



**T. C.**

**ORDU ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EVSEL KATI ATIKLARDAN ATIKTAN TÜRETİLMİŞ YAKIT  
ELDE EDİLMESİ VE SANAYİ TESİSLERİNDE KULLANIMININ  
ENERJİ TASARRUFUNA ETKİLERİ**

**RESUL YAZICI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI**

**ORDU 2019**

**T.C.**  
**ORDU ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI**

**EVSEL KATI ATIKLARDAN ATIKTAN TÜRETİLMİŞ YAKIT  
ELDE EDİLMESİ VE SANAYİ TESİSLERİNDE  
KULLANIMININ ENERJİ TASARRUFUNA ETKİLERİ**

**RESUL YAZICI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ORDU 2019**

## TEZ ONAY

Resul YAZICI tarafından hazırlanan “EVSEL KATI ATIKLARDAN ATIKTAN TÜRETİLMİŞ YAKIT ELDE EDİLMESİ VE SANAYİ TESİSLERİNDE KULLANIMININ ENERJİ TASARRUFUNA ETKİLERİ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 17.07.2019 tarihinde yapılmış ve jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Ordu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü YENİLENEBİLİR ENERJİ YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Sami GÜLER  
Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü  
Ordu Üniversitesi

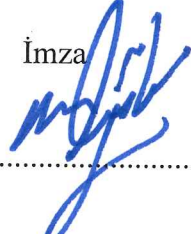
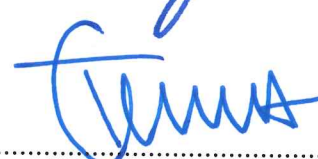
Jüri Üyeleri

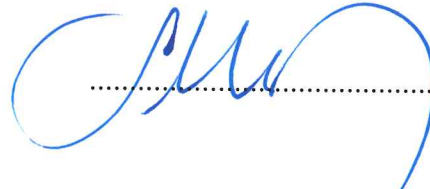
Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Sami GÜLER  
Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü  
Ordu Üniversitesi

Üye  
Prof. Dr. Tahsin TONKAZ  
Biyosistem Mühendisliği  
Ordu Üniversitesi

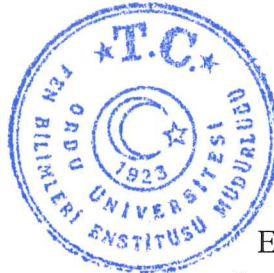
Üye  
Dr. Öğr. Üyesi Selçuk ATASOY  
Makine Mühendisliği  
Giresun Üniversitesi

İmza

  
.....  
  
.....

  
.....

06 / 09 / 2019 tarihinde enstitüye teslim edilen bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 06 / 09 / 2019 tarih ve 2019. / 574 sayılı kararı ile onaylanmıştır.





Enstitü Müdürü

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Sami GÜLER

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan ve kullanılan intihal tespit programının sonuçlarına göre; bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

  
RESUL YAZICI

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

### EVSEL KATI ATIKLARDAN ATIKTAN TÜRETİLMİŞ YAKIT ELDE EDİLMESİ VE SANAYİ TESİSLERİNDE KULLANIMININ ENERJİ TASARRUFUNA ETKİLERİ

RESUL YAZICI

ORDU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YENİLENEBİLİR ENERJİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ, 34 SAYFA

TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ MEHMET SAMİ GÜLER

Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY), katı atıklardan uygun yöntemlerle elde edilen ve ısıl değeri olan bir atık türüdür. Katı atıkların özellikle ısıl değere sahip olan fraksiyonu hacimsel olarak yüksek oranda yer tuttuğundan, bunların ek yakıt olarak kullanımı depolamaya gönderilecek atık miktarında ve bunlara bağlı olumsuz çevresel faktörlerin ciddi oranda azalmasına imkân tanımaktadır.

Evsel katı atıkların ATY olarak kullanımı yaşanan olumsuzluklardan dolayı bu alanda üretimin yaygınlaşmasına engel olmaktadır. Ülkemizdeki gelişmiş çimento sanayinin, ülkemizin başlıca sorunlarından olan katı atık bertarafındaki potansiyelinin kullanılması gerekmektedir. ATY üretimi ve kullanımının bu çerçevede yeniden ele alınarak şekillendirilmesi ve standardize edilmesi gerekmektedir. Bunun sağlanması için Mekanik Ayırma Tesisleri ve Atıktan Türetilmiş Yakıt Tesislerinin entegre olarak kurulması sağlanmalıdır.

Bu çalışmada, öncelikle mekanik ayırma tesisleri ile birlikte ATY üretiminin teknikleri incelenmiş, sürdürülebilir yapıda bir ATY üretim şeması oluşturulmuş ve Ordu iline ait yapılan çalışmalar örnek gösterilmiştir. Ayrıca çimento sektöründe evsel katı atıklardan ATY üretilip kullanılmasının fosil yakıtlara olan potansiyel ikame etkisi modellenerek analizi yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Mekanik Ayırma Tesisi, Atıktan Türetilmiş Yakıt Tesisi, ATY, Çimento Endüstrisi, Evsel Katı Atık, Atık Karakterizasyonu.

## **ABSTRACT**

### **REFUSE DERIVED FUEL PRODUCTION FROM MUNICIPAL SOLID WASTE AND THE EFFECTS OF ITS USAGE IN INDUSTRIAL FACILITIES ON ENERGY CONSERVATION**

**RESUL YAZICI**

**ORDU UNIVERSITY INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**RENEWABLE ENERGY**

**MASTER THESIS, 34 PAGES**

**SUPERVISOR: ASST. PROF. MEHMET SAMİ GÜLER**

Refuse Derived Fuel (RDF) is a type of waste that is produced from solid wastes by suitable methods and has a thermal value. Since the fraction of solid wastes, which have a thermal value, is volumetrically high, their use as additional fuel allows a significant reduction in the amount of waste to be sent to storage and negative environmental factors.

The use of municipal solid wastes as RDF prevents the spread of production in this area due to the specific problems. The potential of the developed cement industry in our country, which is one of the main problems of our country in solid waste disposal, should be utilized. The production and use of RDF needs to be revised, shaped and standardized. In order to achieve this, it should be ensured that Mechanical Separation Plants and Waste Derived Fuel Plants are integrated.

In this study, firstly the techniques of RDF production together with mechanical separation plants are examined, a sustainable RDF production scheme is formed and the studies carried out in Ordu are shown as examples. In addition, the potential substitution effect of the production and use of RDF from municipal solid wastes in the cement sector on fossil fuels was modeled and analyzed.

**Keywords:** Mechanical Separation Plant, Refuse Derived Fuel Plant, RDF, Cement Industry, Municipal Solid Waste, Characterization of Wastes.

## TEŐEKKÖR

Tez konumun belirlenmesi, çalıőmanın yűrűtűlmesi ve yazımı esnasında baőta danıőman hocam Sayın Dr. Őđr. Őyesi Mehmet Sami Gűler'e ve tez yazım aőamasında desteklerini esirgemeyen Sayın Őzeyir Akyazı'ya teőekkűr ederim.

Aynı zamanda, manevi desteklerini her an űzerimde hissettiđim babam, annem, kardeőim ve eőim Filiz Yazıcı'ya teőekkűrű bir borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>TEZ BİLDİRİMİ</b> .....	I
<b>ÖZET</b> .....	II
<b>ABSTRACT</b> .....	III
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	IV
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	V
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	VI
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	VII
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ</b> .....	VIII
<b>EKLER LİSTESİ</b> .....	IX
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. EVSEL KATI ATIKLAR</b> .....	3
2.1. Ulusal Mevzuat .....	3
<b>3. ATIKTAN TÜRETİLMİŞ YAKIT</b> .....	4
3.1. Atıktan Türetilmiş Yakıtın Yanması .....	5
3.2. ATY'nin Biyolojik İçeriğinin Değerlendirilmesi.....	6
<b>4. ATIK KARAKTERİZASYONU</b> .....	7
<b>4.1. MEKANİK İŞLEMLER</b> .....	8
4.1.1. Mekanik Ayırma Tesisleri ve ATY Tesisleri.....	9
<b>5. SANAYİ TESİSLERİNDE ATY KULLANIMI</b> .....	10
5.1. Türk Çimento Sektörü Pozisyonu .....	10
5.2. Çimento Endüstrisinde Atıktan Türetilmiş Yakıt Kalitesi .....	11
5.3. Çimento Üretim İş Akış Şeması ve Proses Özeti .....	12
5.4. Çimento Üretiminde Kullanılan Yakıt Türleri .....	13
<b>6. MATARYEL ve YÖNTEM</b> .....	14
6.1. Örnek Atık Karakterizasyonu Verileri .....	14
6.2. Makineler .....	16
6.2.1. Poşet Açma Makinesi.....	16
6.2.2. Döner Elek.....	17
6.2.3. Balistik Ayırıcı .....	17
6.2.4. Parmak (Sarsak) Elek .....	18
6.2.5. Elektromanyetik Ayırıcı .....	18
6.2.6. Eddy Akımlı Ayırıcı .....	18
6.2.7. Optik Ayırıcı .....	19
6.2.8. Primer (Ön) Kırıcı .....	19
6.2.9. Havalı Ayırıcı .....	19
6.2.10. Sekonder (İnce) Kırıcı .....	20
<b>7. BULGULAR ve TARTIŞMA</b> .....	20
7.1. Örnek Akış Şeması ve Akış Şemasının Değerlendirilmesi.....	20
7.2. Evsel Katı Atıklardan Üretilmiş ATY'nin Fosil Yakıtları İkame Oranları....	24
<b>8. SONUÇ ve ÖNERİLER</b> .....	27
<b>9. KAYNAKLAR</b> .....	29
<b>EKLER</b> .....	30
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	34



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1 Belediye Atığının İşleme Yöntemleri Dağılımı.....	2
Şekil 5.1 ATY Tesisinden Çıkan Kurutulmaya Hazır ATY Örneği.....	11
Şekil 6.1 15 bölgeden alınan (3 ara bölge dahil) Evsel Atıkların Ortalama Bileşimi 15	
Şekil 7.1 Balistik Ayırıcının Üç Boyutlu Hattından Çıkan Malzeme Örneği .....	22
Şekil 7.2 Balistik Ayırıcının İki Boyutlu Hattından Çıkan Malzeme Örneği.....	24



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 3.1 ATY Hazırlama Tesislerinde Hazırlanacak Yakıtın Özellikleri.....	5
Çizelge 3.2 ATY'nin Biyojenik İçeriğini Değerlendirmek İçin Hesaplama Modeli ...	6
Çizelge 5.1 Farklı Besleme Noktalarında ATY'nin Genel Gereksinimleri.....	12
Çizelge 5.2 Çeşitli Yakıtların Isıl Değerleri .....	13
Çizelge 6.1 Evsel Atıklarda Tespit Edilen Yanıcı Madde Yüzdeleri ve Nihai ATY Ürününde Hesaplanan Yanıcı Madde Yüzdeleri.....	14
Çizelge 6.2 ATY'nin Kuruduktan Sonra Net Kalorifik Değeri .....	16
Çizelge 7.1 Ordu'ya Ait Toplam Atık ve ATY Miktarı .....	25
Çizelge 7.2 Kurutmadan Sonra Toplam Yıllık ATY Miktarı .....	25
Çizelge 7.3 Örnek Fırın Hattının Temel Bilgileri.....	25
Çizelge 7.4 ATY İkamesi Sonucu Oluşturulan Örnek Senaryo .....	26

## SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

---

<b>AB</b>	: Avrupa Birliği
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	: Alüminyum Oksit
<b>ar</b>	: Ulaştığı Anda
<b>Ø</b>	: Çap
<b>ATY</b>	: Atıktan Türetilmiş Yakıt
<b>C</b>	: Karbon
<b>CaO</b>	: Kalsiyum Oksit
<b>Cl</b>	: Klor
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbon Dioksit
<b>dm</b>	: Kuru Madde
<b>F</b>	: Flor
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	: Demir (III) Oksit
<b>Gcal</b>	: Gigakalori
<b>GCV</b>	: Üst Isıl Değer
<b>H</b>	: Hidrojen
<b>HDPE</b>	: Yüksek Yoğunluklu Polietilen
<b>Hg</b>	: Cıva
<b>İSTAC</b>	: İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi
<b>K<sub>2</sub>O</b>	: Potasyum Oksit
<b>kcal</b>	: Kilokalori
<b>kg</b>	: Kilogram
<b>LPG</b>	: Likit Petrol Gaz
<b>MAK</b>	: Mekanik Ayırma Tesisi
<b>MgO</b>	: Magnezyum Oksit
<b>µg</b>	: Mikrogram
<b>mg</b>	: Miligram
<b>MJ</b>	: Mega Joule
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	: Sodyum Oksit
<b>NCV</b>	: Net Isıl Değer
<b>PCB</b>	: Poliklorinat Bifenil
<b>PE</b>	: Polietilen
<b>PET</b>	: Polietilen Teraftalat
<b>PP</b>	: Polipropilen
<b>ppm</b>	: Milyonda Bir
<b>S</b>	: Kükürt
<b>SiO<sub>2</sub></b>	: Silikon Dioksit
<b>SO<sub>3</sub></b>	: Kükürt Trioksit
<b>SO<sub>4</sub></b>	: Sülfat
<b>TÜİK</b>	: Türkiye İstatistik Kurumu

---

## EKLER LİSTESİ

### Sayfa

<b>EK 1:</b> Mekanik Ayırma Tesisi ve ATY Tesisi Örnek Akış Şeması .....	31
<b>EK 2:</b> Çimento Üretimi Şeması .....	32
<b>EK 3:</b> Tüm Laboratuvar Örneklerinden Elde Edilen Yanıcı Fraksiyonların Ortalama Analiz Verileri ve ATY'nin Hesaplanmış Analiz Verileri .....	33



## 1. GİRİŞ

En basit haliyle atık şu şekilde tanımlanır:

Atık, sahibinin atmak istediği marjinal değeri olmayan veya tamamen değersiz olan gereksiz ürün veya malzeme, artıktır (Akca ve Demir, 2017).

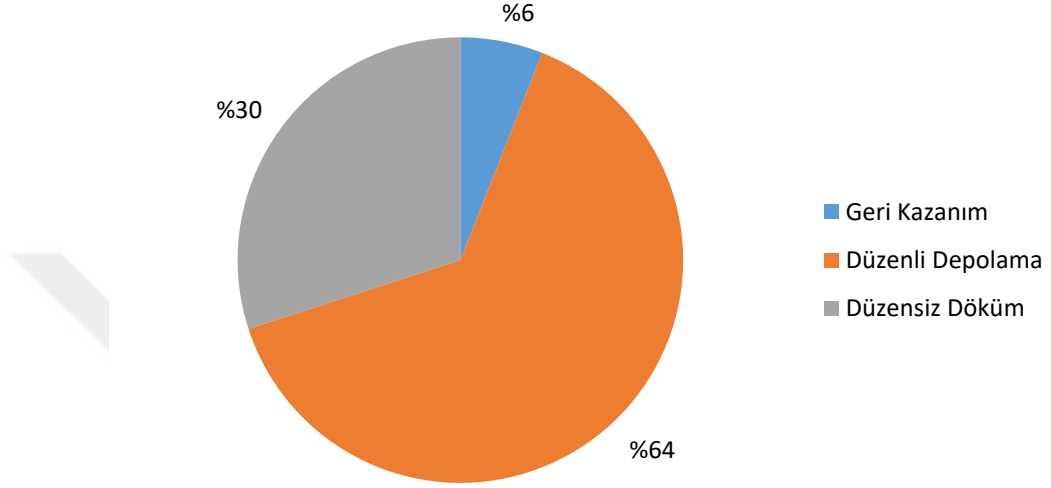
Şehirleşmenin, nüfusun, sanayileşmenin ve tüketimin hızlı bir şekilde artmasıyla birlikte evsel ve endüstriyel atıkların oluşturduğu katı atık miktarı da her geçen gün artmaktadır. Katı atık miktarı ve içeriği bölgelerin mevsimsel farklılıkları ve yaşam standartlarının değişmesinden oldukça etkilenmektedir (Genç, 2013). Bu durum; karışık toplanan evsel katı atıkların bertaraf edilmesi için belirgin bir bertaraf yöntemi ve atık işleme tesisleri için akış şeması seçilmesini zorlaştırmaktadır. Son yıllarda Avrupa ülkeleri, atık bertaraf yöntemlerinden daha çok kaynağında ayrıştırma ve önleyici tedbirler almaya odaklanmıştır. Ülkemizde de aynı durum geçerli olmakla birlikte bu geçiş sürecinde bertaraf yöntemlerinin sistematik olarak geliştirilmesi ve en doğru atık bertaraf tesislerinin hızla kurulması önem arz etmektedir.

Tarihi olarak, atık yönetimindeki iki ana kriter sağlık ve emniyettir (Öztürk, 2015). Bu iki unsur; halkın, çevrenin ve doğal kaynakların sürdürülebilir bir planla korunmasıyla sağlanabilir. Sürdürülebilir bir atık yönetim planı ekonomik kalkınmayı da beraberinde getirecektir.

Atık yönetimi yönetmeliği gereği; büyükşehir belediyeleri, büyükşehir ilçe belediyeleri, il, ilçe ve belde belediyeleri; atık işleme tesislerini kurmak/kurdurmakla, işletmek/işlettirmekle sorumludur. Bu nedenle düşük maliyetli, uygulanabilir ve ekonomik kazanç sağlayacak verimli çözümlerin kullanılarak bu tesislerin kurulması gerekmektedir.

Depolama sahalarının kendi çevresini etkileme potansiyeline sahip olması, uygun depolama alanlarının özellikle bazı bölgelerde sosyal ve fiziki şartlardan dolayı bulunamaması, depolama sahalarının hızla dolması, ağır işletme maliyetleri bir bertaraf yöntemi olarak depolama sahalarının seçilmesini oldukça zorlaştırmaktadır. Bu nedenle alternatif bertaraf yöntemi olarak yakma işleminin seçilmesi en uygun ve verimli işlem olarak akla gelmektedir.

Atıkların mekanik olarak ayrılarak ekonomik değeri olan malzemelerin geri kazandırılması ve ısı değeri yüksek bölümünün alternatif yakıt olarak kullanılması; atıkların değerlendirilmesi ve enerjinin geri kazandırılmasını sağlayan bir yöntemdir. Bu açıdan, çimento sanayisi atıkların bertaraf edilmesi konusunda önemli rol oynamaktadır.



**Şekil 1.1** Belediye Atığının İşleme Yöntemleri Dağılımı (Anonim, 2017a)

Atıkların çimento fabrikalarında, enerji üretiminde kullanılması sonucu yan ürünler ortaya çıkmaktadır. Çimento fabrikalarında, yanmadan sonra ortaya çıkan kül, yarı mamul olan klinker bünyesine katılmakta; katkının son ürün olan çimento üzerinde herhangi bir negatif etkisi bulunmamaktadır. Arazide depolanması gerekecek herhangi bir kül/cüruf atığı oluşmamaktadır. Bu anlamda çimento fabrikalarındaki atık bertaraf işlemleri bu soruna daha etkin bir çözüm getirmektedir. Bu tesislerde toz halinde kömür ve petrokok, fueloil ve doğal gaz yakılmaktadır. Bu yakıtların ana kül bileşenleri silis ve alümin bileşikleridir. Bunlar ham maddelerle birleşir ve klinkerin bir parçasını oluşturur (Apay ve ark., 2011).

Çimento sanayinde atıkların birlikte işlenmesi, yenilenemeyen malzemelerin azami ölçüde ikamesini sağlamaktadır. Temel kural olarak, alternatif yakıt / hammadde olarak kabul edilen atıklar, organik kısmın ısı değeri olarak veya mineral kısmın malzeme değeri olarak çimento fırınlarında katma değerde bulunmalıdır. Bazı alternatif malzemeler her iki gereksinimi de karşılamıştır. (Apay ve ark., 2011).

Türkiye’de, atıkların geri kazanımında yüksek verimle çalışan Ordu Mekanik Ayırma Tesisi ve Ünye Çimento Fabrikasına ait Atıktan Türetilmiş Yakıt Tesisi bu çalışmada örnek olarak gösterilmiştir.

## **2. EVSEL KATI ATIKLAR**

Evsel Atık evde üretilen sıradan ya da aslında günlük faaliyetlerden kaynaklanan atıktır. Bu gıda veya mutfak atıkları, ambalaj, içecek kapları, gazeteler, dergiler, reklamlar, çocuk bezi ve hijyenik pedler, posta, çiçekler, kırık ev eşyaları ve oyuncaklar, küçük elektronik atıklar, eski giyim ve benzeri gibi atıkları kapsar (Akca ve Demir, 2017).

Tüm bu atıklar kaynağında ayrıştırma veya mekanik ayrıştırma ile geri dönüştürülerek, ısı değeri ya da biyolojik muhteviyatından faydalanılması yoluyla ekonomiye geri kazandırılabilir. Ülkemizde atıkların çoğunlukla karışık olarak toplanması; geri kazanma oranının düşmesine, yüksek maliyetli proseslerin oluşmasına neden olmaktadır.

Evsel katı atıkların bertarafı, politik, yasal, sosyo-kültürel, çevresel ve ekonomik nedenlerden etkilenen büyük bir teknik sorundur. Bu nedenle, katı atık miktarını azaltmak için, bazı yeni yöntemler uygulanmalıdır.

### **2.1. Ulusal Mevzuat**

Belediyeler, evsel ve evsel nitelikli endüstriyel katı atıkların çevreye zarar vermeden bertarafını sağlamak, çevre kirliliğini azaltmak, katı atık depo sahalarından azami istifade etmek ve ekonomiye katkıda bulunmak amacıyla, evsel katı atıklar içindeki değerlendirilebilir katı atıkları sınıflandırarak ayrı toplamak ve bunlarla ilgili tedbirleri almakla yükümlüdürler.

Türkiye’de katı atık yönetimi ile ilgili, AB Atık Çerçeve Direktifinin muadili Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik 05.07.2008’de yürürlüğe girmiştir.

Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmeliğin amacı; atıkların oluşumlarından bertarafına kadar çevre ve insan sağlığına zarar vermeden yönetimlerinin sağlanmasına yönelik genel esasların belirlenmesidir. Atık üretiminin kaçınılmaz olduğu konularda geri dönüşüm, tekrar kullanım ve ikincil hammadde elde etme amaçlı diğer işlemler ile atığın geri kazanılması veya enerji kaynağı olarak

kullanılması esas olduğu belirtilmektedir. Bunun dışında atığın uygun yöntem ve teknolojiler kullanılarak bertaraf edilmesi zorunlu kılınmaktadır (Öztürk, 2015).

### 3. ATIKTAN TÜRETİLMİŞ YAKIT

Atıktan türetilmiş yakıt (ATY), Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği'nde bulunan Ek-3'te verilen özelliklere uygun, maddesel geri dönüşümü ekonomik olmayan ambalaj atıkları, belediye atıkları ve sanayiden kaynaklanan atıklardan üretilen yakma veya beraber yakma tesislerinde kullanılabilen atıktan türetilmiş yakıtı ifade etmektedir.

ATY, evsel katı atıkları içerisinde kaloritik değeri düşük olan (organik muhtevası yüksek mutfak atıkları gibi) malzemenin mekanik yolla ayıklanıp, kalan kaloritik değeri yüksek (poşet, plastik, kağıt vb) malzemelerden elde edilen bir yakıttır. ATY geleneksel birincil yakıtlara göre daha ucuz bir yakıt olup, kaloritik değeri mekanik işlemin verimliliğine göre 4000 kcal/kg üzerine çıkabilir. Evsel katı atıkların, ticari ve endüstriyel atıkların birlikte işlenerek hazırlanmış olduğu yakıtlarda genel olarak ATY tanımı kapsamına girmektedir. Çizelge 3.1'de ATY hazırlama tesislerinde hazırlanacak yakıtın özellikleri verilmiştir. İlgili mevzuatta bulunan bu sınırlamalar ATY üretiminin verimli, ekonomik, çevreye duyarlı ve sürdürülebilir olarak yapılabilmesi için gereklidir.

Türkiye'deki ATY tesis sayısı 23'tür. Aynı zamanda "Atıktan Türetilmiş Yakıt, Ek Yakıt ve Alternatif Hammadde Tebliği" 'ne göre atıklar parça boyu, kaloritik değeri, metal içeriği gibi önemli parametrelerine göre atıktan türetilmiş yakıt hazırlama (ATY) tesislerinde işlenmektedir. ATY hazırlama tesislerinde hazırlanan atıklar, ek yakıt olarak değerlendirilmek üzere çimento fabrikalarına gönderilmektedir. 2014 yılı içerisinde (R12) kodu ile işlem gören atık miktarı 273595 tondur (Anonim, 2017a).

85854 ton tehlikeli atık R1 (enerji üretimi amacıyla başlıca yakıt olarak veya başka şekillerde kullanma) kodu ile çimento fabrikalarında değerlendirilmektedir. Türkiye genelinde bulunan 71 adet çimento fabrikasından 35'i (%49) ek yakıt ve alternatif hammadde kullanımına yönelik lisans almıştır. Bunun yanı sıra Ege Bölgesi'nde bulunan kireç fabrikasında da beraber yakma kapsamında atık bertarafı yapılmaktadır. (Anonim, 2017a).



Avrupa'dan örnek verilecek olursa Alman çimento tesisleri, ortalama olarak termal ısı taleplerinin yaklaşık %63'ünü ATY kullanarak karşılamaktadır (Anonim, 2017b).

**Çizelge 3.1** ATY Hazırlama Tesislerinde Hazırlanacak Yakıtın Özellikleri (Anonim, 2014)

<b>Parametre</b>	<b>Sınır Değer</b>
Kalorifik Değer, kcal/kg	>2.500
Tane Boyutu, mm	<50
Nem Oranı, %	<35
Klor İçeriği, %	<1
Hg, µg/MJ	<330
Ağır Metal Toplamı, mg/MJ	<2.500
PCB, ppm	<5
Solvent İçeriği, %	<15

### **3.1. Atıktan Türetilmiş Yakıtın Yanması**

ATY doğrudan yakılabilir olmakla birlikte sanayi tesislerinde daha çok ek yakıt olarak kullanılmaktadır. Çimento fabrikaları en yaygın birlikte yakma uygulamalarını görebileceğimiz yerlerdir. Evsel atıkların ATY'ye dönüştürülerek yakılması belediyeler ve sanayi tesisleri arasında bir kazan-kazan esasına dayanır. Bu duruma verilebilecek en basit örnek, belediye; çöp sahalarında depolanan katı atıkların azalmasıyla ve sanayi tesisleri ise yakıt tasarrufunun sağlanmasıyla kazanç elde etmektedir.

ATY'nin birlikte yakılması genel olarak kömür, biyokütle, talaş tozu, çimento fırınlarında kullanılan klinkerler gibi yakıtlarla karıştırılarak yapılmaktadır (Genç, 2013). Evsel atıklardan elde edilen ATY'nin yanma karakteristiğinin mümkün olduğunca standart hale çekilmesi, emisyon değerlerinin düşük olması yakma süreçlerin tasarlanmasında başlıca hedeflerdir. Ayrıca evsel atıkların belediyeler tarafından düzenli depolama alanlarına götürülerek bertaraf edildiği göz önüne alındığında ATY'nin ek yakıt olarak kullanılması son derece çevreci bir yaklaşıma sahiptir.

Yakma uygulamaları verimli olmasına rağmen yüksek oranda baca gazı emisyonları, dioksinleri, furanları içerdiği için çevre sorunları doğurmaktadır. Bu sorunlar karmaşık ve yüksek maliyetli yatırımlar içeren baca gazı arıtma mekanizmaları gerektirmektedir. (Genç, 2013). Dioksin ve furanların zararlı

etkilerinin giderilmesi için gerekli prosesler ve baca gazı arıtma mekanizmaları, hali hazırda çimento fabrikalarında bulunduğundan evsel atıkların ATY'ye dönüştürülerek bertaraf edilmesi açısından bu fabrikalar önemli bir fırsattır.

### 3.2. ATY'nin Biyolojik İçeriğinin Değerlendirilmesi

Fosil yakıt emisyonları, belirli bir biyojenik içerik taşıyan ATY kullanılarak azaltılabilir. Bu biyojenik içerik ATY içerisinde mevcut olan kağıt, karton, ahşap ve organik tekstiller gibi "yenilenebilir" kısımlardan oluşur. Fosil yakıtlardan kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonu, "yenilenebilir yeniden kaynak" olarak ATY'nin kullanılmasıyla önemli ölçüde azaltılabilir.

ATY bileşenlerinin biyojenik içeriği şu hususlarla değerlendirilebilir: Plastikler mineral yağdan yapıldığı için biyojenik madde içermezler, kâğıt/karton ise tamamen yenilenebilir olarak değerlendirilebilirse de "kâğıt" fraksiyonunun inorganik dolgu maddeleri (kireç taşı gibi) içerdiğinden, tahmini %85 oranında biyojenik içerik içerdiği söylenebilir. Tekstil, suni ve sentetik elyaftan veya pamuktan yapılabilir, sadece pamuk biyojenik içeriğe katkıda bulunur. Bu nedenle, bir "tekstil" fraksiyonu için %50 biyojenik içerik tahmin edilebilir. Sadece küçük miktarlarda mevcut olmasına rağmen, ahşap da %100 biyojenik içerik olarak dikkate alınır.

Çizelge 3.2'de Ordu'da yapılan atık karakterizasyonu için ATY'nin biyojenik içeriği modellenmiştir.

**Çizelge 3.2** ATY'nin Biyojenik İçeriğini Değerlendirmek İçin Hesaplama Modeli (Anonim, 2014)

ATY İçeriği	Kağıt	Plastik	Tekstil	Ahşap	Özet
Evsel Katı Atıktaki Yüzdesi	%11.2	%18.3	%6.8	%0.4	%36.8
ATY İçerisindeki Yüzdesi	%30.5	%49.8	%18.6	%1.1	%100
C İçeriğine Göre Biyojenleri	%85.0	%0.0	%50.0	%100	
Orijinal Malzemeye Göre Biyojenleri	%25.9	%0.0	%9.3	%1.1	%36.0

Hesaplama, nihai ATY'nin yaklaşık olarak %36 biyojenik materyalden oluşacağını göstermektedir. ATY'nin biyojenik bileşenleri, klinker üretiminde petrokok ve linyit yerine kullanılırken fosil kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının azaltılmasını sağlar.

ATY'de, özellikle klorin içeriği petrokok veya linyitte olduğundan daha yüksektir. Alkali klorürler yanma bölgesinde uğar ve daha soğuk olan kısımlarda yoğunlaşarak fırın halkaları veya ön ısıtıcı birikintileri oluşturur ve bu da tesis performansını olumsuz etkiler. Öte yandan, kükürt girdisi, petrokok oranını düşürürken azaltılacaktır. Uçucu elementlerin konsantrasyonu akışkanlık ve sıcak öğünün kaplanma oluşum eğilimi üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, yakıt karışımını değiştirirken sıcak ğndeki uçucu elementlerin içeriğinin hesaplanması gerekir.

#### 4. ATIK KARAKTERİZASYONU

Atık karakterizasyonu, bir problem ya da konuya ilişkin bilgi sağlama amacını taşır. Karakterizasyonun amacını belirli hale getirmek ve kullanılacak uygun yaklaşım ve yöntemi tanımlamak için, problem ya da konunun net bir şekilde belirtilmesi önemlidir (Akca ve Demir, 2017).

Atığın ana bileşenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tespit edilmesi, uygulanacak mekanik işlemin tasarlanabilmesi için önemlidir. Atık karakterini; paręacık ęapı, şekli, yoğunluğu, esnekliği, sıkıştırılabilirliği, kalorifik değerı gibi özellikler oluşturur.

Üretilcek ATY için hammadde sağlanacak evsel katı atıkların karakterizasyonunun yapılması, mekanik ayırma tesisleri ve atıktan türetilmiş yakıt tesislerinin kurulumunda doğru akış şemalarının belirlenmesi açısından ęok önemlidir. Yapılacak karakterizasyon yoluyla retilcek ATY'ye ait bilgiler şu şekilde sıralanabilir;

- Hacimsel ve kütlesel miktarının belirlenmesi,
- Nem oranının belirlenmesi,
- Kalorifik değerinin belirlenmesi,
- Biyolojik içeriğinin belirlenmesi,
- Potansiyel fosil yakıt tasarrufunun belirlenmesi,
- Klinkere olan etkisinin belirlenmesi,
- ATY'nin besleme noktasının belirlenmesi,

- Fırının işletilmesine olan etkilerinin önceden tahmin edilmesi,
- ATY üretim kıstaslarının belirlenmesi.

Katı atık karakterizasyonu; mevsime, bölgeye ve sosyo-ekonomik şartlara göre değiştiği için belli sıklıkta yapılması gerekmektedir. Bununla ilgili ülkemizde 2007 tarihli ve B.18.0.ÇYG.0.04.01.010.06/16970 sayılı “Katı Atık Karakterizasyonu ve Katı Atık Bertaraf Tesisleri Bilgi Güncellemesi” genelgesi yayınlanmıştır. Atık karakterizasyonun nasıl yapılacağı ile ilgili bilgiler bu genelgede mevcuttur.

Bu bilgilerin elde edilmesi ile tesisin akış şeması, yatırım ve işletim maliyetleri, fosil yakıt tasarrufu gibi önemli bilgiler önceden saptanarak sürdürülebilir bir sistem kurulabilir.

Atık karakterizasyonu ile toplam katı atık içerisindeki ortalama yüzdeler yanabilir malzeme (kağıt, plastik, tekstil, tahta ve kauçuk gibi) ile ortalama yüzdeler yanmaz malzemeler (cam, bebek bezleri, metaller, seramik, ayakkabı, kül, elektronik cihazlar ve organikler gibi) tespit edilir. Böylelikle ATY üretimi için gerekli olan potansiyel yanabilir malzeme tonajı ile en az ve en fazla yanabilir malzemelerin olduğu bölgeler tahmin edilmiş olur.

Atık karakterizasyonunda nüfusun yoğun olduğu ilçe merkezleri etken rol oynadığından bu bölgelerin kendi içerisinde düşük-orta ve yüksek gelir bölgelerine ayrılarak karakterizasyon yapılması daha verimli olmaktadır.

Ülkemizde kaynağında ayrıştırma henüz yaygınlaşmamış olduğundan tahmin edildiği gibi atık karakterizasyonunda organik ağırlıklı atık miktarı yüksek oranda çıkmaktadır. Bu nedenle ilk etapta evsel katı atıkların içerisinde organik ağırlıklı atıkların elenerek ayrılması zorunludur. Bunun yanı sıra diğer yanmaz malzemelerin yüzdeler oranlarına göre uygun eleme cihazları tespit edilerek ATY üretim hattına konulmalıdır.

#### **4.1. MEKANİK İŞLEMLER**

Mekanik işlemler; değerli malzemelerin atık proseslerinden geri kazanılmasında, kirletici maddelerin uzaklaştırılmasında ve birden çok atık fraksiyonu elde edilerek kalorifik değeri yüksek malzemenin ortaya çıkarılması veya diğer proseslerin optimize edilmesinde kullanılabilir.

Mekanik işlemler, sisteme giren atıkla yakın ilişkili olduğu kadar arzu edilen atık çıkışı ile de ilgilidir. Bu sebeple belirli bir mekanik işlem prosesi belirli özelliklere sahip bir atık girişine göre biçimlendirilmeli ve arzu edilen çıkış özelliklerine göre de optimize edilmelidir (Akca ve Demir, 2017).

Uygun Mekanik Ayırma Tesisleri ve ATY Tesislerinde mekanik işlemler aşağıdaki gibi kategorize edilebilir;

- Ayırma,
- Boyut küçültme/parçalama,
- Eleme,
- Taşıma,
- Sıkıştırma,
- Kurutma.

#### **4.1. Mekanik Ayırma Tesisleri ve ATY Tesisleri**

Atık oluşumunun azaltılması, atıkların yeniden kullanımı, geri dönüşümü, geri kazanımı gibi yollar ile doğal kaynak kullanımının azaltılması ve atık yönetiminin sağlanması gerekmektedir.

Nisan 2015'te Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yayımlanan 29314 Sayılı Atık Yönetimi Yönetmeliği'nin 5. maddesinin 3- b bendine göre;

Atık üretiminin kaçınılmaz olduğu durumlarda atıkların; yeniden kullanımı, geri dönüşümü ve ikincil hammadde elde etme amaçlı diğer işlemler ile geri kazanılması, enerji kaynağı olarak kullanılması veya bertaraf edilmesi esastır.

Katı atıkların bertarafı çeşitli kanun ve yönetmeliklerle Büyükşehir Belediyeleri ve İlçe Belediyelerine verilmiştir.

ATY üretimi için katı atıkların ilk olarak Mekanik Ayırma Tesislerinde daha sonrasında ise ATY Tesisinde işlem görmesi gerekir. Mekanik Ayırma Tesislerinde öncelikli amaç evsel katı atıkların belirlenmiş bir prosese göre tasarlanmış makinelerden geçirilerek içerisinde ekonomik değeri olan malzemenin seçilmesi ve kalan atıkların özelliklerine göre kendi içinde fraksiyonlara ayrılmasını sağlamaktır.

ATY Tesislerinde ise amaç; yüksek verimlilikte alt ısı değerine ve yönetmeliklerle belirlenmiş özelliklere sahip ek yakıtın elde edilebilmesidir.

Belediyelerin uygulayacak olduğu atık yönetim planında ATY üretimi gerçekleştirilecekse bu iki tesisin birbirlerinden besleneceği düşünülerek tesis şartları belirlenmelidir. Ardışık proses adımlarının doğru sıralaması sonucunda organik ağırlıklı malzemelerin ve ekonomik değeri olan malzemelerin iyi bir şekilde sistemden ayrılarak verimli ATY üretimi sağlanmalıdır.

## **5. SANAYİ TESİSLERİNDE ATY KULLANIMI**

### **5.1. Türk Çimento Sektörü Pozisyonu**

Türk çimento sanayisi 2018 yılı itibarıyla 54 entegre tesis, 18 öğütme tesisi, 15 binin üzerinde çalışanı ve 70 milyon tonun üzerindeki üretimi ile Avrupa'nın en büyük dünyanın ise Çin, Hindistan, Avrupa Birliği üyesi ülkeler, Amerika Birleşik Devletleri ve Brezilya'dan sonraki en büyük altıncı üreticisi konumundadır.

Bu 54 fabrikanın yaklaşık 35'i atıkları alternatif yakıt olarak kullanma lisansına sahiptir. Buna karşın, 2008 yılında ülkemizde 88 bin ton olan alternatif yakıt kullanımı, 2017 yılında ancak 760 bin tona ulaşmıştır. Bu rakam yaklaşık %5 termal ikame oranına karşılık gelmektedir. Avrupa Birliği ülkelerindeki çimento fabrikalarında ise ısı gücün yaklaşık %44'ü (bazı tesislerde %100'e yakın) atıklardan karşılanmaktadır (Anonim, 2019a).

Ülkemizde çimento fabrikalarının 2017 yılında kullandığı 760000 ton atık ile yaklaşık 400.000 ton ithal kömür tasarrufu sağlanmıştır (Anonim, 2019a).

Ülkemizde, alternatif yakıt oranını Avrupa ve Dünya'da olduğu gibi yüksek ortalamaya çıkarabilmek için Mekanik Ayırma Tesisleri ve Atıktan Türetilmiş Yakıt Tesislerinin tanıtılması ve çimento sektörü yatırımcılarına sistemin verimliliğini ispatlayan örneklerle anlatılması gereklidir. Aynı zamanda ülkemizde çeşitli mezuat ve yönetmeliklerle ATY kullanımını zorunlu hale de getirilebilir.

Türkiye'de üretilen evsel katı atıklardan %30'un üzeri oranında ek yakıt üretim potansiyeli bulunmaktadır. Bu ek yakıtların çimento sektöründe kullanımı ile kömürün ithali önlenerek döviz tasarrufu sağlanabilir. Ayrıca iklim değişikliğine neden olan sera gazlarının çevreye olan etkisinde azalma mümkün olur.

## 5.2. Çimento Endüstrisinde Atıktan Türetilmiş Yakıt Kalitesi

Evsel katı atıklar, zararlı maddeler içermemesi koşuluyla alternatif yakıt olarak kullanılabilir. Özellikle yetersiz parçalanabilir halojenli organik bileşiklerin (PCB gibi), klorinin, sülfürün ve ağır metallerin mevcudiyeti devletin yapmış olduğu düzenlemelerle uygun bir şekilde özel olarak engellenmiştir veya sınırlandırılmıştır. Alternatif yakıtlar, sadece mevzuata uygun olduklarında çimento fabrikalarında kullanılabilirler.

ATY'nin çimento endüstrisinde kullanımını için temel ilkeler şunlardır:

- Yakıtın kimyasal kalitesi, çevrenin korunmasını sağlayan yasal standartlara uymalıdır.
- Homojen klinkerin elde edilmesi için iyi kontrollü bir yanma işlemi gerektiğinden, yakıtın kalorifik değeri fırına verilen enerjinin kontrolünün sağlanması için yeterince kararlı olmalıdır.
- Yakıtın fiziksel formu, malzemenin kolay taşınması ve fırına kontrollü bir şekilde aktarılması için uygun olmalıdır.
- Prosesin kararlılığına veya ürün performansına zararlı etkisi olabilecek kimyasal türler içeren yakıtlar klinker üretim prosesine sokulmamalıdır.



**Şekil 5.1** ATY Tesisinden Çıkan Kurutulmaya Hazır ATY Örneği

Klinker fırın hattındaki besleme noktasına bağlı olarak ATY üretim kriterleri değişkenlik gösterir. Kalsinatörden besleme işlemi düşük kalorili yakıtlara ve daha büyük tanecik boyutlarına karşı daha az hassastır, fırından besleme işlemi ise kararlı bir sinterleme bölgesini korumak için daha yüksek kalorifik değerler ve daha az tane büyüklüğü gerektirir. Genel olarak, ATY kalitesine ilişkin çizelge 5.1’de bulunan gereksinimler dikkate alınmalıdır (Anonim, 2017).

**Çizelge 5.1** Farklı Besleme Noktalarında ATY’nin Genel Gereksinimleri (Anonim, 2014)

Parametre	Fırın Brülörü Besleme	Kalsinatör Besleme
Tane Boyutu	<30 mm, iki boyutlu malzeme	<50-80 mm, iki ve üç boyutlu malzeme
Nem Oranı	< %15-20	< %25
Kül	< % 20	< %20
Klorin	< % 0.8	< %0.8
Net Kalorifik Değer	min: 4.800 kcal/kg	min: 3.500 kcal/kg

### 5.3. Çimento Üretim İş Akış Şeması ve Proses Özeti

Katkılı özellikte olan standart bir Portland Çimentosu; kalker, marn, kil, demir cevheri v.s gibi hammaddeler ile CaO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gibi bileşiklerin özel olarak oluşturulan kimyasal reaksiyonlara sokulmasıyla üretilir.

Çimento üretimi; ocaktan hammadde temini ve kırma, hammadde homojenizasyonu, hammadde öğütme, pişirme, klinker öğütme, çimento paketleme ve sevkiyat aşamalarından oluşur (Özel, 2011).

Kalker ve kil, kırıcı makinelerden geçirilerek fiziksel ve kimyasal olarak belirli oranlarda karıştırılır sonra öğütülmek üzere farin değirmenlerine beslenir. Bu karışımın öğütülmüş haline farin denir. İstenilen özellikteki farin, klinker oluşturmak amacıyla fırına gönderilir.

Siklonlara 60 °C de giren farin, birinci siklonda 300 °C, ikinci siklonda: 500 °C, üçüncü siklonda: 700 °C, dördüncü siklonda: 800 °C, fırın girişinde 1100 °C civarına ulaşır. Fırında ise 1450 °C de pişirilir (Özel, 2011).

Fırın içerisinde yakıtın yanması için; yakıtın yanı sıra oksijen ve ortam sıcaklığına ihtiyaç vardır. Yakıtın tutuşması için asgari 550 °C sıcaklığa ihtiyaç vardır. Yanmanın devamlılığı ve tam yanma (verimli yanma) sağlanabilmesi için daha yüksek sıcaklıkta bir ortam ve oksijen ihtiyacı vardır. Fırından çıkan 1100-1200 °C



sıcaklığındaki klinker soğutmaya düşer, atmosferden alınan soğuk hava fanlar vasıtasıyla soğutmaya aktarılır (Çankaya, 2018).

Böylelikle fırında, çimentonun yarı mamulü olan klinker üretilmiş olur. Klinker, imal edilecek çimento türüne göre belli oranlarda alçı, tras, kalker ve uçucu kül gibi ilave malzemeler katılarak değirmenlerde öğütülür ve paketlenerek satışa hazır hale getirilir.

#### 5.4. Çimento Üretiminde Kullanılan Yakıt Türleri

Çimento üretim fırınlarında fosil yakıtların yanı sıra ek yakıt olarak katı atıklar ve arıtma çamurları kullanılmaktadır.

Fosil yakıt olarak fuel oil, kömür (linyit, petrokok v.b.), doğalgaz ve ek yakıt olarak evsel katı atıklar, tıbbi atıklar, endüstriyel atıklar, ömrünü tamamlamış lastikler, atık yağlar, marangoz ve tekstil atıkları örnek gösterilebilir.

Alternatif olarak kullanılan atıkların ısı değerleri değişken olup karakterizasyon testleriyle bulunabilir, fosil yakıtların ısı değerleri ise bilinmekte olup Çizelge 5.2’de verilmiştir.

**Çizelge 5.2** Çeşitli Yakıtların Isıl Değerleri (Anonim, 2019b)

	Yakıt Tipi	Birim	Kalorifik Değerler		
			GCV	NCV	
Gaz Yakıtlar	Kömür Gazı	kcal/nm <sup>3</sup>	4.300	3.900	
	LPG	kcal/kg	11.800	10.600	
	LPG	kcal/litre	6.000	5.400	
	Doğal Gaz	kcal/nm <sup>3</sup>	9.155	8.200	
Sıvı Yakıtlar	Benzin	kcal/kg	11.200	10.500	
		kcal/litre	8.400	7.900	
	Mazot	kcal/kg	10.900	10.100	
		kcal/litre	8.200	8.500	
	Hafif Fuel-Oil	kcal/kg	10.400	9.800	
		kcal/litre	9.700	9.100	
Ağır Fuel-Oil	kcal/kg	10.100	9.400		
		kcal/litre	9.900	9.200	
Katı Yakıtlar	Taş Kömürü (en fazla)	kcal/kg	7.300	7.100	
	Taş Kömürü (ortalama)	kcal/kg	6.400	6.100	
	Linyit	Yüksek Kalite	kcal/kg	5.100	4.800
		Düşük Kalite	kcal/kg	3.200	2.500
	Petrol Koku	kcal/kg	8.000	7.900	
	Endüstriyel Kok	kcal/kg	6.700	6.500	
	Odun (havada kurutulmuş)	kcal/kg	3.800	3.400	

## 6. MATARYEL ve YÖNTEM

### 6.1. Örnek Atık Karakterizasyonu Verileri

Ünye Çimento Fabrikasının ATY üretimi için yaptırmış olduğu atık karakterizasyonu açıklayıcı bir örnek olarak verilmiştir.

Atık karakterizasyonu Ağustos/Eylül 2016 döneminde çimento fabrikasının 50-60 km yarıçap mesafesinde bulunan 15 farklı bölgeden alınan evsel katı örneklerinden tespit edilmiştir.

Ünye Çimento Fabrikasının karakterizasyon sonuçları; özelliklerine göre tasnif edilen evsel katı atıkların net ağırlıklarının tartılarak genel toplama oranlanmasıyla bulunmuştur. Toplamda 55 atık örneği toplanıp incelenmiştir.

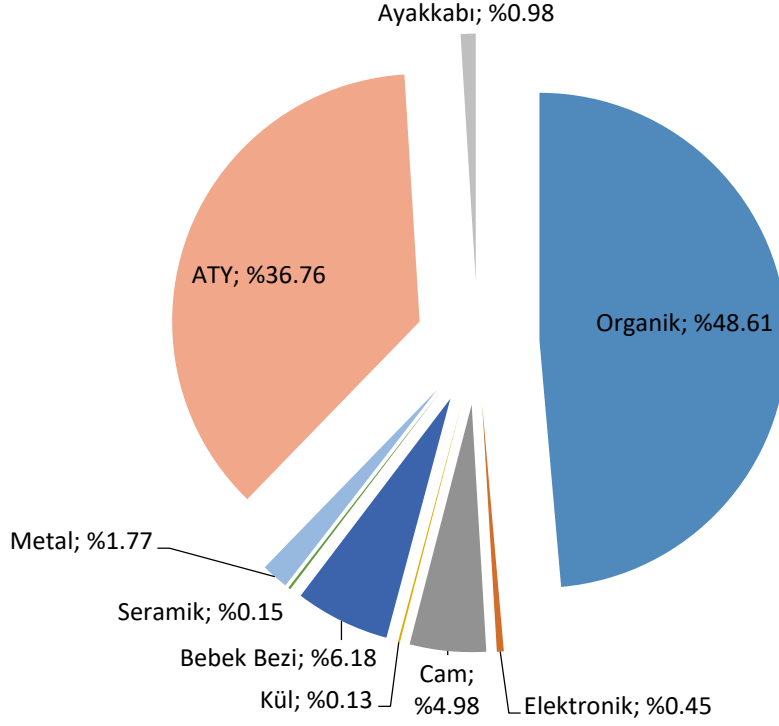
Evsel katı atıkların içerisinden, kalorifik değeri yüksek ve bir ATY Tesisinin işletilmesine uygun kısımlar şu şekildedir; plastikler, kâğıtlar, tekstil ürünleri, ahşaplar, lastik kauçuk malzemelerdir. Karakterizasyon sonucu ATY'nin içeriğindeki malzemelerin toplam ATY içeriğine oranları Çizelge 6.1'de verilmiştir.

**Çizelge 6.1** Evsel Atıklarda Tespit Edilen Yanıcı Madde Yüzdeleri ve Nihai ATY Ürününde Hesaplanan Yanıcı Madde Yüzdeleri (Anonim, 2014)

Malzeme	Atık Örneklerinin Ayrıştırılması: Tüm Bölgelerin Aritmetik Ortalaması	Nihai ATY Ürünündeki Oran
Plastik	%18.32	%49.83
Kağıt	%11.20	%30.48
Tekstil	%6.84	%18.60
Odun	%0.40	%1.08
Kauçuk	%0.002	%0.006
<b>Toplam</b>	<b>%36.76</b>	<b>%100</b>

ATY Tesisinin işletilmesine uygun olmayan yanmaz malzemelerin büyük bir kısmını organik atıklar oluşturmakta bunun yanı sıra bebek bezleri, metallere, camlar, elektronik atıklar, ayakkabılar ve küllerde bu orana dahil olmaktadır.

Tüm bölgelere ait ortalamalar alındıktan sonra ortaya çıkan atık karakterizasyon verileri aşağıdaki Şekil 6.1'de verilmiştir. Şekilde net olarak görülmektedir ki 15 bölgeden toplanan atıkların ortalama %36'sı ATY olarak kullanılabilir ve ortalama %64'ü kullanılamamaktadır.



**Şekil 6.1** 15 bölgeden alınan (3 ara bölge dahil) Evsel Atıkların Ortalama Bileşimi (Anonim, 2014)

ATY olarak kullanılabilen %36'lık kısmın nem oranı %41 olarak bulunmuştur. Ünye Çimento, bu ATY'yi kalsinatöre beslemeden önce döner kurutucuda kurutacak ve nihai nem oranı %20 olacaktır. Bu hesaplamalar, ATY'nin tesise besleme kapasitesinin hesaplanması için kullanılır.

Atıkların yanma özellikleri ve kimyasal parametrelerinin tespit edilmesi için ayrı ayrı yanıcı atık fraksiyonlarından “plastik”, “kâğıt”, “tekstil” ve “tahta” olmak üzere toplamda 116 örnek alınarak değerlendirme yapılmıştır.

ATY'nin potansiyel kalitesinin hesaplanması için, tüm bölgelerden toplanan evsel katı atıklardan elde edilen “plastik”, “kâğıt”, “tekstil” ve “tahta” numunelerinin özellikleri ve kimyasal bileşimi bulunarak, teorik ATY özellikleri elde edilir. Bu kapsamda yapılan analiz sonuçları ve tespiti yapılan parametreler Ek 3'te verilmiştir.

ATY'nin nem oranı atıkların karışık olarak toplanması sebebiyle beklenildiği gibi %41 oranında, yüksek çıkmıştır. Net kalorifik değer ise yaklaşık 3200 kcal/kg'dir. Diğer parametreler ise istenilen ATY özelliklerine uygun olarak herhangi bir anormallik göstermemektedir. ATY fabrikaya ait kurutucuda nem oranı %20'ye

inecek kadar kurutulduğunda net kalorifik değer daha da artacaktır. Sonuç çizelge 6.2’de gösterilmiştir.

**Çizelge 6.2** ATY'nin Kuruduktan Sonra Net Kalorifik Değeri (Anonim, 2014)

ATY 'nin NCV'si (kuru madde)	5.716 kcal/kg
ATY'nin Kuruduktan Sonra Beklenen Nem Oranı	%20
ATY'nin Kuruduktan Sonra NCV'si (ulaştığı anda)	4.456 kcal/kg

## **6.2. Makineler**

Mekanik ayırma tesisleri ve ATY tesisleri basit şekliyle elekler, ayırıcılar ve parçalayıcılardan oluşan makineler bütünüdür. Her biri belirli bir amaca hizmete eden standart makineler olmasına rağmen bu makineler bir araya getirilince verimli bir proses oluşturmak için katı atıkların karekterini, makinelerin uygun çalışma şartlarını ve tesisin ekonomik olarak nasıl sürdürülebilir olacağını iyi bilmek gerekmektedir.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 10 Ekim 2015 tarihli ve 29498 sayılı “Mekanik Ayırma, Biyokurutma ve Biyometanizasyon Tesisleri ile Fermente Ürün Yönetimi Tebliği” madde 11’de atık işleme tesislerinde teknik özellik olarak; ayırma, boyut küçültme/parçalama ve eleme işlemlerinin yapıldığı üniteler ve gerekli ekipmanlar bulunur ve bu tesisler tam otomatik olarak çalıştırılır (elle ayırma yapılmaz) şartları bulunmaktadır. Anlaşılacağı gibi Bakanlık atık işleme tesisleri için standart bir akış şeması oluşturmak yerine bu tesisler için belirli bir çerçeve çizmiştir. Bu durumda Bakanlığın çizdiği çerçeve içerisinde uygun akış şemaları oluşturulması yatırımcılara kalmıştır. Bu çalışmada mekanik ayırma ve ATY tesislerinde sıklıkla kullanılan makineler tanıtılarak bu akış şemalarının sürdürülebilir olarak kurgulanması hedeflenmiştir.

### **6.2.1. Poşet Açma Makinesi**

Poşet açma makinesi, tesise gelen karışık evsel atıkların içerisinde kapalı bulunan çöp torbalarını, içeriğini parçalamadan açmak için kullanılır ve tesis kapasitesine uygun bir besleme ünitesine bağlıdır. Poşet açma makinesi akış şemasının en başındaki makine olduğundan katı atıkların verimli bir şekilde ayrılması için kritik önem arz etmektedir. Bu makine devamında gelen makinelerin verimini ve tesis kapasitesini direkt olarak etkilemektedir.

Poşet açma makinesinin kapasitesini, ayrıştırma tesisine alınacak katı atıkların miktarı belirlemektedir. Dönen bir tambura bağlı bıçaklara sahip makine evsel atıklar içerisinde gelen kaba malzemelere karşı (halı, koltuk, büyük metal parçalar vb.) hassasiyet gösterebileceğinden kurulacak tesislerin atık kabul alanları bu kaba malzemelerin tesise girmeden önce sistemden çıkarılabileceği şekilde tasarlanmalıdır.

### **6.2.2. Döner Elek**

Poşet açıcıdan gelen karışık evsel atıkların, eğimli olarak konumlandırılmış tamburun kendi eksenine etrafında dönme hareketi ile atıkları ileri doğru sürerek elenmesini sağlar. Mekanik ayırma tesislerinde en yaygın kullanılan elek tipidir. Temel amaç atıkların boyutlarına göre ayrılmasını sağlamaktır.

Verimli çalışan tesislerde iki kademeli döner elekler bulunur. Üç kademeli döner eleklerde mevcuttur. Döner elekte tıkanmaları önlemek amacıyla elek deliklerinin dışına atıkların sarma yapmasını önleyici boyu en az 5 cm olan boru şeklinde bacalar takılması ayrıştırma verimini artırır. Ayrıca döner elek tamburunun içine yapılabilecek özel kanatlar veya kollar yardımıyla malzemenin daha iyi dağılması sağlanabilir.

### **6.2.3. Balistik Ayırıcı**

Makine, eğimli olarak konumlandırılmış eleğin dinamik hareketi sonucu, üzerine dökülen atık fraksiyonunun farklı balistik özelliklere sahip olmasından yararlanarak atığın etkin bir verimlilikle gruplandırmasını sağlar. Makinenin çalıştırılmasıyla birlikte; iki boyutlu malzemeler yüzdürülerek yukarı yöne iletilir, üç boyutlu malzemeler yuvarlanma yöntemi ile aşağı doğru iletilir ve organik ağırlıklı malzemeler ise elenerek atığın 3 gruba ayrılması sağlanır.

Makinenin verimli çalışabilmesi için eğimin en az 7 dereceye kadar ayarlanabilir olması gereklidir. Palet üzerindeki delik oranını artırmak ve organik malzemelerin oluşturduğu tıkanmaları engellemek amacıyla elek delikleri altıgen olarak seçilebilir.

Balistik ayırıcı tesis için kritik öneme sahip bir makine olup devamında bulunan makinelerin ve varsa seçme yapacak personelin verimini artırır. Malzemenin balistik özelliklerine göre ayrılması, özellikle üç boyutlu malzemelerin temiz bir şekilde devam etmesini sağlar. Alüminyum, PET, plastik, PP, HDPE gibi malzemeleri

otomatik olarak ayrıştırarak makineler, balistik ayırıcının üç boyutlu hattına konulmalıdır.

#### **6.2.4. Parmak (Sarsak) Elek**

Parmak (Sarsak) Elek, eğimli olarak konumlandırılmış eleğin dinamik dairesel hareketle titreşmesi sonucu malzemenin elek üzerinde etkin bir şekilde yayılması ve akmasını sağlar ayrıca elek üzerinde bulunan özel tasarım parmaklar malzemenin iyi bir şekilde ayrıştırılmasını ve kaçakların en aza indirgenmesini sağlar. Seçilen elek çapına göre organik ağırlıklı malzemelerin kalorifik değeri yüksek malzemenin ayrıştırılmasını sağlar. Makinenin üzerinde bulunan parmaklar poşet, çuval vb. malzemeleri tutarak bu malzemelerin silkelenmesini ve üzerinde bulunan organik atıkların ayrılmasını sağlar.

#### **6.2.5. Elektromanyetik Ayırıcı**

Ferrous özellikte metallerin konveyör bant üzerinde giden atıkların arasından elektromanyetik alan şiddeti aracılığı ile çekilerek ayrıştırılması için yapılmıştır. Atıklar elektromanyetik alan oluşturan mıknatıs kütleinin etrafında dönen konveyöre yapışır konveyör bant kendisine yapışan atığı manyetize olmayan tarafa doğru götürerek sistemden dışarı çıkarılmasını sağlar. Makinenin verimli bir şekilde çalışması için iki konveyör arası geçişlere konulmalıdır. Ferrous malzemelerin tesis içerisindeki makinelere zarar vermemesi için elektromanyetik mıknatıslar malzemelerin de rahat bir şekilde ayrıştırılabileceği döner elek çıkışlarına yerleştirilmelidir.

Metaller düzgün olarak ayrıştırılmayıp yakma proseslerine girmesi durumunda, yanma sonucu zehirli buhar veya zehirli metal parçacıkları oluşabilir. Ayrıca organik ağırlıklı atıkların bulunduğu hatlarda doğal mıknatıslar da kullanılabilir.

#### **6.2.6. Eddy Akımlı Ayırıcı**

Eddy akımlı ayırıcılar, sert veya yarı-sert alüminyum atıklarının (meşrubat kutusu, tava vb.) geri kazanılmasında kullanılmaktadır. İçerisine manyetik çubuklar dizilmiş eddy-akımlı ayırıcı tamburunun yüksek devirde dönmesiyle elektromanyetik bir alan oluşmakta ve katı atıklar bu alandan geçerken alüminyum ve demir içermeyen metal malzemeleri itme kuvveti uygulayarak ayrılmasını sağlamaktadır. Eddy-akımlı

ayırıcılar yığın olmayacak sade malzemelerin içerisinde ayrıştırma yapabilir ve makineye ferrous metaller gelmemelidir bu yüzden karışık evsel atıklar söz konusu olduğunda bu makine tesis içerisinde en uygun yere konumlandırılmalıdır.

#### **6.2.7. Optik Ayırıcı**

Optik ayırıcı çalışma prensibi; üzerine gelen atık fraksiyonunun yüksek hızlı bir bantla aktarılması ve bant üzerine dağılmış malzemenin makineye entegre spektrometre tarayıcı ile gelişmiş malzeme bilgilerinin okunması sonucu hava püskürten valf bloğu yoluyla ayrıştırılmasıdır.

Bu makine PET, PP, PE-FILM, HDPE, kağıt vb. gibi malzemeleri isteğe göre ayrıştırılabilecek özelliktedir. Optik Ayırıcı balistik ayırıcının üç boyutlu hattına direk olarak kurulabilir. Tam otomatik tesislerde iş gücünü azaltan önemli bir makinedir.

#### **6.2.8. Primer (Ön) Kırıcı**

Bu makine çok aşamalı bir Atıktan Türetilmiş Yakıt Tesisi için ideal bir ilk adımdır. Yüksek verimli çok aşamalı prosesler için primer (ön) kırıcı, ayırma, sınıflandırma ve eleme gibi daha ileri proses adımlarında malzemenin en iyi şekilde hazır olmasını sağlar.

Genellikle makinede dönen bir şaft üzerinde bulunan bıçaklar ve sabit karşılık bıçakları bulunur. Evsel katı atık işlemlerinde tek şaftlı modeller daha uygundur. Makineye beslenen atık fraksiyonu bu bıçaklar yoluyla parçalanır, şaftın altında genellikle 200-250 mm açıklığında ızgaralar bulunur ve parçalanmış atıklar bu ızgaraların arasından geçerek devam eder. Böylelikle boyut küçültme işleminin ilk adımı başlamış olur.

Makinenin verimli bir şekilde işletilebilmesi için yabancı malzemeler (taşlar ve metal gibi) alınmamalıdır.

#### **6.2.9. Havalı Ayırıcı**

Havalı ayırıcılar temel olarak bantlı konveyör, ayırma haznesi ve hava nozulları ya da fandan oluşan sistemlerdir.

Atıklar hızı yüksek olan bantlı konveyöre gelerek ayırma haznesine gelir, ayırma haznesine gelen atıklara üflenen hava ile hafif ve ağır malzemeler birbirinden ayrılır.

Ayırma haznesinde ayrılan ağır malzemeler sistemden çıkarılır. Hafif malzemeler ise, genişleme odasına yüksek hızlı bir hava akımı ile taşınır, buradaki hava hızı düşürülerek hafif malzemelerin konveyör yardımıyla akışa devam etmesi sağlanır.

#### **6.2.10. Sekonder (İnce) Kırıcı**

ATY tesisinde kırma işleminin son aşaması ince kırıcı ile sağlanır. İnce kırıcı şaftı üzerinde bıçaklar ve karşılık bıçakları bulunur. Makinenin altında bulunan elek yardımıyla atıklar istenilen boyuta getirilir. Yüksek devirde çalışır ve primer (ön) kırıcı aksine düz bıçaklar kullanılır. Bu makineye taş, metal vb. sert cisimlerin girmesi makineye zarar verdiğinde havalı ayırıcı ile kullanılmalıdır.

### **7. BULGULAR ve TARTIŞMA**

#### **7.1. Örnek Akış Şeması ve Akış Şemasının Değerlendirilmesi**

Mekanik Ayırma Tesisi ve ATY Tesislerinden oluşan iki aşamalı örnek tesisler için akış şeması Ek 1’de gösterilmiştir.

Karışık toplanmış evsel katı atıklar, Atıktan Türetilmiş Yakıt Tesislerine gönderilmeden önce Katı Atık Mekanik Ayırma Tesislerinde işlem görmelidir. Katı Atık Mekanik Ayırma Tesisinin akış şemasının tasarlanması; ATY üretimi için uygun hammadde, ekonomik değeri olan malzemelerin verimli bir şekilde ayrılması ve organik ağırlıklı malzemenin ayrılması ilkelerine dayanır. Bu amaçlar doğrultusunda en iyi verimi sağlayacak akış şeması belirlenmelidir.

Şehirde ilçe belediyeleri tarafından toplanan katı atıklar mekanik ayırma tesislerine getirilir, karışık toplanan ham çöp kaba malzemedeki oluşmakta ve nem oranı %50-60 aralığında mevsimsel olarak değişim göstermektedir.

Mekanik ayırma tesisine gelen atıklar planlanan tasarıma göre 3 kısma ayrılacaktır:

- 80 mm elek altı organik muhteviyatı yüksek atıklar,
- 80 mm elek üzeri ATY hammaddesi olarak kullanılacak atıklar,
- Otomatik veya elle ayrıştırılmış ekonomik değeri olan malzemeler.

Evsel katı atıkların içerisinde ekonomik değeri olan malzemenin seçilmesi ve organik malzemenin elenmesi için ilk olarak kapalı durumda olan poşetlerin açılarak malzemenin dağıtılması ve saçılması gereklidir. Bunun için bir mekanik ayırma



işleminin ilk aşamasına poşet açma makinesi bulunmalıdır, bu makinenin verimi doğrudan tesis verimini etkilemektedir. Poşet açma makinasında yırtılan kapalı poşetlerin içerisindeki malzemeler, tesisin devamında bulunan makineler yardımıyla dağılarak eleme ve ayrılma işlemleri için uygun hale getirilmiş olur.

Mekanik ayırma tesislerinde Ø80 mm elek altı karışık evsel atıklar genel olarak organik ağırlıklı atıklar olarak kabul edilir. İSTAÇ, karışık evsel atık kompostlaştırma tesisi ünitelerinde Ø80 mm elek altı atıkları kullanmaktadır ayrıca Ordu'da mekanik ayırma tesislerinde de organik atıkların ayrılması için Ø80 mm elek kullanılmaktadır.

Tesise gelen atıkların tümünün ana karakteristik özelliklerinin bozulmadan dağılmış bir şekilde işlem görerek elenmesini sağlamak öncelikli amaç olmalıdır. Yüksek çaplı delikler organik ağırlıklı atıkların içerisine pet ve cam şişe gibi malzemelerin karışmasına sebep olup ayrıştırma verimini düşürebilir, aynı şekilde düşük çaplı elek deliklerinin seçilmesi de organik malzemenin uygun şekilde elenmesine engel olabilir. Bu amaca uygun olarak çeşitli elek delikleri seçilebilir.

Örnek akış şemasına göre; tesiste organik malzemelerin nihai elenme işlemi Ø80 mm deliklerine sahip olan sarsak (parmak) elekte ve balistik ayırıcılarda yapılmaktadır. Bunun öncesinde 12 m uzunluğunda bir döner elekte 7 m uzunluğunda Ø140 mm; 5 m uzunluğunda Ø280 mm ölçülerinde elek çapları bulunan döner elek seçilmiştir. Poşet açıcıdan gelen karışık evsel atıklar döner eleğe girdikten sonra Ø140 mm altı, Ø140-280 mm arası ve son Ø280 mm üzeri atıklar olarak döner elekten çıkar.

Döner eleğin ilk kademesinin çapı alışıl gelmişin dışında olarak Ø140 mm seçilmiştir. Burada amaç, döner eleğe gelen yoğun malzemenin ön eleme işlemine tabi tutulmasıyla döner eleğin yükünü hafifletmek ve olası organik atıkların Ø140-280 mm arası fraksiyona karışmasına engel olmaktır. Asıl organik eleme işlemi parmak (sarsak) elek ve balistik ayırıcının ızgaralarında yapılmaktadır.

Ø140 mm elekte organik ağırlıklı malzemenin büyük çoğunluğunun bir sonraki aşamaya geçmeden önce elenmesi sağlanır. Bu çaptan geçen malzemelerin %80'i organik olmakla birlikte içerisinde ATY ve geri dönüşüm için uygun malzemelerde bulunacağından, akışın devamında bu fraksiyon Ø80 mm elek çaplı iki makine konularak organik malzemenin makinelere ağırlık yaratmayacak şekilde verimli olarak elenmesi amaçlanmıştır.

Ø280 elek çapı ise yüksek oranda geri dönüşüm malzemesinin büyük boyutlara sahip malzemeler arasında kaybolmadan geçebileceği ve verimli bir şekilde ayrılacağı ölçüde seçilmiştir.

Akış şemasında elektromanyetik mıknatısların döner eleğin çıkışına konulmasıyla, metal malzemelerin diğer makinelere zarar vermeden sistemden çıkması ve yoğunluğun azaltılarak devamında gelen makinelerin veriminin artması sağlanmak istenmiştir.

İşlenen atıkların tesiste bulunan iki adet balistik ayırıcıya dengeli olarak dağıtılarak ayrıştırma veriminin artırılması sağlanmıştır. Burada iki ayrı balistik ayırıcıdan çıkan üçer hat (üç boyutlu malzemeler, iki boyutlu malzemeler ve organik atıklar) kendi fraksiyonlarıyla birleşerek üç ayrı hat oluşturur.

Balistik ayırıcının üç boyutlu hattından çıkan malzemeye örnek Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Bu hat ekonomik değeri yüksek olan PET, plastik, PE, PP, HDPE gibi malzemelerin en yoğun olduğu hattır. Ayrıca öncesinde bulunan makineler sayesinde bu hat son derece temizdir; otomatik ayrıştırma yapan makineler veya elle ayrıştırma yapacak personel bu hatta yüksek verimde çalışabilir. Bu nedenle optik ayırıcı ve eddy akımlı ayırıcı bu hatta konulmuştur.



**Şekil 7.1** Balistik Ayırıcının Üç Boyutlu Hattından Çıkan Malzeme Örneği

Balistik ayırıcının iki boyutlu hattı; poşet, kâğıt, karton, naylon, çuval vb. gibi ATY için son derece uygun ısı değeri yüksek malzemelerin çıktığı hattır. Bu hatta yalnızca kaçak üç boyutlu malzemeler için seçme hattı kurulmuştur. Balistik ayırıcının iki boyutlu hattından çıkan malzemeye örnek Şekil 5.2’de gösterilmiştir.

Akış şemasına göre Ø80 mm üzeri atıklar içerisinde ekonomik değeri olan malzemeler alındıktan sonra birleşerek çimento fabrikasına ATY yapılmak üzere gönderilmeye hazır olmaktadır.

ATY tesisi akış şeması, her bir makinenin kendinden sonra gelen makineye zararlı ve hasar verici malzeme gelmesini önlemek ve ATY’nin ısı değerini artırmak prensiplerine göre tasarlanmıştır. Yüksek devirde dönen ve işletme maliyetleri yüksek olan bu makineler kendisine zarar verebilecek malzemelerden mümkün olduğunca korunmalıdır. Buradaki ön kırıcı -poşet açıcıya benzer bir görevle- gelen ATY hammaddesi ön parçalama işlemine tabi tutularak karışık gelen atıkların çözülmesi ve makinelerin rahat çalışması sağlanır.

Parmak (sarsak) elek MAT’den gelebilecek kaçak organiklerin elenmesini sağlar, burada ön parçalama işlemi yapıldığı için gelen malzeme sadece küçük çapta cam, taş ve çakıl gibi malzemeler ayrılmalıdır. Bu nedenle sadece taş, cam, çakıl vb. malzemelerin elenmesi için elek çapı Ø30 seçilmiştir.

Elektromanyetik mıknatısta ise yine mekanik ayırma tesisinden gelebilecek kaçak metallerin ayrılması sağlanır.

Havalı ayırıcı, son kırıcıya sert ve ağır malzemelerin girmesini önlemek amacıyla konulmuştur. Son kırıcı nihai olarak, yönetmeliklere uygun şekilde ATY hammaddesini Ø50 mm tane boyutu altına düşürerek mekanik işlemler tamamlanmış olur.

Her iki tesiste de parmak elek organik ağırlıklı atıkların nihai elemesi açısından kritik bir görev yapmakla birlikte bu makinenin eleklerinin günlük olarak belirli aralıklarla temizlenmesi gerekmektedir. Bu açıdan temizlik için ayrılan işçiliğin azaltılması için nihai eleme farklı türde bir elek te seçilebilir.



**Şekil 7.2** Balistik Ayırıcının İki Boyutlu Hattından Çıkan Malzeme Örneği

### **7.2. Evsel Katı Atıklardan Üretilmiş ATY'nin Fosil Yakıtları İkame Oranları**

Bir çimento tesisinde, evsel katı atıklardan üretilmiş ATY'nin fosil yakıtları potansiyel olarak ikame oranı, yapılan atık karakterizasyonundan elde edilen özgün veriler yardımıyla hesaplanabilir.

Bunun için öncelikle evsel atıklardan ATY üretimi yapılacak çimento fabrikasına gelecek yanıcı malzemenin yüzdesini tespit etmek gerekir. Örnek olarak verilen atık karakterizasyonundan alınan bilgiler, Ordu ilinin nüfusuna göre hesaplanmış atık miktarları ve ortalama bir çimento fabrikasına ait üretim miktarları ile bir örnek model kullanılarak evsel katı atıklardan üretilmiş ATY'nin fosil yakıtları potansiyel ikame oranı hesaplanmıştır.

TÜİK verilerine göre elde edilen Ordu ilinde kişi başı ortalama belediye atık miktarı ve toplam nüfus verileri yardımıyla toplam yıllık ve günlük atık miktarları ile atık karakterizasyonuna göre alınan nihai ATY ürününde hesaplanan yanıcı madde yüzdesi (Bölüm 6.1) Çizelge 7.1'de hesaplanmıştır.

Toplam potansiyel ATY miktarı yapılan atık karakterizasyonuna göre %41 nem oranına sahip olan ATY'yi yansıtmaktadır (Bölüm 6.2). ATY kalsinatöre beslenmeden önce döner fırında kurutulduğundan nihai nem %20 olacaktır. Dolayısıyla, kurutmadan sonra ATY hacimleri Çizelge 7.2'deki gibi olacaktır.

**Çizelge 7.1** Ordu'ya Ait Toplam Atık ve ATY Miktarı

	Yıl	Miktar	Birim
Kişi Başı Ortalama Belediye Atık Miktarı	2016	0.00117	ton/kişi-gün
Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları	2018	771.932	kişi
Toplam Günlük Atık Miktarı		903	ton/gün
Toplam Yıllık Atık Miktarı		329.654	ton/yıl
ATY Ürünüde Hesaplanan Yanıcı Madde Yüzdesi	2017	%36.76	
Toplam Yıllık Potansiyel ATY Miktarı		121.181	ton/yıl

**Çizelge 7.2** Kurutmadan Sonra Toplam Yıllık ATY Miktarı

Nem Oranı Yüksek ATY	121.181	ton/yıl
ATY'nin Nem Oranı	%41	
Döner Fırından Çıktıktan Sonraki Nem Oranı	%20	
ATY'den Çıkan Buharlaştırılacak Su Oranı	%26.3	
Kurutmadan Sonra Toplam Yıllık ATY Miktarı	89.310	ton/yıl

Görüldüğü gibi kurutmadan sonra yıllık ATY'nin %73.7'si kullanılabilir durumdadır. Kaybedilen bu kütle kaybı ısı değer artışı olarak geri dönmektedir.

Örnek olarak seçilen işletme 2.600.000 ton/yıl klinker üretim kapasitesi ve 798 kcal/kg-klinker özgül ısı tüketimi ile çimento üretmektedir. Çizelge 7.3'te örnek olarak modellenen fırının temel bilgileri verilmiştir.

**Çizelge 7.3** Örnek Fırın Hattının Temel Bilgileri

Fırın İşletme Saati	saat/gün	24
Fırın İşletme Günü	gün/yıl	330
Saatte Beslenecek ATY Miktarı	ton/saat	11.3
	ton/gün	7.879
Klinker Üretim Oranı	ton/saat	328
	ton/yıl	2.600.000
Özgül Isı Tüketimi	kcal/kg-klinker	798
Isı Tüketimi	Gcal/saat	261,7

ATY'nin fosil yakıtlara ikame oranlarını bulmak için Çizelge 7.4'teki klinker üretim oranı ve özgül ısı tüketimi kullanılır.

İkame senaryosu; çimento tesisinin durumu ve kurulacak ATY tesisinin üretimine göre klinkere beslenecek saatlik yakıt dozajı belirlenerek hesaplanır. Bu senaryoda saatlik yakıt dozajı 11.3 ton olarak hesaplanmıştır.

ATY'nin ısı payı; linyit ve petrokoktan gelen ısı miktarını eşit şekilde değiştirir (örnek modelde kullanılan her iki yakıt türünün satınalma maliyetlerine göre oranlarını değiştirmek mümkündür, bu çalışmada maliyet analizi yapılmadığından eşit bir dağılım varsayılmıştır). Çizelge 6.6'daki örnek senaryo sonuçlarına göre, yılda yaklaşık 31.368 ton linyit ve petrokok biriktirilebilir. Isıl ikame oranı ise %20 olur. Bu modelde, ATY kullanılırken ısı tüketiminde herhangi bir değişiklik göz önüne alınmamıştır. Hesaplama, özgül ısı tüketiminin standart olduğu varsayımına dayanmaktadır.

**Çizelge 7.4 ATY İkamesi Sonucu Oluşturulan Örnek Senaryo**

		Sadece Fosil Yakıt Kullanımı				ATY ile Birlikte Fosil Yakıt Kullanımı			
		Linyit	Petrokok	ATY	Toplam	Linyit	Petrokok	ATY	Toplam
NCV	kcal/kg	4.800	7.900	-		4.800	7.900	4.456	
Yakıt Dozajı	ton/saat	20,61	20,61	-		16,65	16,65	11,3	
	ton/yıl	163.231	163.231	-		131.868	131.868	98.988	
Isıl Payları	Gcal/saat	98,9	162,8	-	261,7	79,9	131,4	50,4	261,7
ATY Isıl İkamesi	%							%19,3	
Linyit Tasarrufu	ton/yıl					31.368			
Petrokok Tasarrufu	ton/yıl						31.368		

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde, tüm coğrafyaya yayılmış durumdaki çimento sanayisi 2018 yılı itibarıyla 54 entegre tesisi ile 70 milyon tonun üzerindeki klinker üretimi kapasitesine sahiptir. Çimento üretimi için fosil yakıtların yanında ek yakıt olarak evsel katı atıkların da kullanılması, uygun şekilde tasarlanmış akış şemaları ile oluşturulan Mekanik Ayırma ve Atıktan Türetilmiş Yakıt Tesisleri ile mümkündür. Bu nedenle çimento fabrikaları katı atıkların yönetiminde en önemli çözüm ortağıdır.

Evsel katı atıklardan ATY üretimi; yüksek nem oranı, ısıl değerde oluşabilecek potansiyel dalgalanma riski ve ilk yatırım maliyetleri ve işletme açısından yaşanabilecek zorluklar yüzünden ülkemizde tercih edilmemektedir. Bu alanda üretim yaygın olarak endüstriyel atıklar, kullanılmış lastikler, atık yağlar vb. üzerinden yapılmaktadır. Evsel katı atıklardan ATY üretiminde yaşanan olumsuzlukların uygun ATY üretim prosesleri ve entegre mekanik ayırma tesisleri inşa ederek, ATY için bir standardizasyon ve buna bağlı bir sınıflandırma sistematığının oluşturulması gerekmektedir.

TÜİK verilerine göre 2016 yılında ülkemizde toplanan belediye atık miktarı yıllık 31.6 milyon tondur, bu miktarın %37'sinin ATY olması durumunda yıllık 11.7 ton evsel katı atık ekonomiye geri kazanım potansiyeline sahiptir. Böylelikle; bu oranda ısıl değere sahip tonda kömür veya benzeri katı yakıtın ithalatının önüne geçilerek ekonomik kaynakların daha verimli kullanılabilmesi olanağı sağlanabilir.

Çimento fabrikalarında bulunan fırınların yanma ortamı oksijen içeriği açısından zengin olup organik bileşenlerin parçalanması açısından çok uygun bir ortama sahiptir. Ek yakıtlar döner fırınlarda yüksek sıcaklık ve saniyelerde tutulduğundan eksik yanma sonucu oluşabilecek dioksin ve furan oluşumu gerçekleşmez. Asit gazları, kükürt dioksit ve hidrojen klorür, fırına beslenen farinde yer alan aktif kirece bağlanarak tamamen etkisiz hale getirilmiş olur. Ağır metaller metalik silikatlar gibi kararlı yapılar ile klinker yapısına bağlanır.

Bu alanda kullanılan evsel katı atıkların organik kısmına ait ısıl değer veya mineral kısmına ait malzeme değeri geri kazanılmakta olup, atıklar tamamıyla klinkerin yapısına bağlanmaktadır, sıvı veya kalıntı atık, kül üretilmez; tamamı

üretilen klinkerin yapısına bağlanır. Bu durum; düzenli depolama sahalarında oluşacak metan gazının önlenmesini (CO<sub>2</sub>'den 21 kat etkili bir sera gazıdır) sağlayacaktır. Bunun yanı sıra düzenli depolama sahalarının ömrünün artması; bu sahaların kurulması, işletilmesi ve atıkların nakliyesi için oluşan mâli yükün azalmasını sağlayacaktır.

Çimento fırınındaki beraber yakma faaliyetleriyle birlikte fosil yakıtların azalması sonucu CO<sub>2</sub> salınımının ve fosil yakıtlardan kaynaklanacak emisyonların azalmasını sağlayacaktır. CO<sub>2</sub> salınımı son derece yüksek bir sektör olan çimento üretiminde, sadece ek yakıt kullanımı ile küresel ısınma potansiyelinde düşüğe olsa bir azalma sağlanacaktır.

Bu çalışmada, Ordu ilinde var olan ve sürdürülebilir şekilde uygulanan evsel katı atıkların işlenerek ATY'ye dönüştürülmesi için kurulan mekanik ayırma tesisi ve atıktan türetilmiş yakıt tesisi baz alınarak modellenmiş ve çalışan bir örnek olarak sunulmuştur.

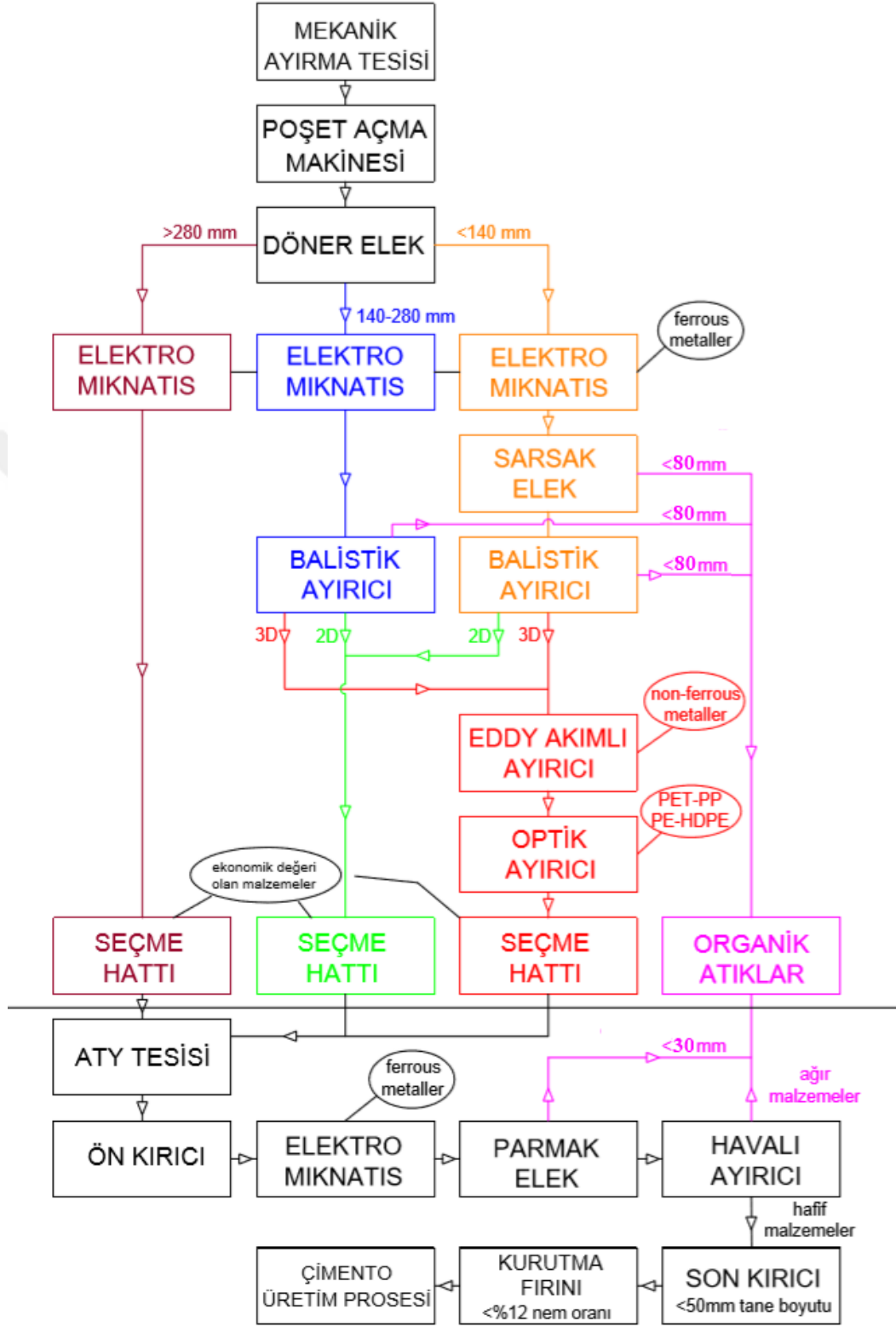


## 9. KAYNAKLAR

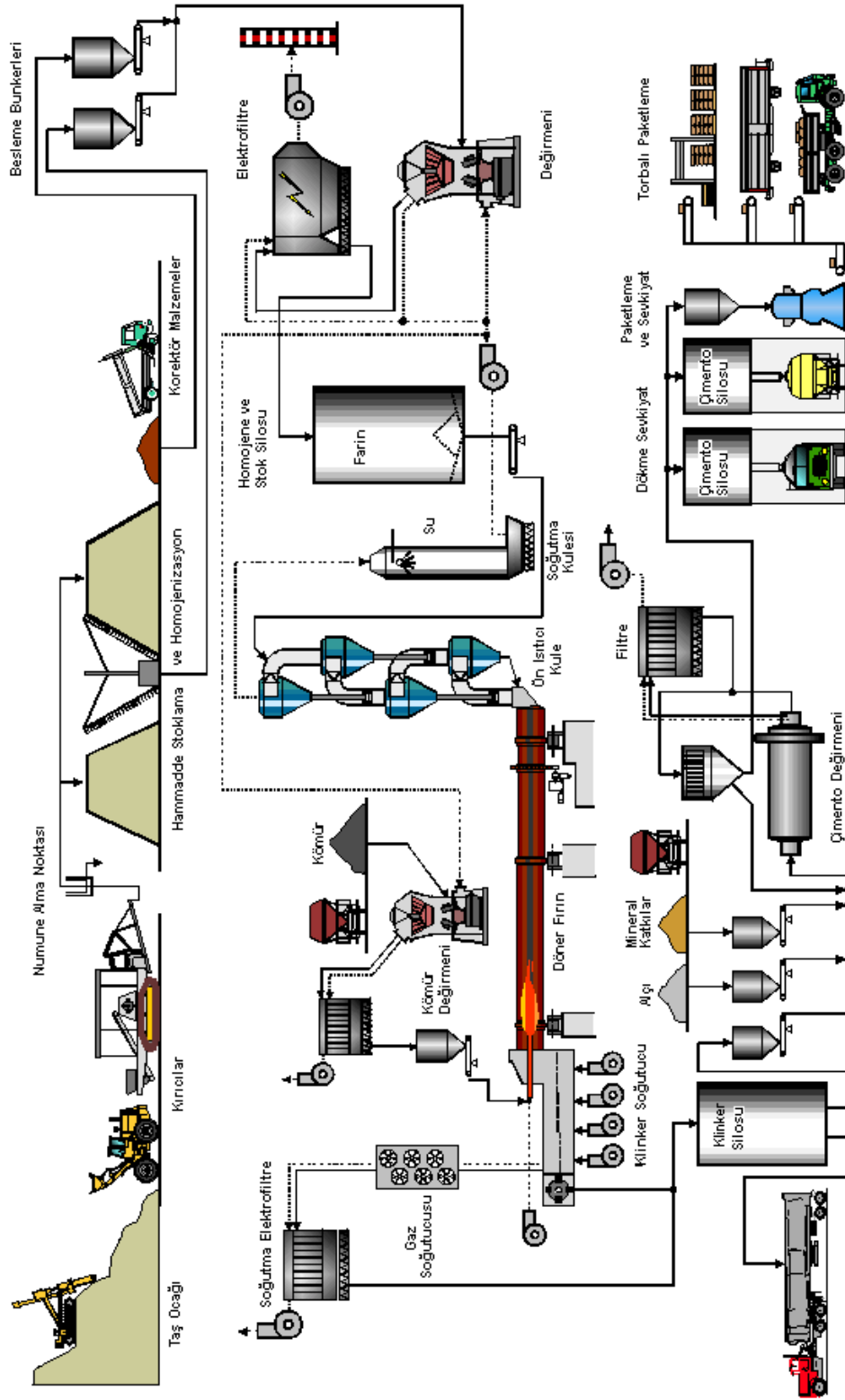
- Akca, L., & Demir, A. (2017). Katı atık yönetimi ve teknolojileri. Atalay Matbaacılık, Ankara, 1026s.
- Anonim, (2019a). Alternatif yakıt ve hammadde. [https://www.tcma.org.tr/index.php/tr/alternatif\\_yakit\\_ve\\_hammaddeler](https://www.tcma.org.tr/index.php/tr/alternatif_yakit_ve_hammaddeler)-(Erişim tarihi: 13.06.2019).
- Anonim, (2019b). Yakıt kalorifik değerleri. [http://www.4emuhendislik.com.tr/FileUpload/bs426555/File/yakit\\_kalorifik\\_degerleri.pdf](http://www.4emuhendislik.com.tr/FileUpload/bs426555/File/yakit_kalorifik_degerleri.pdf)-(Erişim tarihi:3.06.2019).
- Anonim, (2014). Atıktan türetilmiş yakıt, ek yakıt ve alternatif hammadde tebliği. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Anonim, (2017a). Ulusal atık yönetimi ve eylem Planı 2023. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Anonim, (2017b). Waste composition RDF properties and influences. MVW Lechtenberg Projektentwicklungs und Beteiligungsgesellschaft mbH. Duisburg.
- Apay A. C., & Özkan Ö., & Yılmaz C. (2011). Alternatif yakıt ürünlerinin klinker üretiminde kullanımına bir örnek: Akçansa büyükçekmece çimento fabrikası. *e-Journal of New World Sciences Academy Engineering Sciences*, 6(4), 1547-1555.
- Ayas, G. (2018). Biyokütle katkılı atıktan türetilmiş yakıtların yanma davranışlarının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Teknolojileri Anabilim Dalı, Elazığ.
- Çankaya, S. (2018). Çimento üretiminde çevresel sürdürülebilirlik için yaşam döngüsü değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.
- Genç, G. (2013). Atıktan türetilmiş yakıtı uygulanabilecek ön işlemlerin piroliz ve yanma karakteristiğine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yalova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yalova.
- Özel, A. (2011). Çimento üretiminde ATY kullanımı ve çevresel etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Öztürk, E. (2016). Çimento sektöründe alternatif hammadde ve alternatif yakıt kullanımının çevresel yararlarının değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ.
- Öztürk, İ. (2015). Katı atık yönetimi ve AB uyumlu uygulamaları. Acar Matbaacılık, İstanbul, 456s.
- Tosun, F. (2006). Çimento fabrikalarında alternatif yakıt olarak katı atıkların kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.



# **EKLER**



**EK 1:** Mekanik Ayırma Tesisi ve ATY Tesisi Örnek Akış Şeması



EK 2: Çimento Üretimi Şeması (Özel, 2011).

**EK 3: Tüm Laboratuvar Örneklerinden Elde Edilen Yanıcı Fraksiyonların Ortalama Analiz Verileri ve ATY'nin Hesaplanmış Analiz Verileri (Anonim, 2017b)**

Parametre	Birim	Kağıt	Plastik	Tekstil	Tahta	ATY
GCV	kcal/kg (dm)	3867	7974	4663	4153	6064
GCV	kcal/kg (ar)	2159	4929	2572	3458	3630
NCV	kcal/kg (dm)	3560	7596	4323	3857	5716
NCV	kcal/kg (ar)	1744	4494	2118	3115	3198
H	% (ar)	3.18	5.58	3.51	4.85	4.46
H	% (dm)	5.66	9.04	6.42	5.83	7.49
F	% (dm)	<0.000005	<0.000005	<0.000005	<0.000005	<0.000005
Cl	% (dm)	0.18	0.47	0.34	0.42	0.36
S (SO <sub>4</sub> 'den hesaplandı)	% (dm)	0.39	0.24	0.36	0.19	0.31
H <sub>2</sub> O (nem)	%	43.9	38.17	45.62	16.71	41.07
Kül	% (dm)	13.75	8.47	8.61	3.15	10.04
Kül	% (ar)	7.64	5.26	4.64	2.6	5.84
Uçucu Madde	% (dm)	77.95	89.47	93.03	81.68	84.67
Uçucu Madde	% (ar)	44.01	55.05	45.08	68.04	49.97
<b>Kül Bileşimi</b>						
SiO <sub>2</sub>	%	18.58	20.12	20.72	17.08	19.72
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	20.09	20.47	10.39	11.92	18.38
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	3.93	6.43	5.77	29.47	5.8
MgO	%	2.26	3.5	2.96	2.89	3.01
CaO	%	43.25	30.51	34.76	24.43	35.12
Na <sub>2</sub> O	%	4.58	5.03	7.48	6.2	5.36
K <sub>2</sub> O	%	1.28	2.09	5.85	2.15	2.54
SO <sub>3</sub>	%	1.29	1.93	2.16	2.38	1.8

## ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	Resul YAZICI
Doğum Yeri	ORDU
Doğum Tarihi	29.09.1988
Uyruğu	<input checked="" type="checkbox"/> T.C. <input type="checkbox"/> Diğer:
Telefon	+90541 556 6563
E-Posta Adresi	yazici_resul@hotmail.com
Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Makine Mühendisliği Bölümü
Mezuniyet Yılı	2013

