **34**, 2466–2486.

Cherednichenko, V.S., Anshakov, A.S., Danilenko, A.A., Michajlov, V.E., Faleev, V.A., Kezevich, D.D. (2002). Domestic waste plasma gasification technology and its comparison with ordinary one burning on the final products. *Ecology, Electrotechnology and Waste Process—KORUS 2002*, 211–213.

Consonni, S., Guigliano, M., Grosso, M. (2005) Alternative Strategies for Energy Recovery from Municipal Solid Waste. Part A: Mass and Energy Balances. *Waste Management*, **25**, 123-135.

DEFRA, (2013). Department for Environment, Food & Rural Affairs. Incineration of Municipal Solid Waste. Technical Report. London. UK.

Demirtaş, C., Danışmaz, M., (2016). Gazifikasyon Yöntemiyle Sentez Gazı Üretimi ve Gaz Yakma Sistemlerinde Kullanımı, "3rd International Conference on Computational and Experimental Science and Engineering (ICCESEN-2016)", 2016, Antalya, Türkiye.

Di Gregorio, F., Zaccariello, L. (2012). Fluidized bed gasification of a packaging derived fuel: Energetic, environmental and economic performances comparison for waste-to-energy plants. *Energy*, **42**, 331–341.

Doing, M., (2015) Waste Industry, Ecoprog. GmbH.

Duyan, Ö., Öztürk, A.E., Röben, E. (2017). İdari ve Ticari Binalar için Sıfır Atık Uygulama Rehberi. Ankara.

Evermann, N., (2017). Incineration Plant Construction and Operation Experiences. İstanbul Waste to Energy Conference, İstanbul.

Faaij, A. (2006). Modern biomass conversion technologies. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, **11(2)**, 343-375.

Faulstich, M., Joergens, L. (1999). Incineration of residual waste in industrial processes in Germany. In *Proc Int Conf Solid Waste Technol Manage* (pp. 852-859).

Fleck, E. (2012). Waste Incineration in 21st Century—Energy Efficient and Climate-Friendly Recycling Plant & Pollutant Sink.



- Fushimi, C., Araki, K., Yamaguchi, Y., Tsutsumi, A. (2003). Effect of heating rate on steam gasification of biomass. 1. Reactivity of char. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **42** (17), 3922–3928.
- Galeno, G., Minutillo, M., Perna, A. (2011). From waste to electricity through integrated plasma gasification/fuel cell (IPGFC) system. *International Journal of Hydrogen Energy*, **36**, 1692–1701.
- He, M., Hu, Z., Xiao, B., Li, J., Guo, X., Luo, S., et al. (2009). Hydrogen-rich gas from catalytic steam gasification of municipal solid waste (MSW): Influence of catalyst and temperature on yield and product composition. *International Journal of Hydrogen Energy*, **34** (1), 195–203.
- Helsen, L., Bosmans, A. (2010). Waste-to-Energy through thermochemical processes: matching waste with process. In *Proceedings of the 1st International Academic Symposium on Enhanced Landfill Mining* (pp. 133-180). Haletra; Houthalen-Helchteren.
- Higman, C., Burgt, M.V.D. (2003). Gasification. First edition. Gulf Professional Publishing. New York, NY
- Higman, C., Burgt, M.V.D. (2008). Gasification. 2nd edition. Gulf Professional Publishing. New York, NY
- Hjelmar, O. (1996). Waste Management in Denmark. *Waste Management*, **16** (5/6), 389-394.
- Hoşoğlu, F., (2017). Atık Yönetiminde İstanbul Modeli, İstanbul.
- Howes, P., (2012). Municipal Waste as a Feedstock for Next Generation Biofuels, Presented at FO Lights Conference, Copenhagen, 2012.
- Hunsinger, H. (2010). A new technology for high efficient WtE plants. In: 2ndW2W&I-CIPEC Conference, 27–29 July 2010, Kuala Lumpur, Malaysia.
- IEA Bioenergy, (2009). Integrating Energy Recovery into Solid Waste Management Systems. SP Technical Research Institute of Sweden

Ishikawa, M., Terauchi, M., Komori, T., Yasuraoka, J. (2008) Development of High Efficiency Gas Turbine Combined Cycle Power Plant. *Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Technical Review*. **45 (1)**, 15–17.

ISWA (2006), Management of Bottom Ash from WtE Plants, ISWA-WG Thermal Treatment Subgroup Bottom Ash from WtE-Plants.

Khodakov, A.Y., Chu, W., Fongarland, P. (2007) Advances in the development of novel cobalt Fischer–Tropsch catalysts for synthesis of long-chain hydrocarbons and clean fuels. *ChemInform*. doi:10.1002/chin.200733255.

Kokalj, F., Samec, N. (2013) Combustion of MSW for power production. In: Hoon Kiat Ng (ed.) *Advances in Internal Combustion Engines and Fuel technologies*. InTechOpen. pp. 277–309. ISBN: 978-953-51-1048-4.

Kolb, T., Seifert, H. (2002). Thermal waste treatment: State of the art—a summary. *Waste Management*. Vortrag. Düsseldorf, Germany.

Kreith, F. (1959). *Principles of Heat Transfer*. International Text Book Co. Scranton, PA.

Kwant, K. W., Knoef, H. (2004). Status of gasification in countries participating in the IEA and gasnet activity, August 2004. *IEA Bioenergy Gasification*, EU Gasification Network. Netherlands

Ladwig, M., Lindvall, K.&Conzelman, R. (2007) The realised gas turbine process with sequential combustion: Experience, state of development, prospects. *VGB Powertech*, **87 (10)**, 30–35.

Lawrence, A.R. (1998) Energy from MSW: A comparison with coal combustion technology. *Progress in Energy and Combustion Science*, **24 (6)**, 545–564.

Luo, S.Y., Xiao, B., Hu, Z.Q., Liu, S.M., Guan, Y.W., Cai, L. (2010) Influence of particle size on pyrolysis and gasification of MSW in a fixed bed reactor. *Bioresource Technology*, **101**, 6517–6520.

McKay, G. (2002). Dioxin Characterization, Formation and Minimization During Municipal Solid Waste Incineration: A Review. *Chemical Engineering Journal*, **86**, 343-368.

- Miller, J. (2011). Waste-to-Energy in U.S. in 2010. Office of RCR, US EPA.
- Moustakas, K., Loizidou, M. (2010). Solid waste management through the application of thermal methods. *Waste Management*. IntechOpen. Athens, Greece.
- Moy, P., Krishnan, N., Ulloa, P., Cohen, S., Brandt-Rauf, P.W. (2008). Options for management of MSW in New York City: A preliminary comparison of health risks and policy implications. *Journal of Environmental Management*, **87**, 73–79.
- Nagayama, S. (2010). High Energy Efficiency Thermal WtE Plant for MSW Recycling—JFE High- Temperature Gasifying and Direct Melting Furnace. Nagayama.pdf. JFE Engineering corp. Yokohama, Japan
- Ngo, D. H., I. Wijesekara, T.S. Vo, Q. V. Ta, S. K. Kim. 2011. Marine Food Derived Functional Ingredients as Potential Antioxidants in The Food Industry: An Overview. *Food Research International*. **44**:523-529
- Niessen, W.R. (2002). Combustion and Incineration Processes: Applications in Environmental Engineering. 3rd edition. Marcel Dekker Inc. New York, NY.
- Nipathummakkul, N., Ahmed, I., Kerdsuwan, S., Gupta, A.K. (2010). High-temperature steam gasification of waste water sludge. *Applied Energy*, **8 (12)**, 3729–3734.
- Nugent, N., Rhinard M., (2015). The European Commission, Second Edition. Macmillan International Higher Education. London UK.
- Oxtoby, D.W. (2002). Principles of Modern Chemistry. 5th edition. Thomson Brooks/Cole. ISBN: 0-03-035373-4.
- Öztürk, İ. (2010). Katı Atık Yönetim ve AB Uygulamaları. İSTAÇ A.Ş. Teknik Kitaplar Serisi 2, İstanbul.
- Porteous A., (2005) Why Energy From Waste Incineration is an Essential Component of Environmentally Responsible Waste Management. *Waste Management*, **25**, 451-459.
- Price, B. (1996) Energy from Waste, London, UK, FT Energy.

Psomopoulos, C.S., Bourka, A., & Themelis, N.J., (2009). Waste-To-Energy: A Review of the Status and Benefits in USA. *Waste Management*, **29**, 1718-1724.

Puig-Arnabat, M., Carles Bruno, J., and Cronas, A., (2010). Review and Analysis of Biomass Gasification Models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **14**, 2481-2851.

Quina, M.J., Bordado, J.C.M. & Quinta-Ferreira, R.M. (2008a) Treatment and use of air pollution control residues from Municipal Solid Waste incineration: An overview. *Waste Management*, **28**, 2097–2121.

Quina, M.J., Santos, R.C., Bordado, J.C.M., Quinta-Ferreira, R.M. (2008b). Characterisation of air pollution control residues produced in a municipal solid waste incinerator in Portugal. *Journal of Hazardous Materials*, **152**, 853–869.

Rand, T., Haukohl, J., Marxen, U., (2000). Municipal Solid Waste Incineration - The World Bank, (Report Number: WTP462).

Rechberger, H., Schöller, G. (2006). Comparison of relevant air emissions from selected combustion technologies. In *Project CAST. CEWEP–Congress, Waste-to-Energy in European Policy*. **18**: 75-86.

Reddy, P., (2016). Energy Recovery from Municipal Solid Waste by Thermal Conversion Technologies. CRC Press. Leiden, Netherlands

Renosam and Rambol, (2006). Waste To Energy in Denmark – The most Efficient Waste Management System in Europa.

Rezaiyan, J., Cheremisinoff, N.P. (2005). Gasification Technologies: A Primer for Engineers and Scientists. CRC Press. Boca Raton, FL.

RTI International (2012). Environmental and Economic Analysis of Emerging Plastic Conversion Technologies, Final Project Report. Prepared for American Chemical Council, RTI project No. 0212876.000.

Rylander, H. (1997). The Evolution of WtE Utilization-The European Perspectives.

Sansaniwal, S.K., Pal. K., Rosen. M.A., Tyagi, S.K., (2017). Recent advances in the development of biomass gasification technology: A comprehensive review.

Siedlecki, M., Jong, de W., (2011). Biomass Gasification As the First Hot Step in Clean Syngas Production Process- Gas Quality Optimization and Primary Tar Reduction Measures in a 100 Kw Thermal Input Steam – Oxygen Blown CFB Gasifier.

Technologies: Theory and Practice. SWANA NYS Chapter.

Themelis, N.J., Mussche, C. (2014). Energy and Economic Value of MSW, Including Non Recycled Plastic, Currently Landfilled in the Fifty States.

URL-1 [www.balikesir.gov.tr](http://www.balikesir.gov.tr) Erişim Tarihi: 02.01.2019

URL-2 [www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr) Erişim Tarihi:04.01.2019

Van Wylen, G.J., Sonntag, R.E., Borgnakke, C. (1994). Fundamentals of Classical Thermodynamics. 4th edition. Wiley. New York, NY.

Vehlow, J. (1996). MSW Management in Germany. *Waste Management*, **16**, 5-6, 367-374.

Vehlow, J. (2015). Air pollution control systems in WtE units: An overview. *Waste Management*, **37**, 58–74.

Velzy, C.O, and Grillo, L.M (2007): Waste-to-Energy Combustion, Hand-book of Energy efficiency and renewable Energy, Taylor- Francis group, 2007.

Widjaya, E.R., Chen, G., Bowtell, L., Hills, C., (2018). Gasification Of Non-Woody Biomass: A Literature Review.

Williams, P. (2005). Waste Treatment and Disposal. 2nd edition. John Wiley & Sons Inc. Chichester, UK,

World Bank (1999). Municipal Solid Waste Incineration. World Bank Technical Guidance Report Washington, DC.

WSP (2013). Review of State-of-the-Art Waste-to-Energy Technologies, Stage 2— Case Studies. Prepared by Kevin Whiting, WSP Environmental Ltd, WSP House, London, UK.

Wu, J., Chen, T., Luo, X., Han, D., Wang, Z., Wu, J. (2014). TG/FTIR analysis on co-pyrolysis behavior of PE, PVC and PS. *Waste Management*, **34**, 676–682.

Young, G.C. (2010). Municipal Solid Waste to Energy Conversion Process. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY.



## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı ve Soyadı : Mustafa Yılmaz  
Uyruğu : T.C.  
Doğum yeri ve Tarihi : 25.03.1974  
Evlilik Durumu : Evli  
Telefon : 532 7427205  
Email : mustafayilmaz23@hotmail.com

### EĞİTİM BİLGİLERİ

Mezun Olduğu Okul	Mezuniyet Yılı
Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü	1997
Elazığ Merkez Endüstri Meslek Lisesi Motor Bölümü	1990

### İŞ TECRÜBESİ

#### Görevi

2017- Halen	Balıkesir Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı Daire Başkanı
2017-2018	Kent Estetiği Dairesi Başkanlığı Daire Başkanı
2014- Halen	A Sınıfı İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanı
2007-2017	Gaziantep Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı Atık Yönetimi Şube Müdürü  Zabıta Dairesi Başkanlığı Çevre Kontrol ve Yapı Şube Müdürü

### YABANCI DİL BİLGİSİ

İngilizce

Sayı : 89486837-805.02.02.02-E.222/11329

01.07.2019

Konu : Uygunluk Görüşü Talebi

**Sayın Mustafa YILMAZ**

**BAHÇELİEVLER Mah. 7\_CUMHURİYET Cad. Kapı : 27/1 Daire : 2**  
**ALTIEYLÜL BALIKESİR**

İlgi : 24.05.2019 tarih ve 699 sayılı dilekçeniz.

İlgi yazıda; Hasan Kalyoncu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Bilimleri ve Enerji Yönetimi Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans yapmakta ve hazırlamakta olduğunuz "Balıkesir Üi Evse" Katı Atıklarının Bertarafında Uygun Termal Yöntemin Seçilincisi " konulu Yüksek Lisans Tez Çalışması kapsamında Balıkesir Entegre Katı Atık Yönetim Planının kullanılması istenmektedir.

Çevre Koruma ve Kontrol Dairesi Başkanlığı tarafından hazırlanan Balıkesir Entegre Katı Atık Yönetim Planının Tez çalışmasında kullanılmasında sakınca bulunmamaktadır.

Bilgilerinize rica ederim

**Velibi YÖRÜK**  
Çevre Kor. ve Kont. D. Bşk.

Bu evrakın 5070 Sayılı Kanun Gereğince E-İMZA ile imzalandığı tasdik olunur. 01/07/2019	
ADI SOYADI	FERİDUN ÇETİCİ
İmzası	
Ünvanı	Genel Evrak

Bu belge 5070 sayılı elektronik imza kanuna göre güvenli elektronik imza ile imzalanmıştır.  
http://e-balevedive.balikesir.bel.tr/izrs/ adresinden doğrulama Kodu : 77880047 Belg. No:  
89486837-805.02.02.02-E.222/11329 ile doğrulayabilirsiniz.

