

YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIKTAN TÜRETİLMİŞ YAKITIN TERMOKİMYASAL
DÖNÜŞÜM KARAKTERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hilal AYDEMİR

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Enerji Sistemleri Mühendisliği Programı

ŞUBAT-2013

YALOVA ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATIKTAN TÜRETİLMİŞ YAKITIN TERMOKİMYASAL
DÖNÜŞÜM KARAKTERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hilal AYDEMİR

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Enerji Sistemleri Mühendisliği Programı

ŞUBAT-2013

YALOVA Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 105103009 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Hilal AYDEMİR**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**Atıktan Türetilmiş Yakıtın Termokimyasal Dönüşüm Karakterinin İncelenmesi**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Yard. Doç. Dr. Sibel BAŞAKÇILARDAN KABAĞCI**
Yalova Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yard. Doç. Dr. Sibel B. KABAĞCI**
Yalova Üniversitesi

Yard. Doç. Dr. M. Selçuk MERT
Yalova Üniversitesi

Yard. Doç. Dr. Didem OMAĞ
Yalova Üniversitesi



Teslim Tarihi : 07 Ocak 2013
Savunma Tarihi : 07 Şubat 2013

ÖNSÖZ

Bu çalışmada beni yönlendiren, çalışmamın her safhasında bilgi, yardım ve desteğini esirgemeyen, kendimi geliştirmemde en büyük paya sahip; yönlendiriciliği, model akademik kişiliği ve bana olan inancından dolayı değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Sibel BAŞAKÇILARDAN KABAKCI'ya;

Yeni bir üniversitede yüksek lisans yapmış olmanın dezavantajı olan cihaz, sarf malzemesi gibi eksikliklerimiz noktasında destekleriyle ve hızlı çözüm önerileriyle bu tezin bitirilmesine katkı sağlayan Kimyager Onur KÖSE beye;

Çalışmamda kullanılan Atıktan Türetilmiş Yakıtı tedarik katkılarından dolayı İSTAÇ A.Ş. çalışanlarından Şenol YILDIZ ve Şaban AKAN beylere;

Analizlerimizin bir bölümünün yapılabilmesine katkı sağlayan İstanbul Teknik Üniversitesi Jeokimya Araştırma Laboratuvarlarına ve katkılarından dolayı Prof. Dr. Filiz KARAOSMANOĞLU hocama;

Öğrenimim süresince anlayış ve yardımlarını esirgemeyen sevgili aileme;

sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Şubat 2013

Hilal Aydemir
(Kimya Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET	xv
SUMMARY	xvii
1. KATI ATIK YÖNETİMİ	1
1.1 Katı Atığın Tanımı	2
1.2 Türkiye’de Katı Atık Mevcut Durumu	4
1.2.1 Atık kompozisyonu	7
1.3 Bütünleşmiş Katı Atık Yönetimi	11
2. KATI ATIKTAN ENERJİ GERİ KAZANIMI VE ATIKTAN TÜRETİLMİŞ YAKIT (ATY)	15
2.1 Termokimyasal Dönüşüm Prosesleri Açısından Atık Özellikleri	16
2.2 Evsel Katı Atık ve Atıktan Türetilmiş Yakıt	20
2.3 İSTAÇ A.Ş. Atık İşleme ve Atıktan Türetilmiş Yakıt Üretimi	25
3. MATERYAL VE METOTLAR	27
3.1 Numune Hazırlama.....	28
3.1.1 Nem tayini ve nem giderme	28
3.1.2 Boyut küçültme ve boyutlandırma	29
3.2 Elementer Analiz ve Kısa Analiz	29
3.3 Kalorifik Değer Analizi	29
3.4 Fourier Transform İnfrared Spektroskopisi (FT-IR)	29
3.5 Termal Analiz	30
3.6 Kül Analizi	30
3.7 Kül X-Ray Fluorescence (XRF) Analizi	31

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	33
4.1 Atıktan Türetilmiş Yakıtın Karakterizasyonu	33
4.2 Piroliz Karakterizasyonu	34
4.2.1 ATY'yi oluşturan bileşenlerin pirolizi.....	34
4.2.2 ATY-AE karışımlarının pirolizi	37
4.3 Yanma Karakterizasyonu	39
4.4 Kül Analizi	48
5. SONUÇ	49
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	57

KISALTMALAR

AE	:	Atık Elyaf
ATY	:	Atıktan Türetilmiş Yakıt
ASTM	:	Amerikan Malzeme ve Test Etme Derneği (American Society for Testing Materials)
DTA	:	Diferansiyel Termal Analiz
EUROSTAT	:	European Community Statistical Office (Avrupa Topluluğu İstatistik Ofisi)
FTIR	:	Fourier Transform İnfrared Spektroskopisi
HDPE	:	High Density Polyethylene (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)
HHV	:	Higher Heating Value (Üst Isıl Değer)
İSTAÇ	:	İstanbul Çevre Yönetimi Sanayii ve Ticaret A.Ş.
KAAP	:	Katı Atık Ana Projesi
LHV	:	Lower Heating Value (Alt Isıl Değer)
PCB	:	Poliklorürlü bifeniller
PP	:	Polipropilen
PET	:	Polietilentetraftalat
RDF	:	Refuse Derived Fuel (Atıktan Türetilmiş Yakıt)
TGA	:	Termal Gravimetrik Analiz
TÜBİTAK	:	Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
TÜİK	:	Türkiye İstatistik Kurumu
XRF	:	X-Ray Fluorescence

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 Atık Bertaraf Yöntemleri ve Miktarları	5
Çizelge 1.2 1995-2010 yılları için Türkiye atık verileri	6
Çizelge 1.3 2008-2012 Atık Yönetim Eylem Planına göre tahmini nüfus ve atık türlerindeki artış.....	8
Çizelge 1.4 Türkiye’de atık kompozisyonundaki kütlece yüzde olarak bölgesel değişimi	9
Çizelge 1.5 ABD ve Avrupa’daki bazı ülkelerin katı atık bileşenlerinin ağırlık olarak yüzdeleri	10
Çizelge 1.6 Gelişmekte olan ülkeler için katı atık bileşenlerinin ağırlık olarak yüzdeleri	10
Çizelge 2.1 Avrupa atık kalorifik değerleri	19
Çizelge 2.2 ATY ve evsel katı atığa ait temel özelliklerin karşılaştırılması	24
Çizelge 3.1 Nem tayin sonuçları	29
Çizelge 3.2 Kül tayini için metot seçimi	31
Çizelge 4.1 Kısa analiz (nem, uçucu madde, kül tayini) sonuçları	33
Çizelge 4.2 Elementer analiz sonuçları	33
Çizelge 4.3 Yanma profiline ait parametreler	46
Çizelge 4.4 Elyaf katkısının kalorifik değer üzerindeki etkisi	47
Çizelge 4.5 Kül tayini sonucunda elde edilen veriler	48
Çizelge 4.6 ATY külünün XRF sonuçlarına bağlı karakterizasyonu.....	48

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 2008-2012 Atık Yönetim Eylem Planına göre katı atık bileşenlerinin iller bazında dağılımı	7
Şekil 1.2 KAAP Atık Kompozisyonu belirleme çalışması sonucu.....	8
Şekil 2.1 Tanner Diyagramı	17
Şekil 2.2 ATY üretimde işlem sıralamalarına göre mevcut yöntemler ve etkileri.....	23
Şekil 3.1 Deneysel Yaklaşım	28
Şekil 4.1 ATY ve ATY bileşenlerinin FTIR analizi	34
Şekil 4.2 ATY'ı oluşturan bileşenlerin piroliz profili için elde edilen TG eğrileri	36
Şekil 4.3 ATY'ı oluşturan bileşenlerin piroliz profili için elde edilen DTG eğrileri.....	36
Şekil 4.4 ATY-AE karışımlarının piroliz profili için elde edilen TG sonuçları	38
Şekil 4.5 ATY-AE karışımlarının piroliz profili için elde edilen DTG sonuçları	38
Şekil 4.6 TG ve DTG eğrilerinden faydalanarak yanma profili parametrelerinin belirlenmesi	39
Şekil 4.7 Kağıt numunesine ait TG-DTG eğrileri.....	40
Şekil 4.8 PP numunesi için TG ve DTG eğrileri.....	41
Şekil 4.9 HDPE numunesi için TG ve DTG eğrileri.....	41
Şekil 4.10 Atık Elyaf numunesi için TG ve DTG eğrileri	42
Şekil 4.11 %100 ATY için TG ve DTG eğrileri	43
Şekil 4.12 %80 ATY -%20 AE karışımı için TG ve DTG eğrileri	44
Şekil 4.13 %60 ATY -%40 AE karışımı için TG ve DTG eğrileri	44
Şekil 4.14 %40 ATY -%60 AE karışımı için TG ve DTG eğrileri	45
Şekil 4.15 %20 ATY -%80 AE karışımı için TG ve DTG eğrileri	45
Şekil 4.16 %100 Atık Elyaf için TG ve DTG eğrileri.....	46

ATIKTAN TÜRETİLMİŞ YAKITIN TERMOKİMYASAL DÖNÜŞÜM KARAKTERİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Evsel katı atık yönetimi, nüfusun hızla arttığı, ilkel çöp toplama sisteminin hala benimsendiği ve çöp depolama alanlarının oldukça kısıtlı olduğu ülkelerde oldukça kritik bir konudur. Etkin bir yönetim sisteminde farklı atık yönetim işlemleri çevresel, ekonomik ve sosyal parametrelerin ihtiyaçlarını karşılamak üzere birbiri ile harmanlanır. En uygun işlemlerin seçilmesi ve birleştirilmesiyle insan sağlığı ve çevrenin korunmasını garanti altına alan yönetim sistemi aynı zamanda bütünleştirilmiş katı atık yönetimi adını alır. İyi tasarlanmış bir atık yönetim sistemi atığın önlenmesini, tekrar kullanılmasını, geri dönüştürülmesini, enerji geri kazanımını ve nihai bertarafını içerir.

Bu çalışmada, evsel atığın geri dönüştürülebilir fraksiyonunun (cam, PP, PE, metal vs) ayrıştırılması sonrasında kalan yanabilir nitelikteki kısmın parçalanmış hali olan atıktan türetilmiş yakıt kullanılmıştır. Çalışma dört aşama halinde yürütülmüştür.

Birinci aşama atıktan türetilmiş yakıtın karakterizasyonuna yöneliktir. Bu aşamada yakıtın kısa ve nihai analizi ve kalorifik değer analizi yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında inert ortamda termogravimetrik (TG) ve diferansiyel termogravimetrik (DTG) analiz yöntemleri kullanılarak termal analiz yapılmıştır. ATY'nin piroliz profilini yorumlayabilmek amacıyla ATY'nin ana bileşenleri olan kağıt, polipropilen (PP), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve elyaf numuneleri için de termal analiz yapılmıştır. ATY'nin inert ortamda termal bozunma profilinin ATY'ı oluşturan bileşenlerin termal bozunma profili ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir. ATY'nin pirolizinin düşük sıcaklık bölgesindeki nem giderilmesi (<110°C) haricinde üç aşamada gerçekleştiği görülmüştür. Selülozik fraksiyon bozunması 293-355°C'de gerçekleşmiştir. ATY içindeki plastik atıklara ait

fraksiyon 430-495°C aralığında bozunmakta olup en yüksek ağırlık kaybı 470°C'de görülmüştür. 634-696°C aralığındaki üçüncü adım ise CaCO₃ bozunmasını göstermektedir.

Çalışmanın üçüncü aşamasında oksidatif ortamda termal analiz yapılarak tutuşma sıcaklığı, yanma bitiş sıcaklığı, pik sıcaklıkları ve toplam dönüşüm oranı parametrelerine göre yanma profili incelenmiştir. Ayrıca farklı oranlarda atık elyaf (AE) katkısının kalorifik değer ve yanma profili üzerindeki etkisi incelenmiştir. ATY ve ATY-AE karışımlarının oksidatif ortamda termal bozulması, uçucuların oluşumu, char yanması ve kalsinasyon reaksiyonu sonucu CaO ve CO₂ oluşumu adımlarını içermiştir.

Çalışmanın son aşamasında yüzde kül içeriği ve külü oluşturan elementler incelenmiştir. Büyük ölçüde CaO, SiO₂ ve Al₂O₃ içeren ATY külünün yapısında yüksek konsantrasyonlarda Cu, Zn ve Ba bulunduğu saptanmıştır.

INVESTIGATION OF THERMOCHEMICAL CONVERSION CHARACTERISTICS OF REFUSED DERIVED FUEL

SUMMARY

Municipal solid waste (MSW) management is a critical issue in most countries where the population is fast growing, primitive collection system is still preferred and the landfill spaces are limited. In an effective management system, different waste management activities are harmonized in order to meet the requirements of environmental, economic and social parameters. Selecting and combining the most appropriate activities that ensure the protection of human health and the environment are also called as integrated solid waste management. A well designed integrated waste management system includes waste prevention, re-use, recycling, energy recovery and disposal.

In this study refused derived fuel, which is the combustible fraction left after segregating recoverable fraction (glass, polypropylene, polyethylene, scrap metals etc.) from municipal solid waste, was used. Study was done in four stages. First stage was dedicated to characterize the refused derived fuel. Proximate analysis, ultimate analysis and calorific value were determined in this stage.

In the second stage of the study, thermal analysis was done under inert atmosphere by using thermogravimetry (TG) and differential thermogravimetry method. To interpret the pyrolysis profile of RDF, thermal analysis was done on the main constituents of RDF, namely paper, polypropylene (PP), high density polyethylene (HDPE) and fiber. Thermal decomposition of RDF under inert atmosphere was coherent with the pyrolysis profiles of the RDF constituents. Thermal decomposition of RDF, apart from moisture removal at low temperature region (<110°C), occurred in three steps. Decomposition of cellulosic fraction occurred between 293-355°C. Plastic fraction of RDF was decomposed between 430-495°C where the maximum weight loss was observed at 470°C. The third step between the temperatures 634-696°C denoted CaCO₃ decomposition.

In the third stage of the study ignition temperature, burnout temperature, peak temperatures and total conversion rates were investigated by thermal analysis under oxidative atmosphere. Besides, the effects of mixing ratio of waste fibre with RDF on calorific value and combustion profile were investigated. The thermal decomposition of RDF and RDF-WF mixtures under oxidative atmosphere included devolatilization, char combustion and CaO and CO₂ evolution as a result of calcination reaction.

In the last stage of the study, ash content and ash forming elements were investigated. The RDF ash which was mainly comprised of CaO, SiO₂ and Al₂O₃ had high concentrations of Cu, Zn and Ba.

1. KATI ATIK YÖNETİMİ

Nüfusun hızla artması, teknolojinin gün geçtikçe ilerlemesi ve tüketim alışkanlıklarının sürekli değişmesi atık miktarının günden güne artmasına neden olmaktadır. Yakın zamana kadar çoğu ülkenin atıklar için tek çözümü olan vahşi depolama, günümüzde bu miktarları karşılayamamakta ve doğa için tehlikeli olmaya başlamıştır. Oluşan metan gazı ve bu gazın atmosferde yarattığı etki, çöp sızıntı suları ve bu suların yer altı ve yüzey sularına yarattığı etki, mikroorganizmalar ve neden oldukları sağlık riski, yönetimleri acil önlemler almaya zorlamış ve katı atıklar için uygun bir yönetimin sağlanmasını gerekli kılmıştır. Atığın beşikten mezara yönetimini kapsayan bu yaklaşıma entegre katı atık yönetimi ya da bütünleşmiş katı atık yönetimi adı verilmektedir.

Bir katı atık yönetimini entegre ya da “bütünleşmiş” yapan 4 temel kriter vardır. Bu kriterler birbirine oldukça bağlı hatta iç içe girmiştir. Bu kriterlerin birinin eksik olması ya da aksaması yöntemin verimsizliğine neden olur. Kriterlerden ilki teknik olarak yönetim sisteminin yapılabilirliğidir. Diğer bir ifadeyle toplanan katı atığın miktarı ve karakteri, iklim koşulları, jeolojik koşullar, topografya, su-hava-toprak kalitesi yöntemin teknik açıdan uygulanabilirliğini belirler. Kriterlerin ikincisi ekonomidir. Entegre atık yönetimi sırasında geri kazanım, geri dönüşüm, kompostlaştırma, yakma gibi herhangi bir yöntemle oluşacak madde ve enerjinin getirdiği ekonomidir. Kriterlerin üçüncüsü atık üreticilerinin ya da toplumun yönetim sistemine sahip çıkabilmesidir. Bu kriterde önemli olan katı atıklar hakkında sosyal bilincin olması ve yönetim sürecinde toplumun sisteme katkıda bulunmasıdır. Kriterlerin dördüncüsü ise yönetim sisteminin mali boyutudur.

Çalışmanın bu bölümünde katı atık tanımı, içeriği ve miktar değişimleri incelenecek; bütünleşmiş katı atık yönetiminin bir parçası olarak görünen enerji geri kazanımı için uygunluğu tartışılacaktır.

1.1 Katı Atığın Tanımı

05.07.2008 tarih ve 26927 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanmış Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik içerisinde atık, herhangi bir faaliyet sonucunda oluşan, çevreye atılan veya bırakılan, yönetmeliğin Ek 1 listesinde yer alan maddeler olarak tanımlanmıştır. İlgili yönetmeliğin Ek 1 listesinde yer alan maddeler şunlardır:

- Aşağıda başka şekilde belirtilmemiş üretim veya tüketim artıkları,
- Standart dışı ürünler,
- Son kullanım süresi geçmiş olan ürünler,
- Dökülmüş, niteliği bozulmuş ya da yanlış kullanıma maruz kalmış olan maddeler (örneğin, kaza sonucu kontamine olmuş maddeler ve benzeri),
- Aktiviteler sonucu kontamine olmuş ya da kirlenmiş maddeler (örneğin, temizleme işlemi atıkları, ambalaj malzemeleri, konteynırlar ve benzeri),
- Kullanılmayan kısımlar (örneğin, bozuk piller ve bitik katalizörler ve benzeri),
- Yararlı performans gösteremeyen maddeler (örneğin, kontamine olmuş asitler, kontamine olmuş çözücüler, bitik yüzey işlem tuzları ve benzeri),
- Endüstriyel işlem kalıntıları (örneğin, cüruflar, dip tortusu ve benzeri),
- Kirliliğin önlenmesi işlemlerinden kaynaklanan kalıntılar (örneğin, yıkama çamurları, filtre tozları, kullanılmış filtreler ve benzeri),
- Makine/yüzey işlemleri kalıntıları (örneğin, torna atıkları, frezeleme kırıntıları ve benzeri),
- Hammadde çıkarılması ve işlenmesinden kaynaklanan kalıntılar (örneğin, petrol sahası sloopları, madencilik atıkları ve benzeri),
- Saflığı bozulmuş materyaller (örneğin, PCB'lerle kontamine olmuş yağlar ve benzeri),
- Yasa ile kullanımını yasaklanmış olan ürün, madde ve materyaller,
- Sahibi tarafından artık kullanılmayan ürünler (örneğin, tarımsal, evsel, ofis, ticari ve market kalıntıları ve benzeri),
- Arazi ıslahı ve iyileştirilmesi faaliyetleri sonucunda ortaya çıkan kontamine olmuş madde, materyal ve ürünler,
- Yukarıdaki kategorilerde yer almayan herhangi madde, materyal ve ürünler.

Yönetmelik, atık tanımını Ek 1’de verilen liste ile verse de aynı yönetmelik içerisinde yer alan Ek IV içinde de yönetmelik kapsamına giren atıkların listesini vermektedir. Bu liste içerisinde

ayrı toplanmış fraksiyonlar dahil belediye atıkları (evsel atıklar ve benzer ticari, endüstriyel ve kurumsal atık) 20 ile kodlanmış ve ayrı toplanan fraksiyonlar (20 01), bahçe ve park atıkları (20 02), diğer belediye atıkları (20 03) olarak alt listelere ayrılmıştır.

14.03.1991 tarih ve 20814 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanmış ve 1991-2005 yılları arasında 8 farklı değişiklikle Resmi Gazete’de yayımlanan Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği kapsamında katı atık, üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeleri ve arıtma çamurunu (evsel ve evsel nitelikli endüstriyel atık suların, fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemleri sonucunda ortaya çıkan, suyu alınmış, kurutulmuş çamur) ifade etmektedir. Bu tanım,

- buzdolabı, çamaşır makinesi, koltuk gibi evsel nitelikli eşyalardan oluşan ve kullanılmayacak durumda olan çoğunlukla iri hacimli atıklar,
- konutlardan atılan tehlikeli ve zararlı atık kavramına girmeyen, bahçe, park ve piknik alanları gibi yerlerden gelen atıkları da içermektedir.

Fakat 24.02.2002 tarih ve 24736 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan değişiklikle, tüketicilerin metal variller, buzdolabı, çamaşır makinesi, elektronik aletler, mobilya gibi büyük hacimli katı atıklarını evsel atıklarla beraber atmalarını yasaklanmıştır.

Ülkemizde endüstriden çıkan katı atıklar dışında, konut ve iş yerlerinden çıkan katı atıkların toplanıp taşınması ve bertaraf edilmesi belediyelerin görevidir. Ancak Büyükşehir Belediyesi bulunan şehirlerde çöplerin geçici depolanması, toplanması ve bertaraf etme tesislerine taşınması görevleri ilçe belediyelerine, geri kazanma, düzenli depolama, yakma, kompostlaştırma gibi metotlardan bir veya birkaçının uygulandığı bertaraf tesisinin yapımı ve işletilmesi ise Büyükşehir Belediyesi'ne aittir.

1.2 Türkiye’de Katı Atığın Mevcut Durumu

Türkiye’de evsel ve ticari atık miktarının TÜİK Kurumu 2010 verilerine göre yaklaşık 25 bin tonu bulunduğu, kişi başına yılda ortalama olarak 416.1 kg evsel atık üretildiği tahmin edilmektedir.

Türkiye’de yaygın olarak kullanılan atık toplama metodu, kaldırım kenarına bırakılan plastik torbalar ve çok katlı binalarda yaşayan nüfusa hizmet veren büyük atık konteynırlarından oluşmaktadır. Türkiye’de atık toplama sıklığının şehirlerde her gün iken küçük yerleşimlerde haftada 1-3 sefere kadar değiştiği belirtilmiştir. Türkiye genelinde toplama araçlarının hacmi genellikle 3m³ ile 7m³ arasında değişmektedir. Nüfusu 2000 kişinin altındaki yerleşimlerde yaşayan kırsal nüfus haricinde, belediyenin hizmet alanında yer alan nüfusun yaklaşık olarak tümü düzenli atık toplama hizmetlerinden yararlanabilmektedir.

Türkiye’de atıklar genellikle kontrolsüz bir şekilde düzensiz depolama alanlarına dökülmekle beraber hızla düzenli depolama alanları inşa edilmekte ve işletmeye alınmaktadır. Çizelge 1.1 incelenecek olursa atık bertaraf ve geri kazanım tesislerinin hizmet ettiği nüfusun toplam nüfusun yaklaşık yarısı kadar olduğu görülmektedir. Çizelge 1.1’deki TÜİK sonuçlarına göre özellikle düzenli depolama tesisi sayısının 1995-2010 yılları aralığında hızla arttığı görülmektedir. TÜİK verilerine göre 2010 itibari ile ülkemizde 52 adet düzenli depolama tesisi, 5 adet kompost tesisi ve 2 adet yakma tesisi bulunmaktadır.

Atık bertaraf metotlarını maliyet yönünden kıyaslayacak olursak; geri kazanımda maliyet 2.19 \$/ton, düzenli depolamanın maliyeti 8.40 \$/ton, kompostlaştırmanın maliyeti 10.49 \$/ton, yakmanın maliyeti ise 80.97 \$/ton civarındadır. Bu da göstermektedir ki en ekonomik yöntem geri kazanımdır. Çevre Koruma ve Ambalaj Atıkları Değerlendirme Vakfı (ÇEVKO) verilerine göre, evsel ve ticari atıkların %12’si (2.4 milyon ton) geri kazanılabilecekken, bu rakam şu anda 800 bin ton civarında kalmaktadır.

Çizelge 1.1 Atık Bertaraf Yöntemleri ve Miktarları (TÜİK, 2012).

Atık Bertaraf ve Geri Kazanım Tesisleri	1995	1996	1997	1998	2001	2002	2003	2004	2006	2008	2010
Atık bertaraf ve geri kazanım tesisleri ile hizmet edilen nüfusun belediye nüfusuna oranı (%)	16	23	28	29	30	30	32	32	42	47	56
Atık bertaraf ve geri kazanım tesisleri ile hizmet edilen nüfusun toplam nüfusuna oranı (%)	12	18	22	22	24	24	25	26	34	39	47
Düzenli Depolama Tesisi											
Sayısı	6	6	8	8	12	12	15	16	22	37	52
Kapasitesi (bin ton)	202.527	202.527	216.690	216.690	261.282	277.195	278.015	278.060	376.974	390.478	423.142
Gelen atık miktarı (bin ton)	...	...	...	...	...	...	...	...	9.951	11.657	14.377
Bertaraf edilen atık miktarı (bin ton)	...	...	...	...	...	...	...	...	9.942	10.037	14.309
Kompost Tesisi											
Sayısı	2	2	2	2	3	4	5	5	4	4	5
Kapasitesi (bin ton)	245	245	245	245	299	664	667	667	605	551	556
Gelen atık miktarı (bin ton)	...	...	...	...	...	...	...	...	268	276	216
Üretilen kompost miktarı (bin ton)	...	...	...	...	...	...	...	...	29	47	38
Yakma Tesisi											
Sayısı	1	1	2	2	3	3	3	3	3	2	2
Kapasitesi (bin ton)	9	9	44	44	44	44	44	44	44	44	44
Gelen atık miktarı (bin ton)	...	...	...	...	...	...	...	...	28	36	40
Yakılan tıbbi atık miktarı (bin ton)	...	...	...	...	...	...	...	...	28	29	28

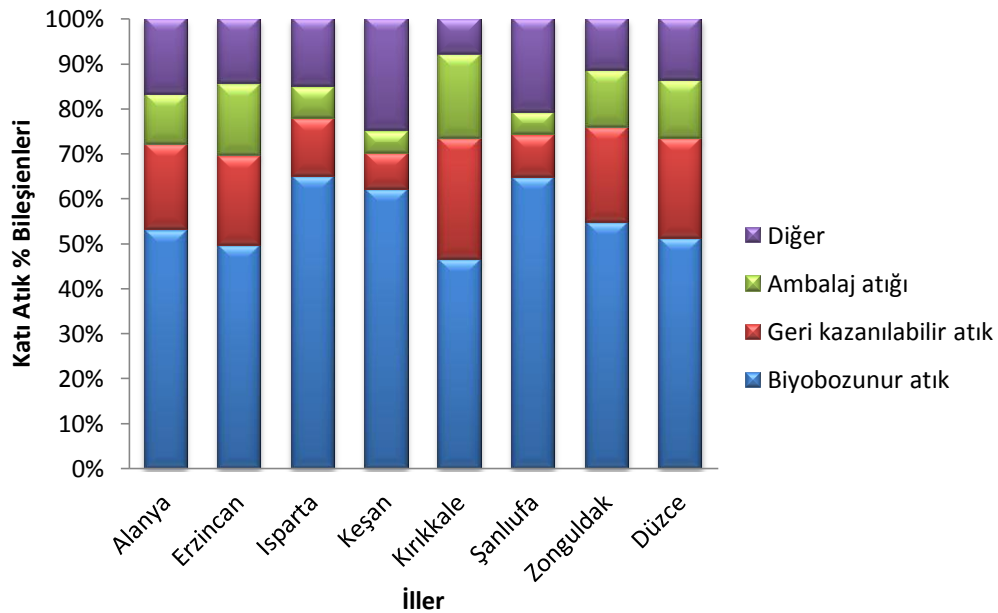
Çizelge 1. 2 1995-2010 yılları için Türkiye atık verileri (TÜİK, 2012).

Belediye Atık Göstergeleri	1995	1996	1997	1998	2001	2002	2003	2004	2006	2008	2010
Türkiye nüfusu	62.810.111	62.810.111	62.810.111	62.810.111	67.803.927	67.803.927	67.803.927	67.803.927	70.586.256	70.586.256	73.722.988
Toplam belediye sayısı	2.801	2.827	2.835	2.834	3.227	3.227	3.227	3.225	3.225	3.225	2.950
Toplam belediye nüfusu	47.774.543	47.843.698	47.865.511	47.862.511	53.407.613	53.421.379	53.430.733	53.935.050	58.581.515	58.581.515	61.571.332
Atık hizmeti verilen belediye sayısı	2.126	2.172	2.275	2.579	2.921	2.984	3.018	3.028	3.115	3.129	2.879
Atık hizmeti verilen belediye nüfusu	45.143.673	44.849.212	45.239.521	45.195.192	50.875.794	51.763.134	51.862.924	52.329.045	57.451.562	57.800.347	60.946.131
Atık hizmeti verilen nüfusun toplam nüfusa oranı (%)	72	71	72	72	75	76	76	77	81	82	83
Toplanan atık miktarı (bin ton/yıl)	20.910	22.483	24.180	24.945	25.134	25.373	26.118	25.014	25.280	24.361	25.277
Kişi başı ortalama atık miktarı (kg/kişi-gün)	1,27	1,37	1,46	1,51	1,35	1,34	1,38	1,31	1,21	1,15	1,14
Kişi başı yaz mevsimi ortalama atık miktarı (kg/kişi-gün)	1,19	1,29	1,41	1,46	1,32	1,32	1,37	1,30	1,21	1,16	1,15
Kişi başı kış mevsimi ortalama atık miktarı (kg/kişi-gün)	1,31	1,42	1,50	1,54	1,36	1,34	1,38	1,29	1,19	1,13	1,10

1.2.1 Atık kompozisyonu

2008-2012 Atık Yönetim Eylem Planında farklı bölgelerdeki iller için atık numuneleri analiz edilerek Türkiye atık kompozisyon tespiti yapılmıştır. Şekil 1.1’de Türkiye genelinden seçilmiş on il için elde edilen veriler görülmektedir.

Şekil 1.1’de biyobozunur (biodegradable) atık bileşenine; mutfak atıkları, kağıt, karton, hacimli karton, park ve bahçe atıkları, diğer yanabilenler ve diğer yanabilir hacimli atıklar dahildir. Geri dönüştürülebilir atık ise; kağıt, karton, plastik, hacimli karton, cam, metal ve hacimli metal bileşenlerinden oluşmaktadır. Ambalaj atıkları ise geri dönüştürülebilir atıkları oluşturan bileşenlerle aynıdır. Ancak, geri dönüştürülebilir atığın belli bir kısmı ambalaj atığıdır. Örneğin cam şişe hem geri dönüştürülebilir atık hem de ambalaj atığı iken gözlük camı sadece geri dönüştürülebilir atıktır. Bu sebeple her bir geri dönüştürülebilir atık bileşeni belli bir oranla çarpılarak ambalaj atığı oranlarına ulaşılmıştır. Diğer yanmayanlar, diğer yanmayan hacimli atıklar, elektrikli ve elektronik ekipman atıkları ile tehlikeli atıklar diğer atıklar grubuna girmektedir.



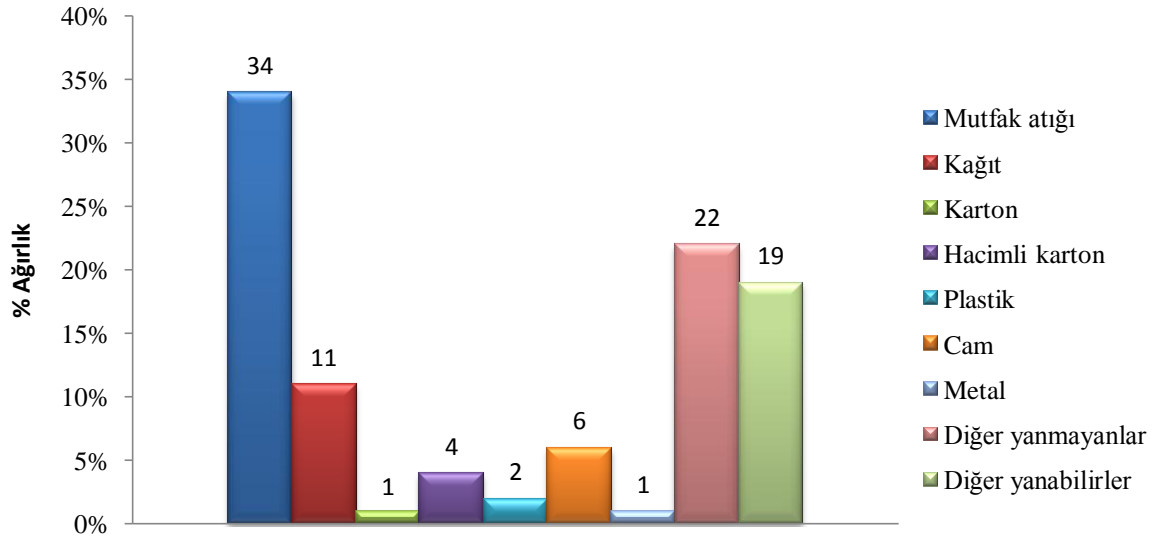
Şekil 1.1 2008-2012 Atık Yönetim Eylem Planına göre katı atık bileşenlerinin iller bazında dağılımı (2006 yaz dönemi) (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008).

2008-2012 Atık Yönetim Eylem Planında Türkiye geneli için ön görülen tahmini nüfus artışı ve atık türlerindeki artış Çizelge 1.3’de görülmektedir.

Çizelge 1.3 2008-2012 Atık Yönetim Eylem Planına göre tahmini nüfus ve atık türlerindeki artış (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2008).

	Birim	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Nüfus							
Tahmini	Kişi	67.460.496	68.352.568	69.262.758	70.191.407	70.998.479	71.821.203
Atık							
Tahmini	Ton/yıl	26.374.736	26.732.834	27.098.164	27.470.864	27.796.129	28.127.633
Biyobozunur							
Atık							
Tahmini	Ton/yıl	14.459.679	14.655.563	14.855.405	15.059.279	15.237.144	15.418.424
Ambalaj							
Atığı							
Tahmini	Ton/yıl	4.056.424	4.128.200	4.184.015	4.240.960	4.290.569	4.341.136

Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından yapılan Katı Atık Ana Planı Projesine (KAAP) göre katı atık kompozisyonunu belirleme çalışmasının sonucu Şekil 1.2’de verilmektedir.



Şekil 1.2 KAAP Atık Kompozisyonu belirleme çalışması sonucu (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2006).

Çizelge 1.4 Türkiye’de atık kompozisyonundaki kütlece yüzde olarak bölgesel değişimi (Ankara Büyükşehir Belediyesi Sağlık İşleri Daire Başkanlığı, 2001).

Bileşenler	Büyük Kent	Orta Kent	Küçük Kent	Kırsal Belde	Turistik Kent
Yiyecek	21,5	48,6	16,7	12,8	22,5
Kağıt, karton	11	10	5,2	2,3	13
Plastik	3	2	1	0,9	5,6
Naylon	1,3	1,5	1,2	1,2	3,1
Metal, Teneke	1,7	1,5	1	1,7	2,1
Cam	1,7	1	1	1,7	4,6
Deri	0,7	0,6	0,3	0,9	1,6
Kemik	1,3	2,3	1,2	2,6	1,6
Lastik	2,6	0,5	0,3	1,2	1,6
Taş, Toprak	1,6	3	4,6	9,9	2,1
Odun	0,7	0,3	0,3	–	0,8
Tekstil	1,6	1,8	1,5	–	2,1
Bahçe Atıkları	3,5	5	6,1	6,9	8,9
İnce Çöpler	48,1	52,2	60,4	59,4	31
(kg/ N. yıl)	340	275	190	173	295

Türkiye’de yapılan atık karakterizasyonu çalışmalarına göre atık bileşiminin bölgeden bölgeye değiştiği gibi eğitim, yaşam şekli, sosyo-ekonomik şartlar, tüketim alışkanlıkları, kültür, beslenme alışkanlıkları, mevsimsel etki gibi faktörlere de bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Çizelge1.2, Çizelge 1.3 ve Çizelge1.4’te atık miktarının mevsimsel değişimi, yıllara göre atık fraksiyonundaki değişim ve farklı bölgelerdeki atık bileşimi Türkiye İstatistik Kurumu’nun yapmış olduğu araştırmayı özetlemektedir.

Atık kompozisyonundaki değişime ülkeler bazında bakılacak olursa yine oldukça farklı bileşimlere sahip oldukları görülmektedir. Çizelge 1.5 ve Çizelge 1.6 farklı ülkelerde atık karakterizasyonu üzerine yapılan çalışmaları özetlemektedir.

Çizelge 1.5 ABD ve Avrupa'daki bazı ülkelerin katı atık bileşenlerinin ağırlık olarak yüzdeleri.

Katı Atık Bileşenleri	ABD (US EPA, 1999)	Almanya (Koch, 2000)	Avusturya (Bilitevski, 1996)	Hollanda (Esmil, 1994)
Cam	7,1	10,4	11	14,5
Alüminyum	1,1	0,6	0,5	0,7
Plastik	9,2	5,8	6	6
Kâğıt, Karton	34,2	18,8	24	22,5
Metal	7	3,2	7	6
Diğer	41,2	61	51,5	50,3

Çizelge 1.6 Gelişmekte olan ülkeler için katı atık bileşenlerinin ağırlık olarak yüzdeleri (Ergun, 2001).

Bileşen	Hindistan	Filipinler	Yemen	Paraguay	Peru	Brezilya	Meksika	Venezüella	Nijer
Yaş Çöp	75	49,8	57	60,8	34,3	47,7	56,4	40,4	76
Kâğıt	2	12,9	15,5	12,2	24,3	31,5	16,7	34,9	6,6
Metal	1	5,8	13,2	2,3	3,4	5,9	5,7	6	2,58
Cam	0,2	3,5	2,6	4,6	1,7	4,7	3,7	6,6	0,6
Plastik	1	1,6	2,9	4,4	2,9	3,9	5,8	7,8	4
Tekstil	3	1,8	6,8	2,5	1,7	4,1	6	2	1,4
Toz, toprak	19	17,7	2	13,2	31,7	2,1	5,7	2,3	8,9
Ağırlık (kg/gün)	0,41	0,42	0,46	0,64	0,96	0,54	0,68	0,94	0,17
Geri									
Kazanılabilir	7,2	25,6	41	26	34	50,1	37,9	57,3	15,1
Bileşenler									

1.3 Bütünleşmiş Katı Atık Yönetimi

Çevre üzerinde büyük bir baskı oluşturan ve gün geçtikçe artan atık sorununun tamamıyla çözümü için tek bir yaklaşım yeterli değildir. Ancak tüm yöntemlerin kombinasyonu ile etkin bir atık yönetimi sağlanabilir. Uluslararası düzeyde kabul gören bu yaklaşım, “Entegre Atık Yönetimi” anlayışının benimsenmesine yol açmıştır. Entegre atık yönetiminde, atık yönetiminin tüm unsurları bir bütün olarak değerlendirilerek hem çevresel hem de ekonomik açıdan sürdürülebilirliğin sağlanması hedeflenir. Bu çerçevede, entegre atık yönetiminin yalnızca tek bir atık türüne veya tek bir kaynağa yönelik olması beklenemez.

Etkin ve sürdürülebilir bir bütünleşmiş katı atık yönetiminde,

- atıklar kaynağında önlenbiliyorsa önlenmeli,
- kaynağında azaltılabiliyorsa azaltılmalı,
- yeniden kullanma şansı varsa kullanılmalı,
- geri dönüşüm ya da geri kazanım yapılabilecek gibi ise yöntemler bulunmalı, ön işlem görmeye müsait ise yapılmalı,
- nihayet eğer yukarıda bahsi geçen hiçbir işlem uygulanamıyorsa bertaraf yöntemi seçilmelidir.

Atıkların kaynağında azaltılması, tüketim sırasında yapılan küçük değişikliklerle üretilen atık miktarının azaltılmasıdır. Atıkların yeniden kullanımı, atığın toplanıp temizlenmesi dışında hiçbir işleme tabi tutulmadan defalarca kullanılmasıdır. Atıkların geri dönüşümü, atıkların bir işleme tabi tutularak ikinci bir madde olarak üretime sokulması veya tüketime sunulmasıdır. Geri dönüşüm söz konusu olduğunda enerji kazancı amaç değildir. Ayrıca geri dönüştürülen madde orijinal amacına uygun kullanılamaz. Geri dönüşüm için en uygun atıklar cam, plastik, kağıt ve kartondur. Etkin bir geri dönüşüm için atıkların ayrı toplanması çok önemlidir. Örneğin pil veya tıbbi atıklar gibi özel atıkların evsel atıklar içinde bulunması bu atıkların geri dönüşümünü engeller. Atık geri kazanımı, atığın içindeki bileşenlerin herhangi bir fiziksel, kimyasal veya biyokimyasal yöntemle başka ürüne ya da enerjiye çevrilmesidir. Atık geri kazanımı, geri dönüşümü de içine alan geniş bir terimdir. Bertaraf etme, atıkların toplanması, taşınması, geri kazanılması gibi işlemlerden sonra, çevre ve insan sağlığı açısından zararsız hale getirilmesi ve ekonomiye katkı

sağlanması amacıyla kompostlaştırma, enerji kazanmak üzere yakma ve düzenli depolama işlemlerinin tümünü kapsar.

05.07.2008 tarih ve 26927 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Atık Yönetimi Genel Esaslarına İlişkin Yönetmelik içerisinde bertaraf yöntemleri şu şekilde verilmiştir:

- 1) Toprağın altında veya üstünde düzenli depolama,
- 2) Arazi ıslahı (örneğin, sıvı veya çamur atıkların toprakta biyolojik bozulmaya uğraması ve benzeri),
- 3) Derine enjeksiyon (örneğin, pompalanabilir atıkların kuyulara, tuz kayalarına veya doğal olarak bulunan boşluklara enjeksiyonu ve benzeri),
- 4) Yüzey doldurma (örneğin, sıvı ya da çamur atıkların kovuklara, havuzlara ve lagünlere doldurulması ve benzeri),
- 5) Özel mühendislik gerektiren düzenli depolama (çevreden ve herbiri ayrı olarak izole edilmiş ve örtülmüş hücresel depolama ve benzeri),
- 6) Deniz/okyanus hariç bir su kütesine boşaltım,
- 7) Deniz yatakları dahil deniz/okyanuslara boşaltım,
- 8) (1) ile (7) ve (9) ile (12) arasında verilen işlemlerden herhangi biri yoluyla atılan nihai bileşiklerin veya karışımların oluşmasına neden olan ve bu ekin başka bir yerinde ifade edilmeyen biyolojik işlemler,
- 9) (1) ile (8) ve (10) ile (12) arasında verilen işlemlerden herhangi biri yoluyla atılan nihai bileşiklerin veya karışımların oluşmasına neden olan fiziksel-kimyasal işlemler (örneğin, buharlaştırma, kurutma, kalsinasyon ve benzeri),
- 10) Yakma (Karada),
- 11) Yakma (Deniz üstünde),
- 12) Sürekli depolama (bir madende konteynırların yerleştirilmesi ve benzeri),
- 13) (1) ile (12) arasında belirtilen işlemlerden herhangi birine tabi tutulmadan önce harmanlama veya karıştırma,
- 14) (1) ile (13) arasında belirtilen işlemlerden herhangi birine tabi tutulmadan önce yeniden ambalajlama,
- 15) (1) ile (14) arasında belirtilen işlemlerden herhangi birine tabi tutuluncaya kadar depolama (atığın üretildiği alan içinde geçici depolama, toplama hariç).

Türkiye için 2008 verilerine göre toplam atık miktarının yaklaşık %48’i düzenli depolanmış, %1’i kompostlanmış ve %0,15’i yakılmıştır. 2008 yılı itibarı ile düzenli depolama tesislerinden faydalanan nüfusun hizmet alan nüfusa oranı % 43’e

ulaşmıştır. Düzenli depolama yönteminin hayata geçirilme çalışmaları ülkemizde halen sürdürülmekteyken AB ülkelerinde düzenli çöp depolama alanları kademeli olarak kaldırılmaktadır. Avrupa Birliği resmi istatistik kurumu EUROSTAT'ın 08 Mart 2011 tarih ve 37/2011 sayılı istatistik verilerine göre 2009 yılında; EU27'de (Belçika, Danimarka, Almanya, Estonya, İspanya, Fransa, İtalya, Kıbrıs Rum Kesimi, Lüksemburg, Hollanda, Avusturya, Polonya, Romanya, Portekiz ve İngiltere) 504 kg.kişi/yıl belediye atığının % 24'ü geri dönüştürülmüş, % 18'i kompostlaştırılmış, % 20'si yakılmış, %38'i düzenli depolanmıştır (Türkmen, 2011).

2. KATI ATIKTAN ENERJİ GERİ KAZANIMI VE ATIKTAN TÜRETİLMİŞ YAKIT (ATY)

Günümüzde atıktan enerji elde etmek için çeşitli teknolojiler bulunmaktadır. Enerjiye dönüşüm çoğu zaman elektrik üretimi, ısı-elektrik üretimi veya yakıt üretimi şeklinde olmaktadır. Dönüşüm teknolojilerinden hangisinin seçileceği elde edilmek istenen nihai ürüne ve kullanılan atığın özelliğine bağlıdır. Enerji geri kazanmak üzere atığa uygulanabilecek prosesler şunlardır:

- Termokimyasal dönüşüm prosesleri (piroliz, gazlaştırma, yakma),
- Fiziksel - kimyasal dönüşüm prosesleri (presleme-ekstraksiyon, esterifikasyon),
- Biyokimyasal dönüşüm prosesleri (anaerobik çürütme, fermentasyon, kompostlaştırma).

Atıklara uygulanabilecek enerji dönüşüm prosesleri çeşitli olsa da maalesef her türlü atıktan enerji geri kazanmak mümkün değildir. İyi bir proses verimi elde etmek ve ekonomik getirinin de fazla olması için atığın bazı standartları sağlaması gereklidir. Örneğin termokimyasal dönüşüm proseslerinin uygulanabilmesi için atık yüksek kalorifik değere sahip olmalı, düşük nem içermeli ve yapısında düşük miktarda inorganik madde barındırmalıdır. Ayrıca termal dönüşümlerde istenmeyen ürünler oluşturması nedeniyle sülfür, azot ve klorür içeriğinin de az olması istenir (Lupa vd., 2011).

Günümüzde atıklar, enerji geri kazanımı amacıyla çoğu zaman çimento fabrikaları, kireç fabrikaları, demir çelik fabrikaları gibi tesislerde gerekli olan yakıt ısıl gücünün belirli bir miktarının sağlamasında yardımcı olarak yakılmaktadır. Böylece enerji geri kazanımı dışında hacim azaltılması, stabilizasyon, patojen mikroorganizma giderimi de sağlanmış olmaktadır.

2.1 Termokimyasal Dönüşüm Prosesleri Açısından Atık Özellikleri

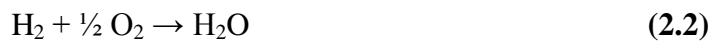
Termokimyasal dönüşüm proseslerinde hammadde olarak kullanılacak atığın karşılaması gereken özellikleri iyi kavrayabilmek için önce prosesleri daha yakından tanımak gereklidir.

Piroliz, yüksek sıcaklıkta (300-700°C) oksijensiz ortamda termal bozunma reaksiyonuna verilen genel bir tanımlamadır. Termal bir süreçte piroliz ilk adımdır, dolayısıyla yakma ve gazlaştırma sistemlerinin tasarımı için kullanılacak yakıtın piroliz süreci bilinmelidir. Bu süreç sonunda katı (karbonca zengin fakat kullanılan hammaddeye bağlı olarak yapısında safsızlıklar da bulundurabilen kok), sıvı (su/piroliz yağı/katran karışımı) ve gaz ürün (CO, CO₂, H₂, CH₄ içeren sentez gazı ve kullanılmış olan hammaddeye bağlı olarak az miktarda NH₃ ve yüksek hidrokarbonlar) oluşabilir. Piroliz işlem parametrelerinde (ısıtma hızı, sıcaklık, katalizör varlığı v.b.) yapılabilecek değişimlerle katı, sıvı veya gaz ürünlerden birini daha fazla elde etmek mümkündür. Örneğin karbonizasyon veya yavaş piroliz kullanılarak %35 verimle katı ürün elde edilebilir. Düşük sıcaklıkta flaş pirolizle % 80'e kadar verimle sıvı veya gaz ürün elde edilebilmektedir (McKendry, 2002).

Yanma; oldukça yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen ekzotermik bir oksidasyon reaksiyonudur. Atığın yanması sonucu;

- Su, su buharına dönüşür
- İnorganik bileşikler değişikliğe uğramadan kalır
- Organik bileşikler yanma ürünlerine dönüşür (Heide ve Eisma, 1997).

Temel yanma reaksiyonları aşağıda belirtilmiştir:

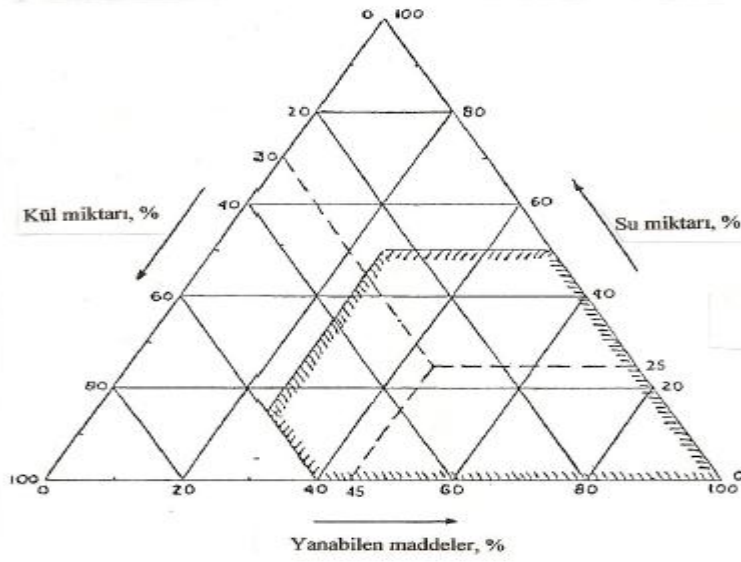


Yakma teknolojisinin en büyük avantajı ağırlıkça %75, hacimce %90 azalma sağlamasıdır. Dezavantajı ise yakma sonucu oluşan baca gazı emisyonlarının hava kirliliğine neden olmasıdır. Baca gazı arıtma sistemleri de maliyeti oldukça yükseltmektedir. Bu yöntem özellikle, düzenli depolama alanı kurmak için uygun alanı bulunmayan ülkelerde tercih edilmektedir. Baca gazı emisyonları ve değerlendirilebilir atıkların malzeme olarak geri kazanılmasının mümkün olduğu durumlarda atıkların yakılarak bertarafı kamuoyu tarafından protesto edilmiştir. Ancak günümüzde gelişen baca gazı arıtma teknolojileri (özellikle dioksin ve furan türevlerinin azaltılması), artan bilinç ve yaygınlaşan entegre katı atık yönetimlerini devreye girmesi ile kamuoyunun bu konulardaki muhalefeti giderek azalmıştır.

Gerek piroliz gerekse yakma proseslerinde enerji geri kazanımının fazla olması için atığın birtakım gereklilikleri karşılaması gerekir. Atık bileşimi yıl içindeki mevsimsel değişimlere, yerleşim birimine, atığın toplanma şekline göre değiştiği için proseslerin de başarısı bu atıkların ne kadar homojen bir şekilde prosese besleneceğine bağlıdır.

Atık bileşimindeki değişim doğrudan atığın kalorifik değerini etkilemektedir. Ayrıca atığın nem, uçucu madde ve inorganik madde miktarı termokimyasal süreç verimini etkilemektedir (Heide ve Eisma, 1997).

Yakma prosesi söz konusu olduğunda Şekil 2.1 Tanner diyagramına göre atığın içerdiği organik atık miktarı, kül ve nem biliniyorsa yanabilirliği hakkında fikir edinilebilir. Diyagrama göre taralı alan içinde kalan atık yardımcı yakıtlara gerek duymadan yanabilir. Nem ve kül yönünden zengin olan atıklar bu sınırın dışında kalırlar (Akpınar, 2006).



Şekil 2.1 Tanner Diyagramı (Akpınar, 2006).

Atığa ait kalorifik değer deneysel olarak saptanabileceği gibi eğer kuru bazda kütlece yüzde bileşimi (plastik, kağıt, su, organik atık olarak) biliniyorsa kalorifik değerinin hesaplanabileceği farklı çalışmalarda gösterilmiştir:

$$\text{HHV} = 88,2 R + 40,5 (G + P) - 6W \text{ kcal/kg} \quad (\text{Abu ve Qudais, 2000})$$

$$\text{HHV} = 49R + 22,5 (G + P) - 3,3W \text{ Btu/lb} \quad (\text{Akpınar, 2006})$$

$$\text{HHV} = 1238 + 15,6R + 4,4P + 2,7G - 20,7W \text{ Btu/lb} \quad (\text{Akpınar, 2006})$$

HHV: Üst Isıl Değer P: Kağıt (% kuru ağırlık)

R: plastik (% kuru ağırlık) W: Su (% kuru ağırlık)

G: organik atık (% kuru ağırlık)

Literatür incelemelerinde farklı atık çeşitlerinin net kalorifik değerleri de mevcut olup tez kapsamında Çizelge 2.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1 Avrupa atık kalorifik değerleri (Saltabaş vd., 2009).

Atık Türü	Nitelik ve Örnek	Net Kalorifik Değer (kcal/kg)	
		Aralık	Ortalama
Karışık Evsel Katı Atık	Evlerden toplanan karışık tehlikesiz atık	1500-2500	2150
Kaba Atık	Mobilya vb. atık	2500-4000	3100
Endüstriyel Atık	İşyerlerinden toplanan karışık tehlikesiz atık	1810-3000	2620
Geri Kazanım Sonrası Evsel Katı Atık	Kompost ve geri kazanım prosesi öncesi elenmiş atık	1500-2740	2380
Ticari Atık	Dükkanlardan ve ofislerden ayrı toplanan atık	2380-3570	2975
Ambalaj Atığı	Ayrı toplanmış ambalaj atıkları	4050-5950	4760
Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY)	Evsel nitelikli tehlikesiz atıktan türetilmiş yakıt	2620-6190	4290
Ürün Bazlı Endüstriyel Atık	Plastik veya kağıt endüstri atıkları	4290-5470	4760
Tehlikeli Atık	Tehlikeli nitelikli atık	1200-4790	2320
Arıtma Çamurları	Ham çamur (%25 KM)	400-595	500
	Çürütülmüş çamur (%25 KM)	120-285	190

1.1 2.2 Evsel Katı Atık ve Atıktan Türetilmiş Yakıt

Evsel atık içeriği birinci bölümde ifade edildiği gibi yanabilir maddeler, yanamaz maddeler, geri dönüştürülebilirler ve organik atıklar olmak üzere çok farklı nitelikte atıklardan oluşmaktadır. Evsel katı atığın nem içeriğinin yüksek ve kalorifik değerinin nispeten düşük olması nedeniyle doğrudan yakma prosesine uygun olmadığı, yakılması durumunda da mutlaka baca gazına temizleme işlemi yapılması gerektiği ve prosese ait ekonominin mutlaka yapılması gerektiği bilinmektedir. Ayrıca hem boyut hem de içerik açısından heterojen oluşu termokimyasal prosesler için istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle çoğu zaman parçacık boyutu küçültülerek daha homojen bir karışım elde edilmek istenir. Böylece homojenlik sağlandığı kadar hava/yakıt temas yüzeyi ve ısı iletimi de arttırıldığından termokimyasal işlem verimi arttırılmış olmaktadır.

Evsel katı atığı yakma, atık içerisindeki yanabilir materyalin oksidasyonu prosesidir. Evsel katı atıkları yakma sistemleri ön arıtma metodolojisine göre ikiye ayrılır. Bunlar;

- İşlenmemiş katı atık yakma sistemleri
- İşlenmiş katı atık yakma sistemleri (California Enerji Komisyonu Resmi Sitesi: www.energy.ca.gov/development/biomass/msw.html.)

İşlenmemiş katı atık yakma sistemleri ya da atıkların herhangi bir ön işlem uygulanmadan yakılması, dünyada en yaygın olan atıklardan enerji üretme teknolojisidir. İşlenmemiş katı atık yakma sistemlerinin başlıca bileşenleri şunlardır (Akpınar, 2006):

- Atık kabulü
- Atık ön şartlandırma (ayırma, parçalama)
- Temiz hava ilâvesi ile kurutma ve fırında yakma, enerji üretimi
- Cürufların uzaklaştırılması, gerektiğinde cüruf yıkama
- Cüruf şartlandırma: Metal (Fe) giderme, elek ile sınıflandırma, kaba fraksiyonun parçalanması
- Yakma fırınının üst kısmında kullanılmış (ikincil) hava ilavesi ile baca gazlarının ve tozların yakılması
- Gaz soğutma
- Baca gazının arıtılması

- İleri gaz temizleme
- Temizlenmiş baca gazının alıcı ortama (havaya) deşarj edilmesi
- Atık su arıtma
- Enerji değerlendirme (elektrik üretimi, buhar kullanımı)

Bu teknolojiye işlenmemiş katı atık direkt olarak fırında yakılır. Başlıca ürün buhardır. Buhar direkt kullanılabilir ya da elektrige, sıcak suya, soğutma suyuna dönüştürülerek kullanılır.

Atık yakma tesislerinin atıktan enerji tesisi olarak kabul edilebilmesi için, atığın yakılması ile elde edilen enerji, prosesin kendi işleyişi için harcadığı enerjiden daha fazla olması, tesisin işletilmesi sırasında giren atığın büyük kısmının tüketilmesi ve yakma veriminin yüksek olması gerekmektedir. Yakma tesisinde üretilen enerjinin büyük bir kısmı geri kazanılarak elde edilen ısı ve elektrik enerjisi tesis içinde veya dışında kullanılmalıdır.

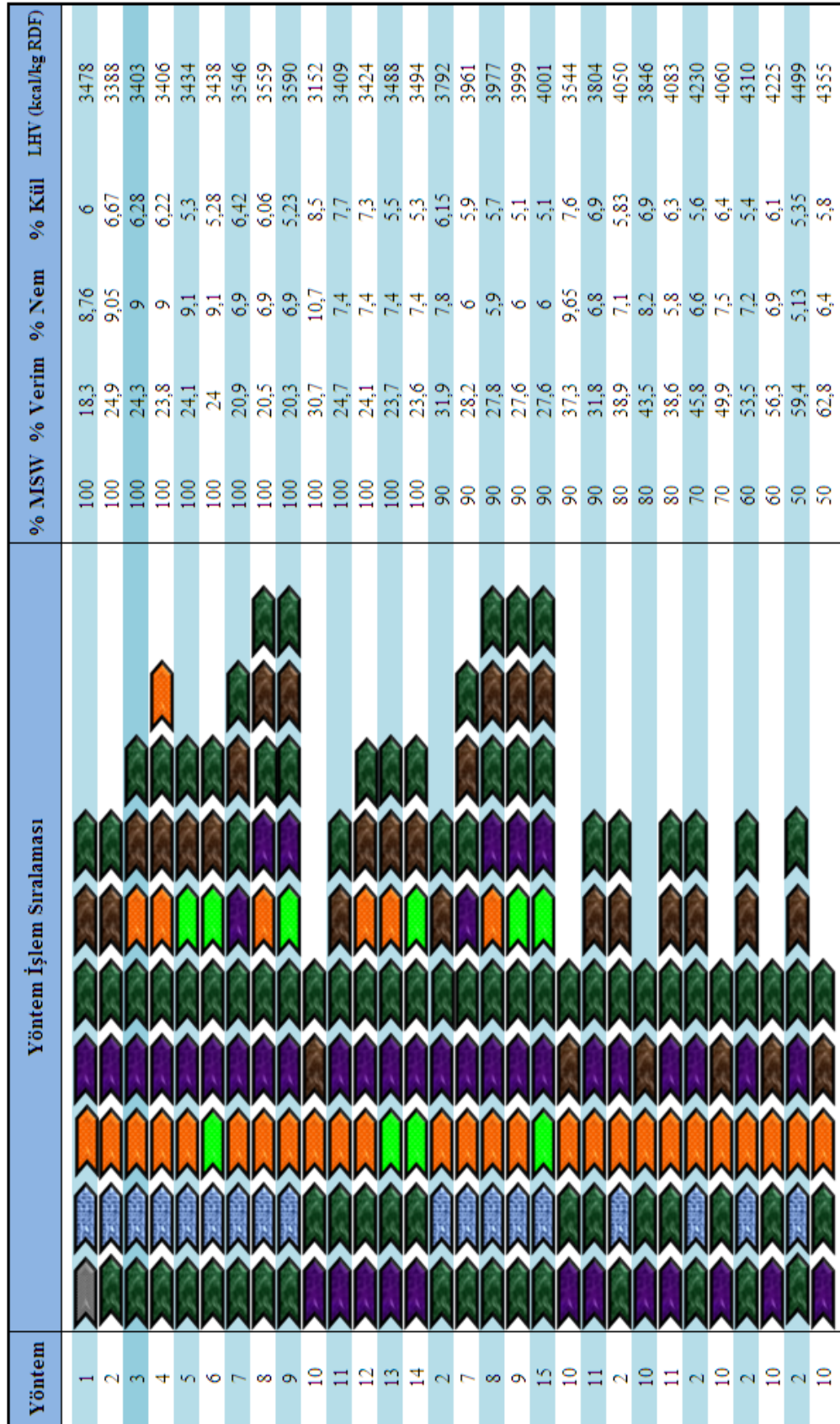
Atık yakma teknolojileri ile ilgili olarak dünyadaki duruma baktığımız zaman; enerji geri kazanımsız olarak işletilen yakma tesislerinde hava kirliliği kontrol sistemlerinin işletiminde sorunlarla karşılaşıldığı, eski atık yakma fırınlarını iyileştirmek çok pahalı ve zahmetli bir iş olduğu için yeni çevre standartları sağlamayan bu tür tesislerin çoğunun kapatıldığı, son 20-25 yıllık süreçte özellikle hava kirliliği azaltımında kaydedilen hızlı teknolojik gelişmeler ve yeni teknikler sayesinde bakım ve çevresel önlemler ile ilgili maliyetlerinin geçmiş yıllara göre düşürülmesinin sağlandığı yakma teknolojilerine ilginin arttığı görülmektedir. Yakma tesisi işletim maliyetinin düşük tutulabilmesi için tutuşmayı sağlamak amacıyla verilmesi gereken ısı enerjisinin minimum düzeyde tutulması gerekir, yani su muhtevası düşük, kalorifik değeri yüksek atıklar yakma için uygundur. Özellikle alt kalorifik değeri minimum üst seviyeden yüksek olmalıdır. Ayrıca yakma tesisini devamlı olarak işletmek için atığın özellikleri ve miktarı yıl içinde stabil olmalıdır. Aynı zamanda; gerçekçi bir atık yönetim planı geliştirmek, atık yönetim stratejisinin etkinliğini izlemek, atık akışlarını kontrol etmek için belediyelerin güvenilir atık veri kayıtlarını oluşturacak sistemi kurmaları gerekir (Türkmen, 2011).

İşlenmiş evsel katı atık çoğu zaman Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY) olarak adlandırılır. ATY üretiminde önce katı atık içinden önce geri dönüşümü mümkün olan atıklar ayrılır ve boyut küçültme yapılır. Belirlenmiş nitelikte ATY üretiminde

istenmeyen kısmın ayrıştırılması, boyut küçültme, eleme, sınıflandırma, kurutma ve yoğunlaştırma gibi bir takım ön işlemlerin aşamalar halinde uygulanmasına bağlı olarak ATY'nin yakıt olarak verimi değişir. Caputo ve Pelegagge (2001) tarafından yapılan çalışma göstermiştir ki proses esnasında yukarıda sayılan ön işlemlerin uygulanış sırası ve işlem tipi ürün olarak alınan ATY'nin kütlesini ve kalitesini belirlemektedir.

Evsel katı atığa yapılacak ön işlem hattında genel kural işleme parçalayıcı ve eleme ile başlanmasıdır. Aksi durumda hava ile sınıflandırma, manyetik ayırma ve elle sınıflandırma gibi aşamaların veriminde düşüşe neden olduğu görülmüştür (Caputo ve Pelegagge, 2001). Bir başka temel kural ise eleklerin daima öğütücü ve değirmenlerden sonra yer almasıdır. Değirmen her zaman hava ile sınıflandırma ve manyetik ayırıcıdan önce olmalıdır. Bir hat üzerinde aynı ekipmanın iki defa yerleştirilmesi düşük verim artışına karşılık ek maliyetten dolayı tercih edilmez. Bir proseste öğütücü ve değirmenin eşzamanlı varlığı bir fazlalık değildir. Ön kaba boyut küçültmenin parçalayıcıda yapılması durumunda enerji tüketimi ve sistem verimine olumlu katkı sağlar (Caputo ve Pelegagge, 2001). Şekil 2.2 farklı ön işlemlerin ATY'nin özelliklerine yaptığı değişikliği göstermektedir.

ATY'nin bir yakıt olarak işlenmemiş evsel katı atığa oranla avantajları vardır. Çizelge 2.2 ATY ve evsel katı atığı içerik açısından karşılaştırmaktadır. ATY'yi tercih etmenin başlıca faydaları daha yüksek ve sabit kalorifik değer, fiziksel – kimyasal bileşimin nispeten daha homojen olması, daha az inorganik madde içermesi, transferinin daha kolay olması, yanma esnasında daha az hava fazlası gerektirmesi ve baca gazı emisyonlarının daha az olmasıdır.



Şekil 2.2 ATY üretimde işlem sıralamalarına göre mevcut yöntemler ve etkileri (Caputo ve Pelegagge, 2001).

Çizelge 2.2 ATY ve evsel katı atığa ait temel özelliklerin karşılaştırılması (Ying-Hsi vd. 1998).

	MSW	ATY	
		25-100 mm	> 100 mm
Yoğunluk (kg/m ³)	289,9	334,8	179,1
Kâğıt (%)	28,62	8,08	5,7
Plastik (%)	26,33	29,15	57,81
Bahçe Atığı (%)	4,05	4,6	4,21
Tekstil (%)	9,03	7,43	18,23
Yiyecek Atığı (%)	14,04	0	0
Deri/Kauçuk (%)	0,58	1,13	1,48
Metal (%)	6,99	1,09	0,03
Cam (%)	7,26	0	0
Seramik ve porselen	0,47	0	0
< 5 mm (%)	1,59	16,15	8,89
> 5 mm (%)	1,04	32,36	3,65
Isıl değer			
HHV (kcal/kg)	2277,8	2554,5	3715,9
LHV (kcal/kg)	1816,3	2095,7	3296
Kimyasal kompozisyon			
C (%)	20,11	24,45	29,24
H (%)	2,92	3,21	3,3
N (%)	0,55	1,09	1,04
Cl (%)	0,18	0,16	0,23
S (%)	0,8	0,1	0,05
O (%)	12,58	11,69	15,9
Kısmi Analiz			
Nem (%)	50,65	47,55	40,28
Kül (%)	12,21	11,75	9,96
Yanıcı içerik (%)	37,15	40,7	49,76

2.3 İSTAÇ A.Ş. Atık İşleme ve Atıktan Türetilmiş Yakıt Üretimi

Tez çalışması kapsamında Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY), İstanbul Büyükşehir Belediyesi'ne hizmet sunan İSTAÇ A.Ş. işletmesinden alınmıştır. Kullanılan örneğin içeriğini daha iyi anlamak adına işletmenin ATY üretim hattı şu şekilde özetlenebilir:

- 1) Atık Kabul: Evsel atık olarak kabul edilen atıklar belediyeye ait araçlar aracılığı ile İstanbul genelinden toplanarak tesise gelir. Atık kabul bölgesine boşaltılmadan tartım işlemi yapılır. Boş beton zemine boşaltılan atıklar içerisindeki tek parça büyük atıklar (beyaz eşya, mobilya vs) burada ayrılırlar. Geriye kalan kısım konveyörlerle eleğe beslenir.
- 2) Döner Elek: Tesise gelen atıkların ilk işlemi döner elek ile başlar. Döner elek içerisinde bir takım bıçaklar aracılığıyla bağlı poşetler kesilerek elek içinde atığın serbest kalması sağlanır, elek por açıklığına 80 mm'dir. Bu aşamada tanecik boyutu > 80 mm olan elek üstü ve tanecik boyutu < 80 mm olan iki atık grubu elde edilir.
- 3) Parçacık boyutu < 80 mm olan tanecikler: Elek altı olarak tanımladığımız küçük partiküller 8 haftalık biyolojik fermantasyon işlemine tabi tutulurlar. Fermantasyon bölgesi 151 metre ve 8 bölmeden oluşmakta ve her bölmede bir hafta fermantasyon işlemi aşamalı olarak gerçekleştirilmektedir. İlk üç bölme özel kapalı bölme olarak tanımlanır. Birinci bölme alt yüzeyden hava beslemesi ve nemlendirme yapılan, ortam sıcaklığının 65°C olduğu biyolojik işlem için ihtiyaç duyulan termofilik bakterilerin üremesine imkan verilen bir ortamdır. Bu bölmede bir haftayı dolduran atıklar ikinci bölmeye aktarılır. Bu bölme 55°C ve benzer ortam koşullarındadır. Bir hafta sonra 50°C olan benzer üçüncü bölmede işlem devam eder. İlk üç bölme için istenilen nem %60 civarındadır. Üçüncü bölmeden sonra sıcaklık yaklaşık 30-40°C değerinde sabit ve nem değeri %50 olacak şekilde her bölmede bir haftalık periyotlar tamamlanır. 8 hafta sonucunda çıkan ürün 0,15 mm'lik eleklerden geçirilir. Bu işlem sonucu elde edilen elek üstü depolama saha örtüsü olarak kullanılırken elek altı kompostu oluşturur. Kompost ticari değer taşıyan bir tür doğal gübredir.

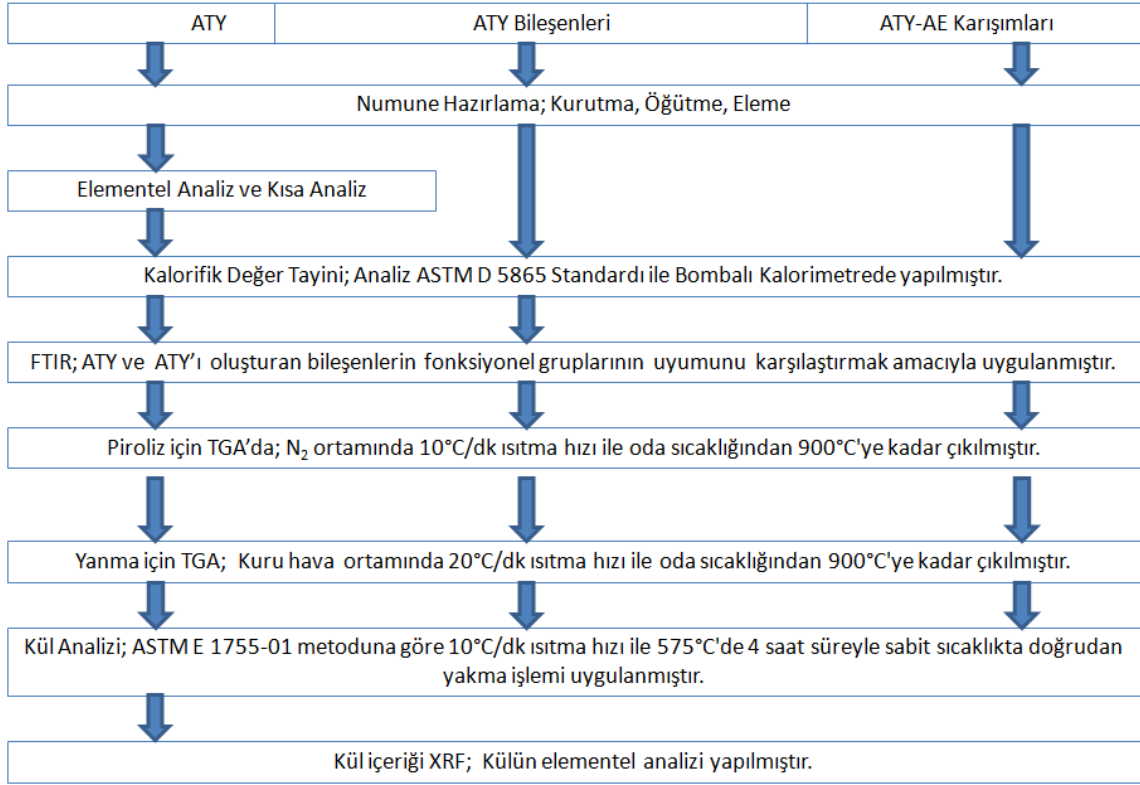
- 4) Parçacık boyutu >80 mm olan tanecikler: yürüyen konveyör bant üzerinde elle işçiler tarafından atık geri kazanım süreci olabilecek maddeler ayrıştırılır. ATY içerisinde cam ve metal gibi yanıcı olmayan maddelerin bulunması istenmez bu nedenle parçalanıp dağılmadan önce atık kompozisyonundan ayrıştırılmalıdır. Metaller ve plastikler türlerine göre her işçi belli bir grubu seçerek yanında yer alan boşluk aracığı ile alt katta yer alan odaya sevk edilir. Türlerine göre ayrıştırılan metaller preslenip balyalanarak stok alanına sevk edilirler. Plastiklerden polietilenteraftalatlar (PET) yıkama ve kırma işleminden sonra çuvallanarak birçok endüstri için hammadde olan pet çapak elde edilir. Diğer grup ise (polietilen ve polipropilen grubu) yıkama işlemi sonrası ısıtılarak granül haline getirilir.
- 5) RDF üretimi: Tüm bu işlemler sonucunda geri dönüştürülemeyen temel bileşenleri poşet, kağıt ve tekstil malzemelerinden oluşan enerji içeriğı yüksek fraksiyon, kaba kırıcı, separatör ve ince kırıcı aşamaları sonrasında ATY'ı oluşturur.

3. MATERYAL VE METOTLAR

Bu çalışmada İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret A.Ş. (İSTAÇ A.Ş.) tarafından İstanbul Sarıyer bölgesinden gelen evsel katı atığın işlenerek atıktan türetilmiş yakıt (ATY) ve ayrıştırılmış atık elyaf (AE) numunesi kullanılmıştır. Atık elyaf, İSTAÇ A.Ş. tarafından ATY çimento fabrikasına gitmeden önce kalorifik değeri arttırmak üzere ATY'a karıştırılmaktadır. Yapılan görüşmelerde ne ATY ne de ATY – AE karışımının piroliz ve yanma süreçlerindeki davranışı incelenmeden doğrudan yakıldığı belirtilmiştir. Tez çalışması kapsamındaki amaç ATY'ın ve ATY-AE karışımlarının piroliz ve yanma süreçlerindeki karakterizasyonunu çıkarmaktır.

Bu amaçla laboratuvar çalışmaları dört temel aşama halinde planlanarak uygulanmıştır. Bu aşamalar aşağıda sıralanarak özetlenmiştir;

1. Atıktan Türetilmiş Yakıtın Karakterizasyonu
 - Kısa analiz (nem, uçucu madde, kül tayini),
 - Elementer analiz,
 - Kalorifik değer,
 - FT-IR ve termal analiz (TGA-DTA) yapılmıştır.
2. Piroliz Karakterizasyonu
 - ATY'ı oluşturan bileşenlerin piroliz profili,
 - ATY-AE karışımlarının piroliz profili,
3. Yanma Karakterizasyonu
 - Yanma profili (ATY'ı oluşturan bileşenler, ATY ve ATY-AE karışımları için),
 - Tutuşma sıcaklığı,
 - Yanma bitiş sıcaklığı,
 - Toplam dönüşüm oranı ve kül oranı incelenmiştir.
4. Kül Analizi
 - Kül oranları
 - Kül içeriği (XRF).



Şekil 3.1 Deneysel yaklaşım.

3.1 Numune Hazırlama

İSTAÇ A.Ş.'den temin edilen ATY deneysel çalışmalarda kullanılabilir hale getirmek amacıyla nem giderme, boyut küçültme ve elek ile boyutlandırma çalışması yapılmıştır.

ATY'ı oluşturan bileşenleri temsil eden kağıt, polipropilen (PP) ve yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) bileşimi bilinen atıklardan temin edilmiştir.

3.1.1 Nem tayini ve nem giderme

Sabit tartıma getirilmiş petri kabına bir miktar numune alınarak 104±3°C sıcaklığa ayarlanmış etüvde 24 saat süreyle kurutma işlemi uygulanmıştır (Numune için kurutma süresi 12 ve 24 saat periyodları için denenmiş ve sabit tartıma 24 saat kurutmada ulaşıldığı tespit edilmiştir). Nem tayini ASTM 3302 standartlarında yapılmıştır. Nem miktarı örneğin ağırlık yüzdesi olarak aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$Nem (\%) = [(g_1 - g_2)/g_1] * 100 \quad (3.1)$$

Burada;

g_1 = Örneğin başlangıç ağırlığı, (g)

g_2 = Kurutulduktan sonraki ağırlığı, (g)

Çizelge 3.1 Nem tayin sonuçları.

Numune Cinsi	Nemli Numune Kütlesi	Kuru Numune Kütlesi	%Nem İçeriği
ATY Numunesi	4,3561	4,1375	~5,0183
Elyaf Numunesi	5,9286	5,8312	~1,6429

3.1.2 Boyut küçültme ve boyutlandırma

Numunelerin önce Waring markalı bıçaklı parçalayıcı ile boyutları küçültülmüş sonra 250µ por açıklığına sahip elekten geçirilmiştir. Çalışmanın devamındaki deneylerde kurutulmuş, öğütülmüş ve 250µ'dan küçük boyuta sahip numuneler kullanılmıştır.

3.2 Elementel Analiz ve Kısa Analiz

Elementel analiz ASTM D 5373 metodu ile kısa analiz ise ASTM E 1755 metoduna göre yapılmıştır. Bu analizler TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezine yaptırılmıştır.

3.3 Kalorifik Değer Analizi

Kalorifik değeri ASTM D 5865 standartlarında bombalı kalorimetre ile numunenin kalorifik değeri tespit edilmiştir. Analizler IKA C5000 cihazının isoperibol modunda gerçekleştirilmiştir.

3.4 Fourier Transform İnfrared Spektroskopisi (FT-IR)

Tez çalışmasında ATY ve ATY'nin bileşenleri olan kağıt, HDPE, PP ve elyaf numunelerinin infrared analizleri için Pelkin Elmer Spectrum 100 modeli FT-IR cihazı kullanılmıştır.

3.5 Termal Analiz

Exstar SII TG/DTA 6300 cihazı kullanılarak termal analizler yapılmıştır. Piroliz işlemi için inert ortam koşulunda 10°C/dk sabit ısıtma hızıyla oda sıcaklığından 900°C'ye çıkılarak bu sıcaklıkta 15 dakika bekletilerek yapılmıştır. Yakma işlemleri ise kuru hava ortamında 20°C/dk sabit ısıtma hızı ile oda sıcaklığından 900°C'ye çıkılarak bu sıcaklıkta 15 dakika bekletilerek yapılmıştır.

3.6 Kül Analizi

Boş bir porselen kroze 575°C'deki fırına konulmuş, fırından çıktıktan sonra desikatörde soğutulmuş ve iki tartım arasındaki fark 0,1 mg oluncaya kadar bu işlem tekrarlanmıştır. Daha önce hazırlanan numuneden ~ 0,5 g tartılmış ve sabit tartıma getirilmiş kroze konulmuştur. Literatürde kül analizi için iki farklı metot önerilmektedir: ASTM E830 ve ASTM E 1755-01. Çalışma kapsamında önerilen her iki metotta denenmiş ve izlenecek metot tayin edilmiştir. Metot tayini için ilk seçenek yakmanın üç aşamada yapıldığı kademeli yakmadır (ASTM E830 metodu). Kademeli yakma aşamalarından ilki dakikada 10°C ısıtma hızı ile 105°C'ye çıkılıp burada 12 dakika bekleme, ikinci aşama dakikada 10°C ısıtma hızı ile 250°C'ye çıkılıp burada 30 dakika bekleme ve son aşama dakikada 20°C ısıtma hızı ile 575°C'ye çıkılıp burada 180 dakika bekleme şeklindedir. Diğer metot (ASTM E 1755-01 metodu) ise sabit sıcaklıkta doğrudan yakmadır. Bu metotta numune dakikada 10°C ısıtma hızı ile 575°C sıcaklığa ulaştıktan sonra 4 saat süreyle yakılmıştır. Numunenin 4 saat sonucunda sabit tartıma geldiği gözlenmiştir. Numunenin kül ağırlık yüzdesi aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır.

$$Kül (\%) = (g_1/g_2) * 100 \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte;

g_1 : Kül ağırlığı, (g)

g_2 : Fırındaki kuru örneğin ağırlığı, (g)

Çizelge 3.2 Kül tayini için metot seçimi.

Metot	Başlangıçtaki numune kütlesi	Yakma sonucundaki kül kütlesi	Metota ek olarak 45 dk sonraki kütle
ASTM E830	0,5084 g	0,1167 g	0,1167 g
ASTM E 1755-01	0,5027 g	0,1163 g	0,1163 g

Çizelge 3.2’de görüldüğü üzere seçilen metotlar ile tam yanma sağlanmıştır ve her iki metot sonucunun yakınlığı nedeniyle ASTM E 1755-01 (sabit sıcaklıkta yakma metodu) metodu ile çalışmaya devam edilmiştir.

3.7 Kül X-Ray Fluorescence (XRF) Analizi

Numune 110°C sıcaklıkta 2 saat bekletilerek nemi uzaklaştırılmış ve %80’i 45 mikron altına geçecek şekilde bağlayıcı katkı maddesi ile öğütüldükten sonra sonar basınçla sıkıştırılarak elde edilen pürüzsüz yüzeyden okuma yapılmıştır. Bu analiz İstanbul Teknik Üniversitesi - Jeokimya Araştırma Laboratuvarındaki Bruker marka S8 Tiger model XRF cihazı ile yarı kantitatif olarak tayin yaptırılmıştır.

4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

4.1 Atıktan Türetilmiş Yakıtın Karakterizasyonu

Atıktan türetilmiş yakıtın kısa analizi için sert ve yumuşak ahşap, otsu maddeler, tarım artıkları, kağıt ve katı fraksiyon için önerilen standart metot ile yapılmıştır. Kısa analiz sonucuna göre bulunan %kül oranı toplam kütle içerisindeki mineral ve inorganik maddelerin oranını ifade etmektedir.

Çizelge 4.1 Kısa analiz (nem, uçucu madde, kül tayini) sonuçları.

Analizler	Birimi	Analiz Sonuçları		Yöntem
		Orijinal Bazda	Kuru Bazda	
Nem	% ağı.	2,32	0	ASTM E 1755
Kül	% ağı.	8,66	8,87	ASTM E 1755
Uçucu Madde	% ağı.	84,98	87	ASTM E 1755
Sabit Karbon	% ağı.	4,04	4,14	**

** Sabit karbon farktan hesaplanarak bulunmuştur.

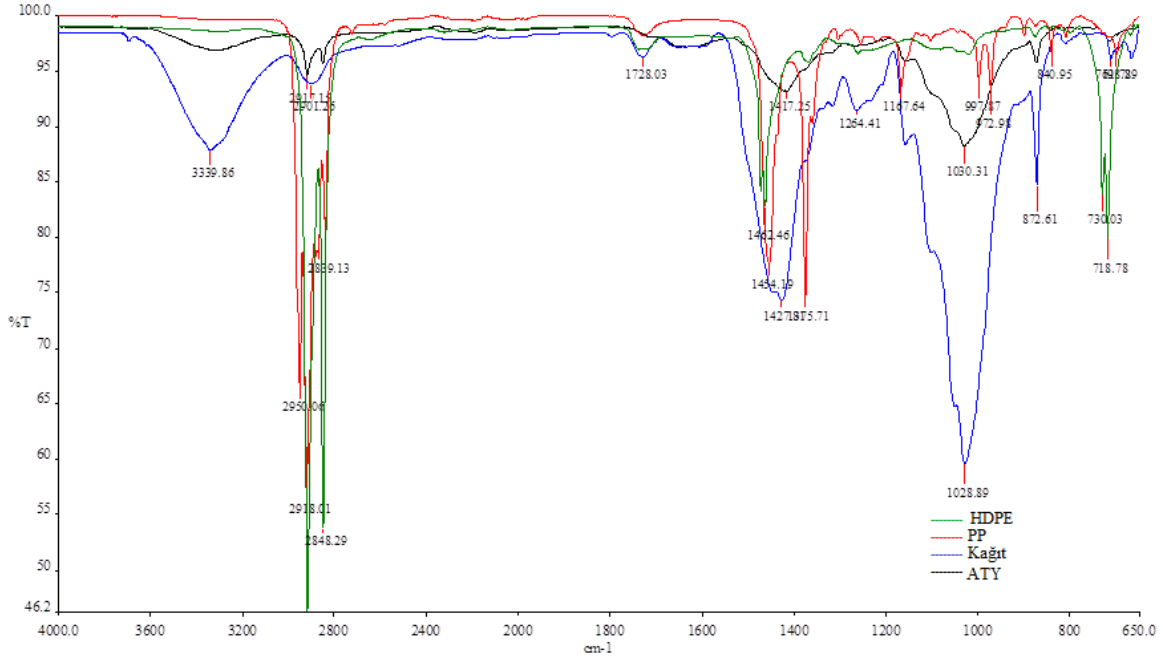
Orijinal bazda için %Sabit Karbon=100-(%Nem+%Uçucu+%Kül)

Kuru bazda için %Sabit Karbon=100-(%Uçucu+%Kül)

Çizelge 4.2 Elementel analiz sonuçları.

Analizler	Birimi	Analiz Sonuçları	Yöntem
		Kuru Bazda	
Karbon	% ağı.	64,95	ASTM D 5373
Hidrojen	% ağı.	7,56	ASTM D 5373
Azot	% ağı.	4,32	ASTM D 5373

ATY ve ATY bileşenlerine ait FTIR sonuçları Şekil 4.1'de görülmektedir. ATY bileşenlerinin ATY ile hemen hemen aynı bölgelerde üst üste gelmeleri fiziksel bir karışım olan ATY'nin içeriğinin kolaylıkla tespit edilebileceğinin bir örneğidir.



Şekil 4.1 ATY ve ATY bileşenlerinin FTIR analizi.

4.2 Piroliz Karakterizasyonu

4.2.1 ATY'yi oluşturan bileşenlerin pirolizi

ATY ve ATY'nin ana bileşenleri (Kağıt, Poşet-HDPE, Polipropilen) için TG ve DTG eğrileri Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de gösterilmiştir.

ATY ve ATY bileşenlerine (Kağıt, PP ve HDPE) ait Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de verilen piroliz profillerinin uyumu ATY'nin bileşenleri hakkında doğru tahmin yapıldığını göstermektedir. Şekil 4.3'de görüldüğü gibi HDPE ve PP bileşenlerinin piroliz karakterlerinin her ikisinde de yalnız bir termal degradasyonun olduğu anlamına gelen keskin ve tek bir pik görülmüştür. HDPE ve PP bozunması 350-500°C arasında oluşmuş ve maksimum kütle kayıp sıcaklıkları PP için 459°C ve HDPE için 482°C'de görülmüştür. Bu aşamada PP ve HDPE için toplam dönüşüm sırasıyla % 95,3 ve % 95,2 olarak hesaplanmıştır.

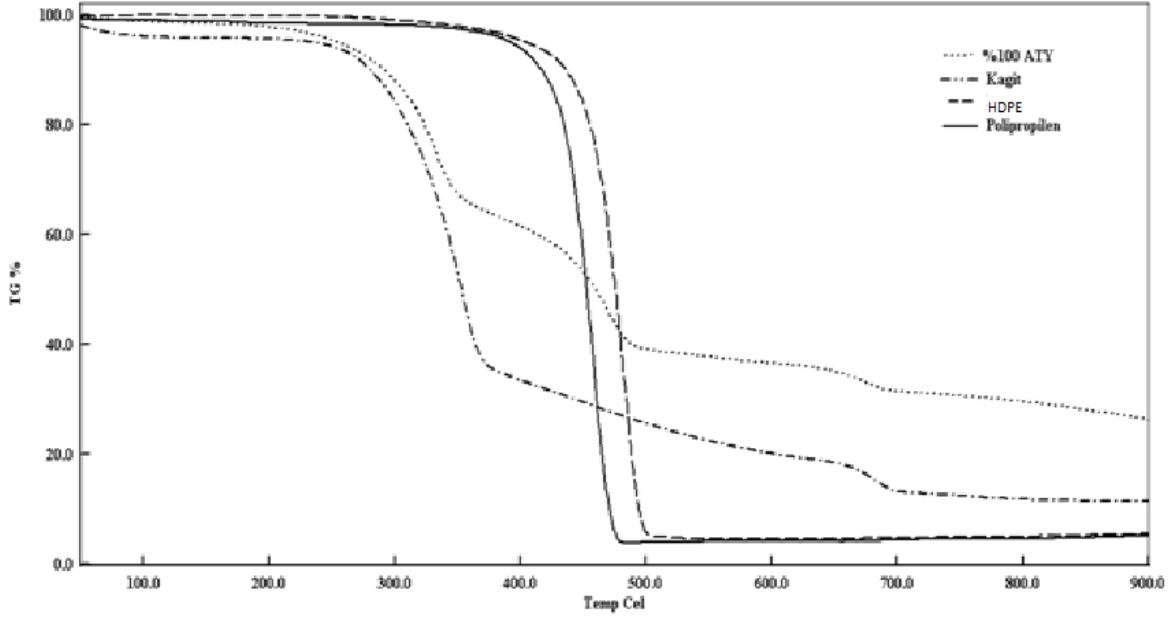
Şekil 4.3'de görüldüğü gibi plastik bileşenin bozunması kağıt bileşenlere nazaran daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmiştir. Kağıdın piroliz profilinde kütle kayıpları 295-375°C ve 654-701°C bölgelerinde olmak üzere iki kademedede gerçekleşmiştir. Kağıdın selülozik fraksiyonu için maksimum kütle kaybı (%63) 355°C'de görülürken ve 686°C'de olan ikinci pik ise kağıt ve plastik malzemelin üretiminde kullanılan

çoğunlukla CaCO_3 olarak bulunan katkı kaynağının CaO ve CO_2 'e ayrışmasını temsil etmektedir. CaCO_3 'ün bozunmasına ilişkin benzer profil daha önceki çalışmalarda da gözlenmiştir. (Skreiberg vd., 2011; Chen vd., 2011; Lia vd., 2012 ve Laio ve Ma, 2012).

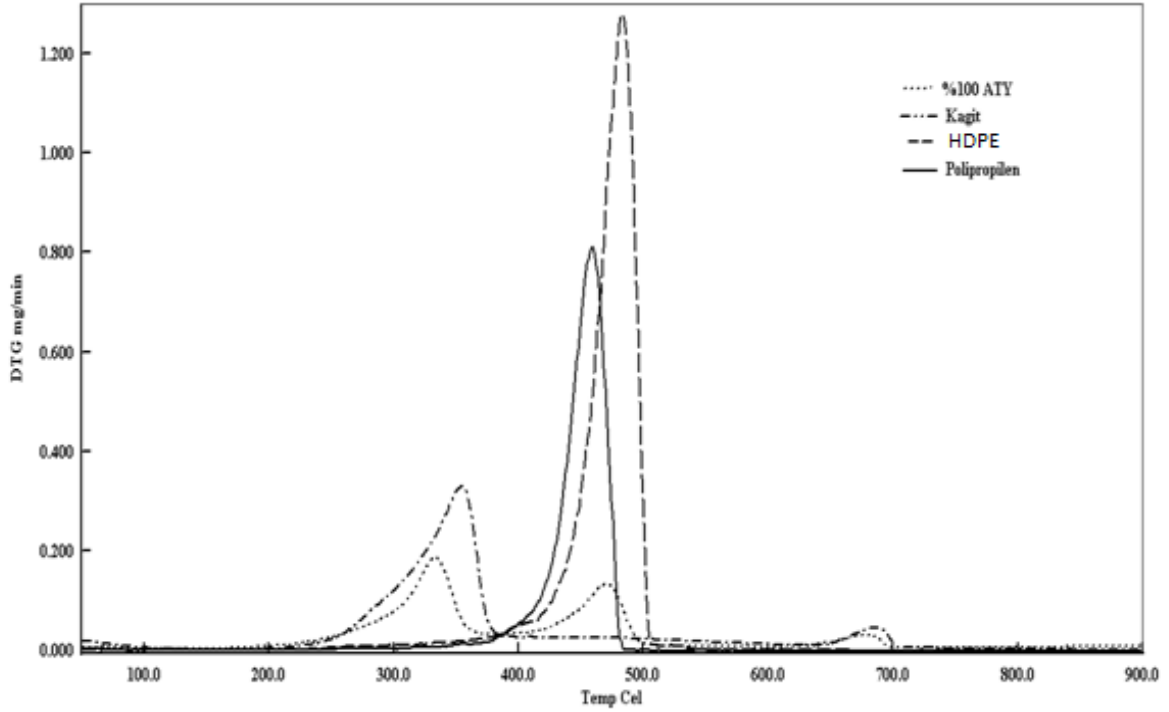
ATY ve bileşenlerine ait piroliz sonucunda Şekil 4.3'de görüldüğü üzere anlamlı bir seri elde edilmiştir. ATY'nin dekompozisyonu düşük sıcaklık bölgesindeki %1,6 ($< 110^\circ\text{C}$) nemin giderilmesi haricinde üç aşamada gerçekleşmiştir. İlk aşama $293\text{-}355^\circ\text{C}$ aralığında gerçekleşen selülozik fraksiyonun bozunmasıdır. Selülozik fraksiyon için maksimum kütle kaybı 333°C 'de gözlenmiştir. Literatürde biyokütlenin pirolizi ile ilgili olarak, hemiselüloz, selüloz ve lignin için başlıca dekompozisyon sıcaklıkları sırasıyla $220\text{-}315^\circ\text{C}$, $315\text{-}400^\circ\text{C}$ ve $160\text{-}900^\circ\text{C}$ olduğu bilinmektedir (Yang vd., 2007, Chen vd., 2011 ve Lai vd., 2012).

ATY piroliz profilindeki ikinci pik $430\text{-}495^\circ\text{C}$ aralığında gözlenen plastik fraksiyon kaynaklıdır. Plastik fraksiyon için maksimum kütle kaybı 470°C 'de gözlenmiştir, bu değerin Şekil 4.3'de görüldüğü gibi ATY'nin plastik fraksiyonundan kaynaklanan ikinci pik PP ve HDPE bileşenlerine ait pik sıcaklıklarının arasındadır. ATY pirolizinde 678°C 'de görülen üçüncü pik ($634\text{-}696^\circ\text{C}$ arasında) ise kağıt bileşeninden kaynaklanan CaCO_3 'ün ayrışmasına aittir. Kağıt ve ATY'ye ait TG profilleri karşılaştırıldığında her ikisinde de aynı sıcaklık aralığında CaCO_3 'dan kaynaklanan eğriler görülmüştür.

Skodras ve diğerlerini (2009) çalışmalarına göre, ATY'nin pirolizi iki aşamada gerçekleşmiştir. Birinci aşama $200\text{-}400^\circ\text{C}$ arasında görülen selüloz, hemiselüloz ve lignin dekompozisyonunu ve ikinci aşama $450\text{-}500^\circ\text{C}$ aralığında görülen plastik bileşenlerin degradasyonunu temsil etmektedir. Birçok çalışmaya göre yüksek sıcaklıklarda bozunmadan sorumlu olarak yalnız plastik fraksiyon kabul edilmesine rağmen, aynı zamanda $220\text{-}400^\circ\text{C}$ sıcaklık aralığında tepkimeye girmemiş ligninin 500°C üzerindeki sıcaklıklarda bir piroliz reaksiyonuna uğrayabileceği beklenmektedir. (Huang vd., 2011 ve Jiang vd., 2012).



Şekil 4.2 ATY'ı oluşturan bileşenlerin piroliz profili için elde edilen TG eğrileri.



Şekil 4.3 ATY'ı oluşturan bileşenlerin piroliz profili için elde edilen DTG eğrileri.

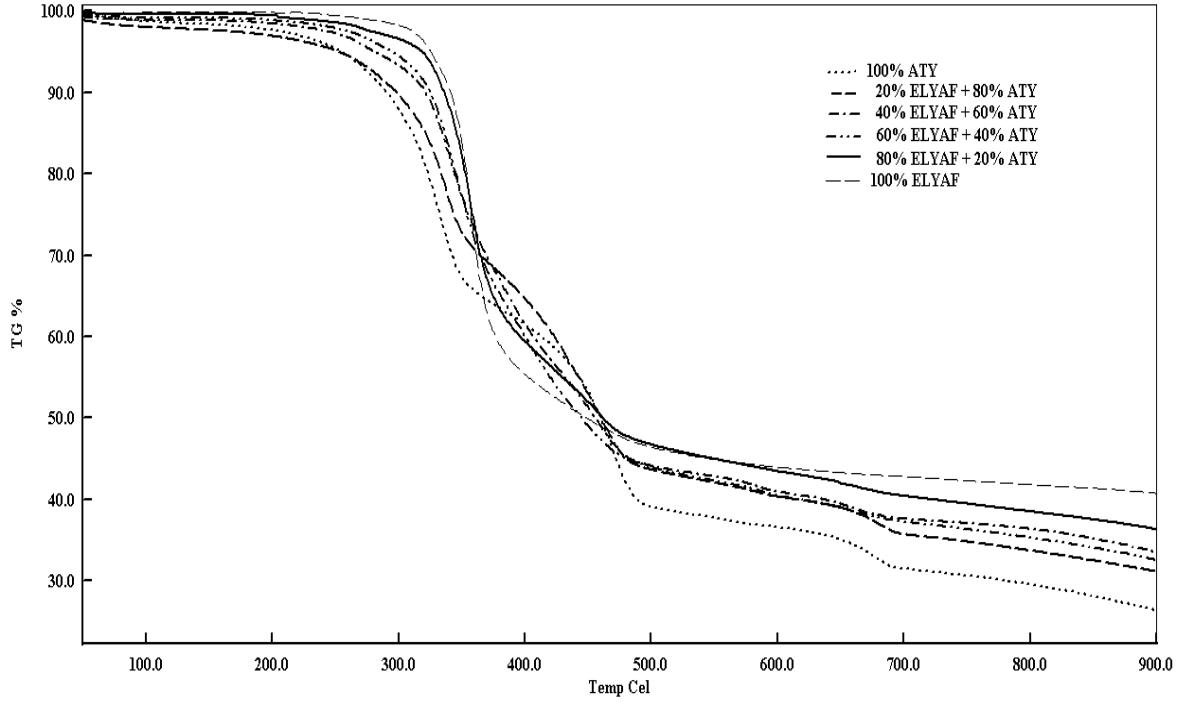
4.2.2 ATY-AE karışımlarının pirolizi

ATY ve ATY-AE karışımlarına ait TG ve DTG eğrileri Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de görüldüğü gibi karışımlara ait eğriler ana bileşenlere ait eğriler arasındadır. ATY içerisine farklı oranlarda AE karıştırılması sonucunda pik yükselteleri ve pik sıcaklıklarında hafif bir değişim olduğu gözlenmiştir. Numune içindeki AE oranı arttıkça selülozik fraksiyondan kaynaklanan pikte artış olmuştur.

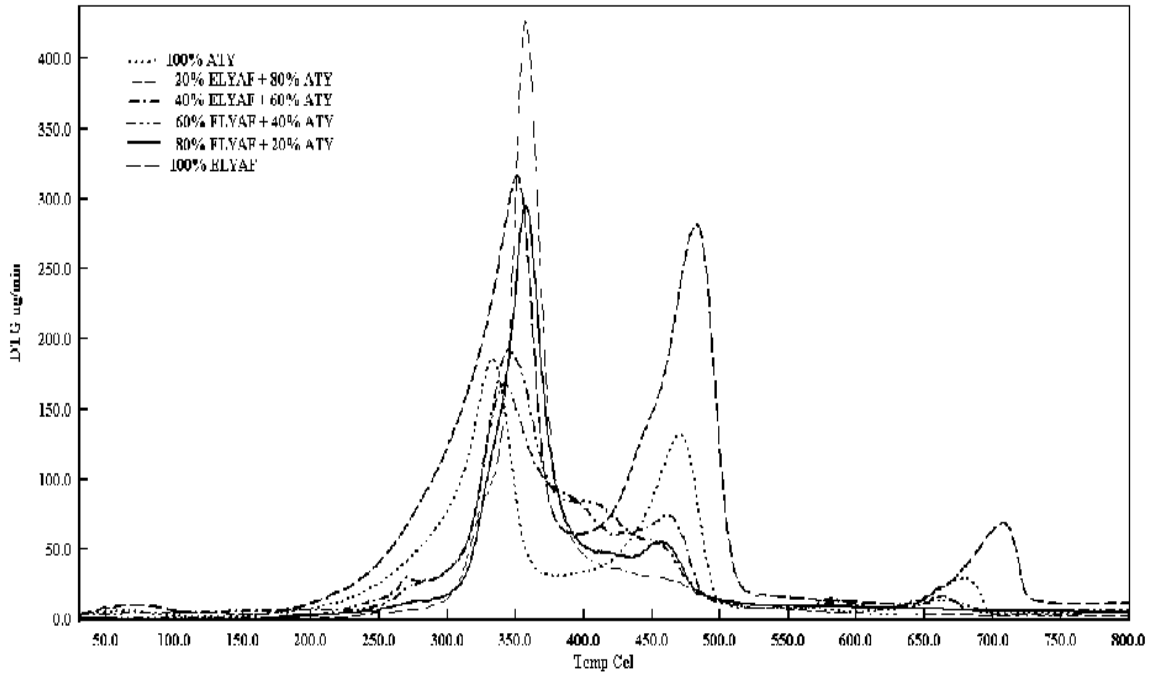
Atık elyafa ait piroliz profilinde kütle kayıpları 210-593°C aralığında birbirini takip eden üç aşamada gerçekleşmiştir. 339-379°C aralığında gözlenen maksimum kütle kaybının yaşandığı 358°C’deki pike birleşik konumdaki birinci aşama 210-339°C aralığında küçük bir omuz gösterir. 379-500°C aralığında kısa bir omuz gösteren ve kütle kaybını 593°C civarında sona erdiği görülmüştür. 593°C’de kütle kaybı %55,9 olduğu tespit edilmiştir. 593-900°C aralığında kütle kayıp oranı bir miktar değişerek %59,2 olmuştur. Burada birinci hemiselülozun dekompozisyonuna, ikinci aşama selüloz dekompozisyonuna bağlı olabilir. Miranda ve diğerleri (2007) tekstil atıklarının piroliz profilini benzer olarak tespit etmişlerdir. Profiller arasındaki temel fark Miranda ve diğerleri (2007) pamuklu kumaş atığı kullanmaları nedeniyle nihai kalıntı miktarının daha az olmasıdır.

ATY-AE karışımlarında AE ağırlık yüzdesi arttıkça devolatilizasyon sıcaklığı daha yüksek sıcaklıklara kaymıştır. Karışım yüzdeleri % 80 ATY, % 60 ATY, % 40 ATY ve % 20 ATY için sırasıyla devolatilizasyon başlangıç sıcaklıkları 307,4°C, 310°C, 311,2°C ve 337°C gözlenmiştir. Bu dört karışım yüzdeleri için pik sıcaklıkları 338 °C, 460 °C, 585 °C ve 670 °C civarında bulunmaktadır.

ATY ve AE karışımlarının pirolizi sonucunda (900°C) kalan char (karbonca zengin katı) kütlelerinde AE miktarının artırılması ile char miktarı da artmıştır. Diğer bir ifadeyle AE oranı arttıkça termal ayrışma reaksiyonu boyunca kütle kayıp oranı azalmıştır.



Şekil 4.4 ATY-AE karışımlarının piroliz profili için elde edilen TG sonuçları.

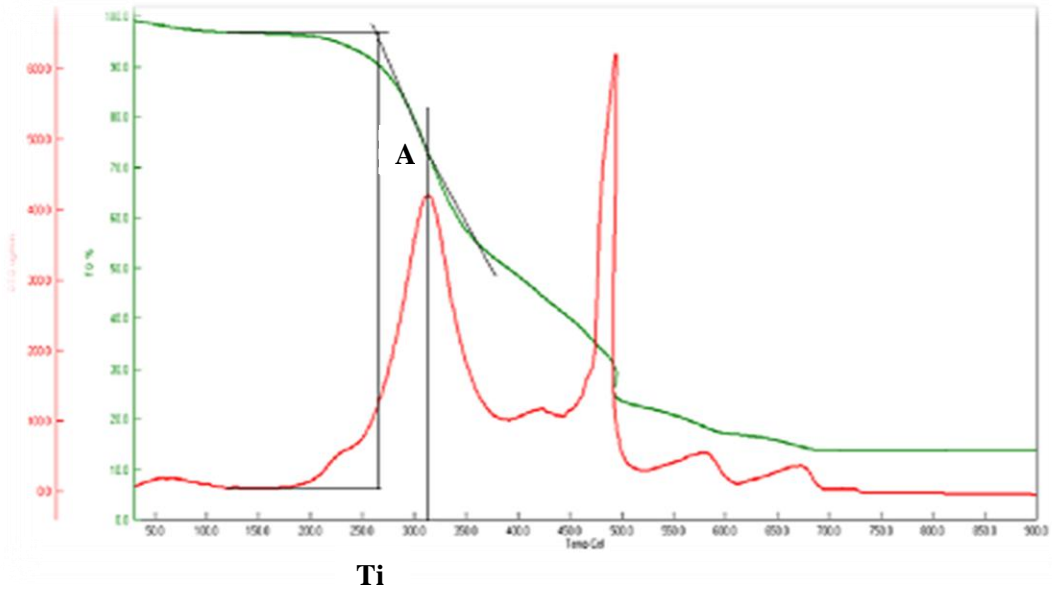


Şekil 4.5 ATY-AE karışımlarının piroliz profili için elde edilen DTG sonuçları.

4.3 Yanma Karakterizasyonu

Yanma profili bir malzemenin oksitleyici atmosfer altında yanarken ısıya karşı ağırlık kaybı oranı olarak tanımlanmaktadır (Haykırı-Açma 2003 ve Li vd., 2009). Yanma işlemini karakterize etmek için, tutuşma sıcaklığı, yanma bitiş sıcaklığı, pik sıcaklığı ve toplam dönüşüm parametreleri yanma profilini belirler.

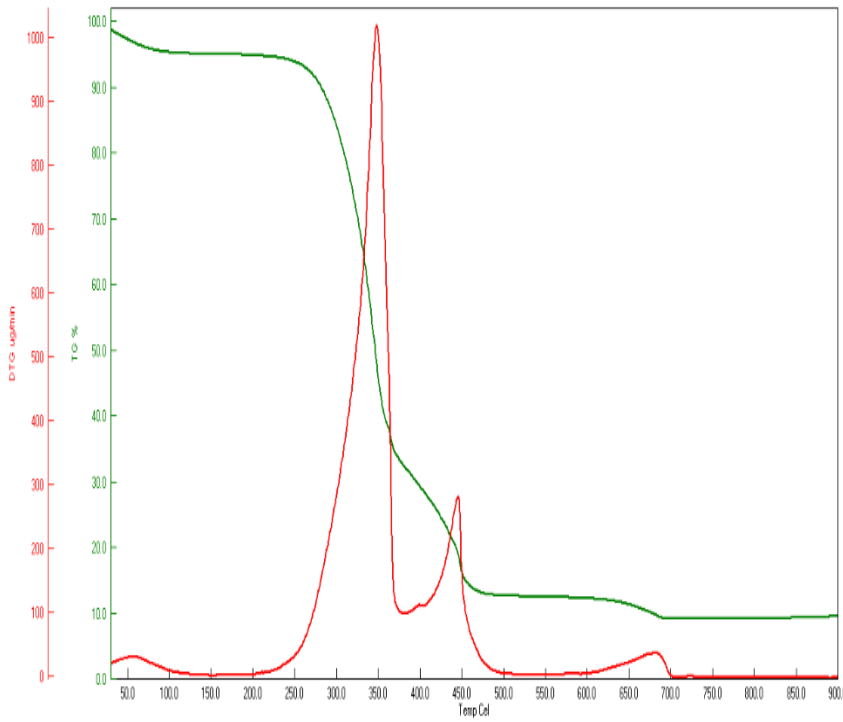
Bu çalışmada Li ve diğerleri (2009) çalışmasında kullanılan TG-DTG eğrilerinden teğet yöntemi ile tutuşma sıcaklığı ve yanma bitiş sıcaklığı bulma metodu kullanılmıştır. Şekil 4.6 üzerinde bu metodun nasıl uygulandığı görülmektedir. Yanma olayının başladığı tutuşma sıcaklığını tespit etmek için DTG eğrisindeki ilk pikin tepe noktasından geçen bir dik doğru çizilir bu doğrunun TG eğrisini kestiği nokta bulunur (A noktası). TG eğrisini kestiği noktanın teğeti ile TG eğrisinin başındaki düz bölgenin teğetinin kesiştiği noktanın iz düşümü bize tutuşma sıcaklığını gösterir (Ti noktası). Pik noktaları DTG eğrisinde görülen tepelerin iz düşümünden okunan sıcaklıklardır. Yanma bitiş sıcaklığı ise DTG ve TG eğrilerindeki dalgalanmaların tamamen bittiği noktanın iz düşümünden okunan sıcaklık değeridir.



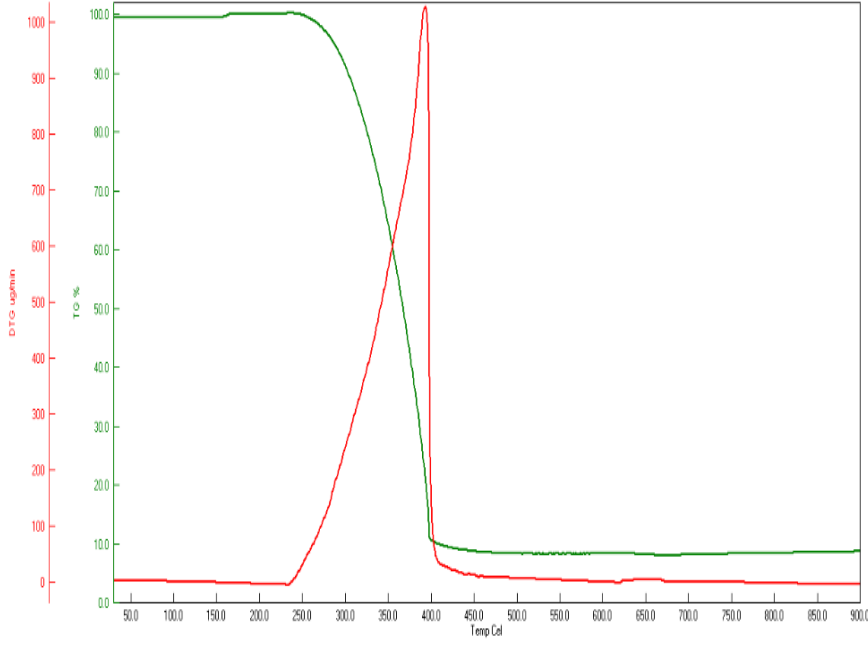
Şekil 4.6 TG ve DTG eğrilerinden faydalanarak yanma profili parametrelerinin belirlenmesi.

ATY bileşenleri, ATY-AE karışımları ve ATY'nin 20°C/dk ısıtma hızı ve kuru hava ortamında 30-900°C aralığında elde edilen termal veriler Şekil 4.7 – Şekil 4.16 gösterilmektedir. Tüm TG ve DTG eğrilerinde oda sıcaklığı ile 110°C arasındaki kütle kaybı nemin buharlaşmasından kaynaklanmaktadır.

Piroliz ile karşılaştırıldığında, termal ayrışma başlangıç sıcaklığı kuru havadaki oksijen tarafından sağlanan reaktif ortamı nedeniyle daha düşük bir değere kaymıştır. Şekil 4.7’de kağıt TG-DTG eğrilerinde (110°C altındaki nemin uzaklaşması haricinde) üç aşama gözlenmiştir. Birinci aşama uçucuların oluşumunu, ikinci aşama uçucular ile birlikte char’ın (karbonca zengin katı) yanmasını, üçüncü pik ise CaCO₃’ün kalsinasyon reaksiyonu sonucu CaO ve CO₂’ye ayrışmasına karşılık gelmektedir. Üçüncü pike ait pik sıcaklığı 682,5°C olarak tespit edilmiştir. Krigstin ve Sain (2008) çalışmalarında, geri dönüştürülmüş kağıt fabrikası atığının hava ortamında karbonat dekompozisyonunun 607-803°C sıcaklık aralığında gerçekleştiğini göstermiştir.

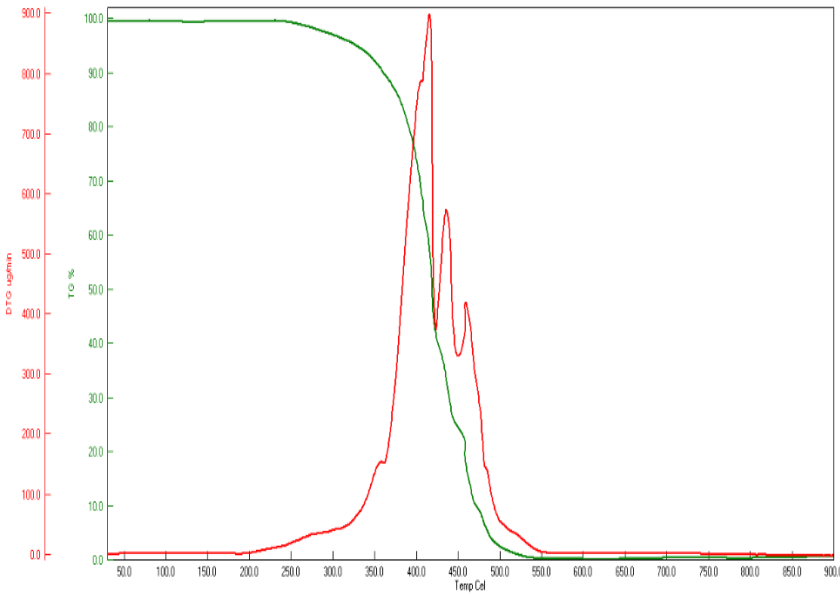


Şekil 4.7 Kağıt numunesine ait TG-DTG eğrileri.



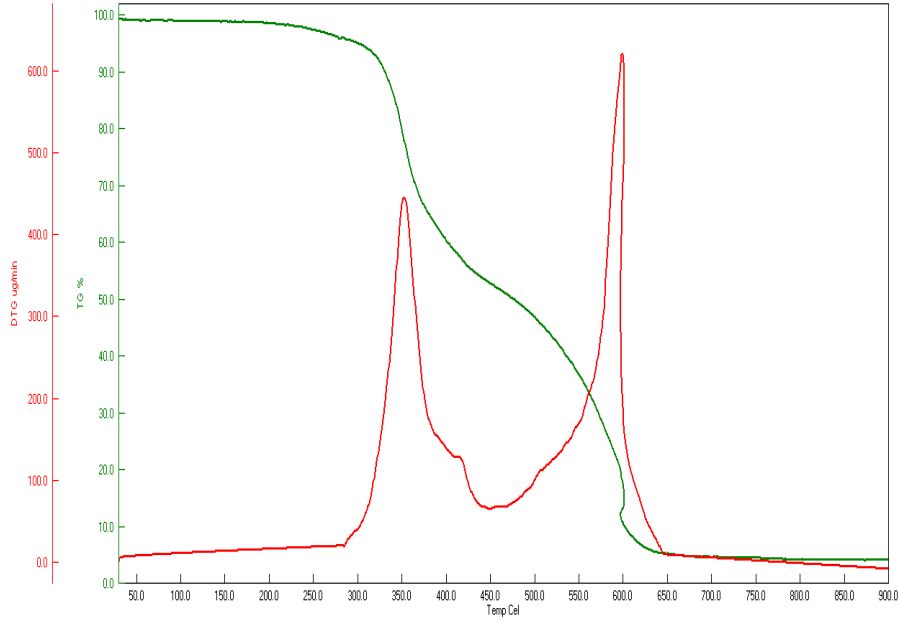
Şekil 4.8 PP numunesi için TG ve DTG eğrileri.

Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da görülen PP ve HDPE için uçucuların oluşması ve yanması eş zamanlı olarak gerçekleşmiştir. PP için termal bozunma 240°C civarında başlamış, 319°C’de tutuşmuş ve maksimum kütle kayıp oranı 393°C’de gerçekleşmiştir. Hava ortamında HDPE’nin termal bozunması 250°C civarında başlamış, 371°C’de tutuşmuş ve çoklu adımlardan sonra 588°C civarında tamamlanmıştır.



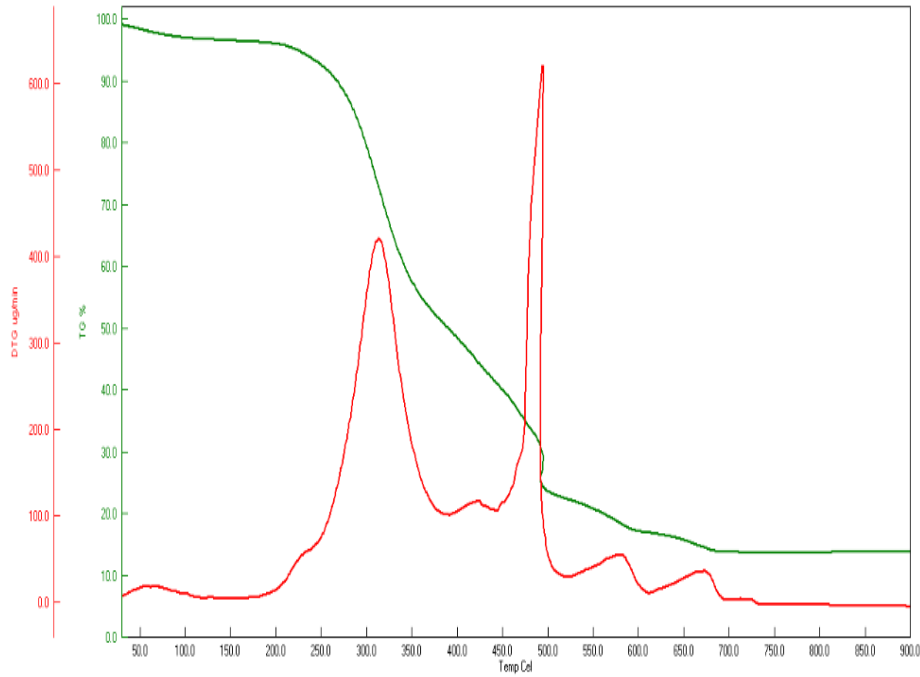
Şekil 4.9 HDPE numunesi için TG ve DTG eğrileri.

Şekil 4.10’da görüldüğü gibi elyafın yanma profilinde 353°C ve 599°C’de maksimum kütle kayıplarına ait iki pik oluşmuştur. Piroliz profili ile karşılaştırıldığında, buharlaşma adımı benzer, ancak pik oluşumu oksidatif atmosferden dolayı biraz daha erken meydana gelmiştir. ATY ve AE profilleri karşılaştırıldığında ATY düşük tutuşma sıcaklığına sahiptir, plastik fraksiyonunda uçucu madde miktarının yüksek olmasına bağlı olabilir. Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de görüldüğü üzere ATY elyaftan daha fazla reaktiftir. Bu nedenle ATY-AE karışımlarında elyaf oranı arttıkça tutuşma sıcaklığı da daha yüksek sıcaklıklara kaymaktadır.



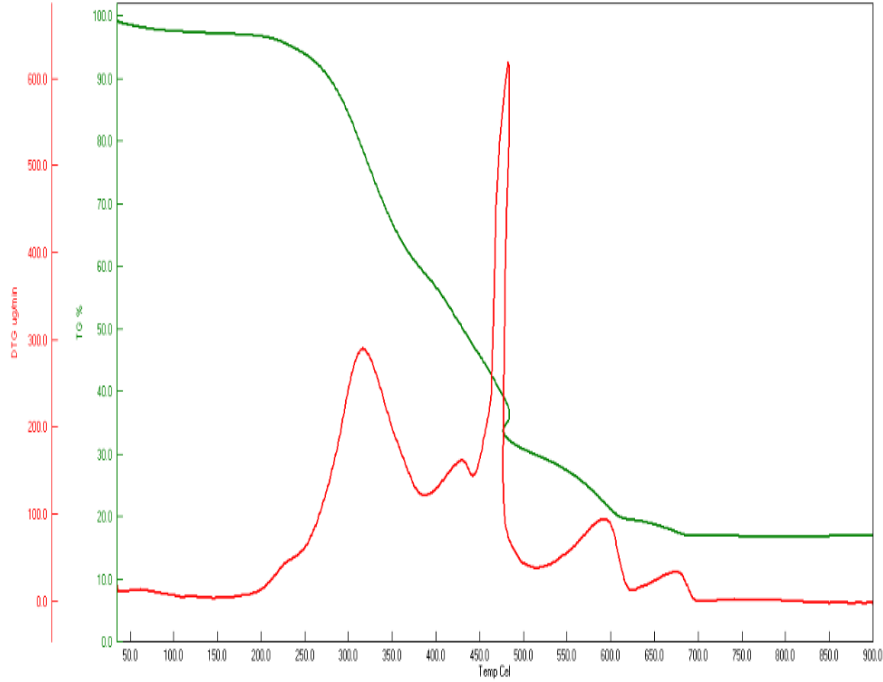
Şekil 4.10 Atık Elyaf numunesi için TG ve DTG eğrileri.

Şekil 4.11 de görülen ATY termal bozulması devolatilizasyon (1. ve 2. pikler), char yanması (3. ve 4. pikler) ve kalsiyum karbonatın termal bozulmasından (5. pik) kaynaklanan beş aşamadan oluşmaktadır. Uçucuların uzaklaşmasına ait ilk iki pike ait sıcaklıklar sırasıyla 313,6°C ve 494,1°C olarak belirlenmiştir. Karbonca zengin katının yanmasına ait üçüncü ve dördüncü piklerin sıcaklıkları ise 580,5°C ve 672,6°C olduğu ve son olarak kağıt fraksiyon kaynaklı oluşan son pik sıcaklığının 740,3°C olduğu görülmüştür.

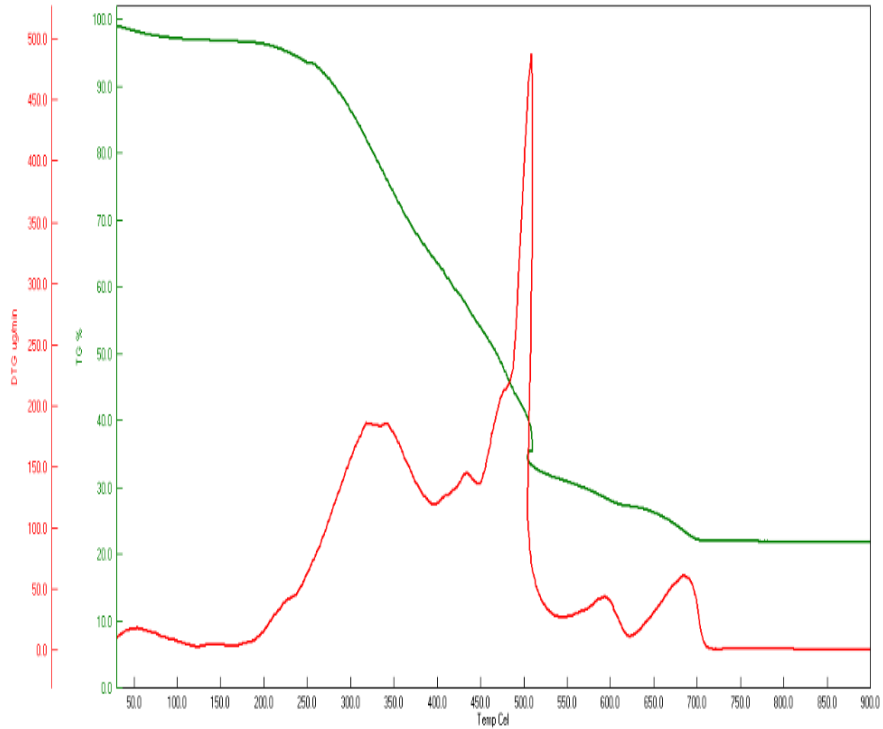


Şekil 4.11 %100 ATY için TG ve DTG eğrileri.

Şekil 4.12 de görülen ATY bakımından zengin karışıma ait yanma profilinin ATY'ye ait yanma profiline çok benzediği görülmektedir. Nem giderme dışında yanma beş kademede gerçekleşmiş. 1 ve 2. pikler devolatilizasyon (256–456°C), 3 ve 4. pikler yanma (456-617,4°C) ve 5. pik kalsiyum karbonatın degradasyonuna (628-694°C) aittir.

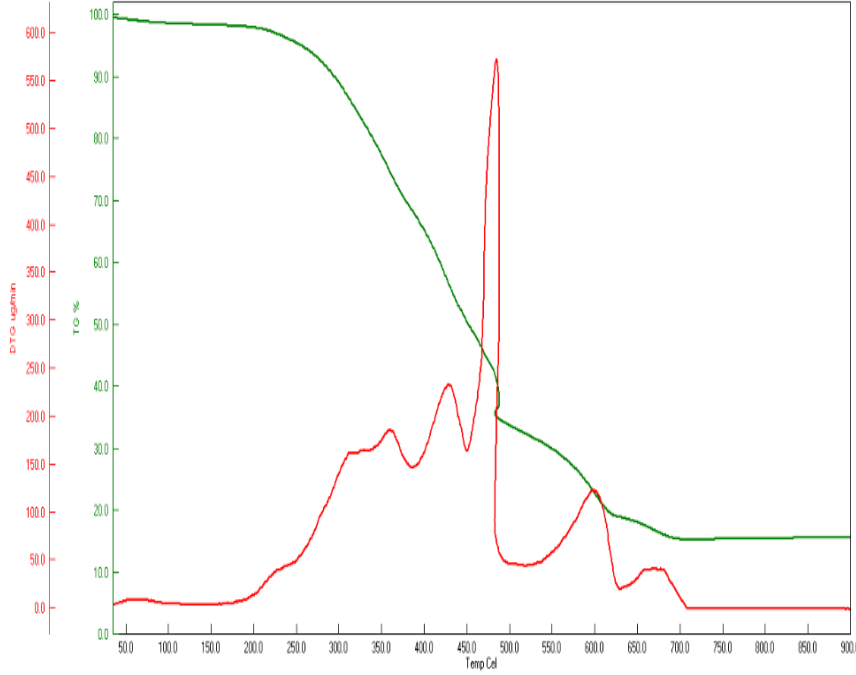


Şekil 4.12 %80 ATY -%20 AE karışımı için TG ve DTG eğrileri.

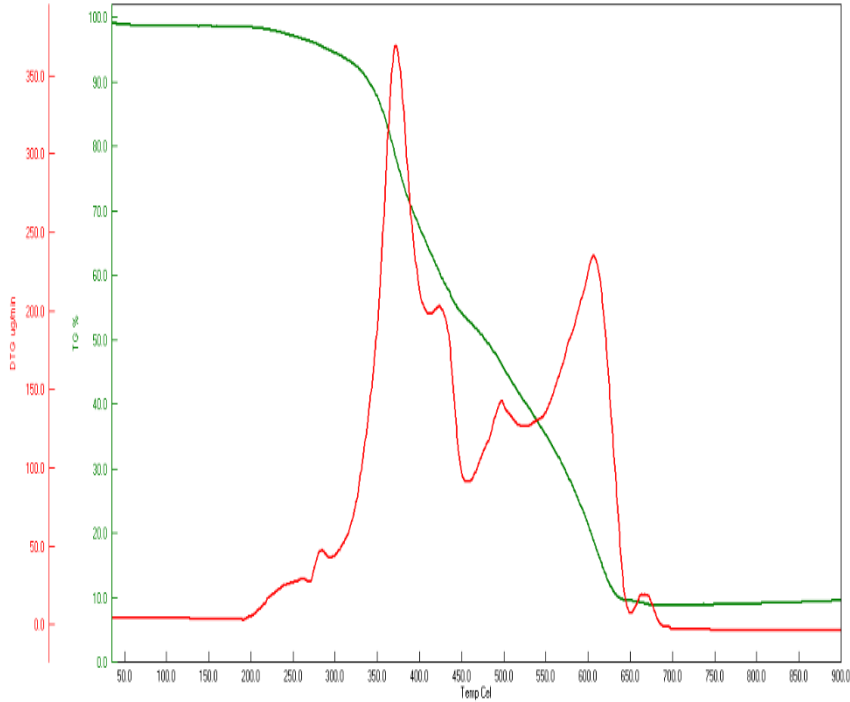


Şekil 4.13 %60 ATY -%40 AE karışımı için TG ve DTG eğrileri.

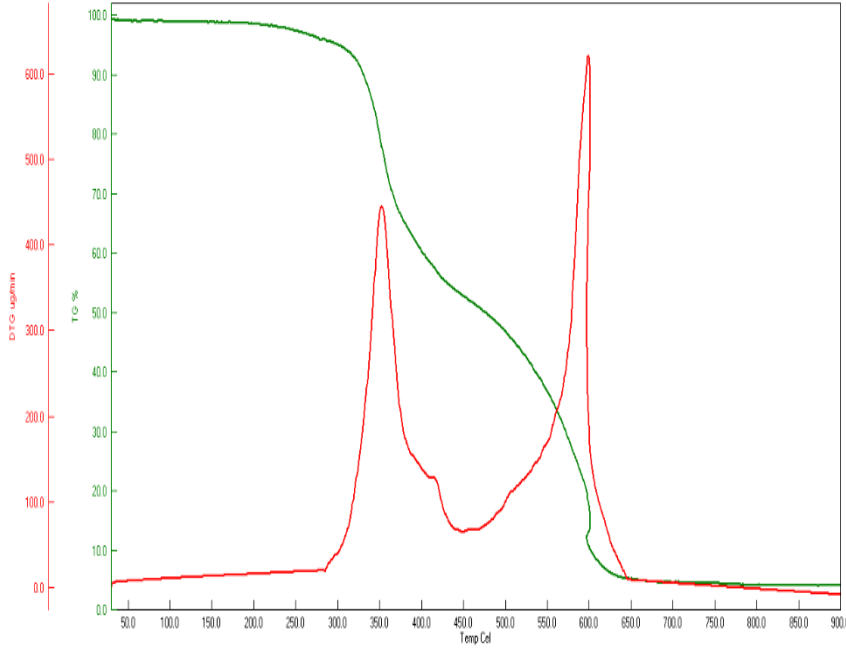
Şekil 4.13, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15 birlikte incelendiğinde ATY'ye ait karakteristik pikleri hepsinin barındırdığı ancak karışımdaki AE oranı arttıkça pik şiddetleri değişmekte, yanma profilleri Şekil 4.16 da görülen AE yanma profiline daha çok benzemektedir. Lignin oranı arttıkça yanma pikinde ötelenme olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.14 %40 ATY -%60 AE karışımı için TG ve DTG eğrileri.



Şekil 4.15 %20 ATY -%80 AE karışımı için TG ve DTG eğrileri.



Şekil 4.16 %100 Atık Elyaf için TG ve DTG eğrileri.

CaCO₃'ün yüksek sıcaklıklarda bozunması nedeniyle ATY'nin yanma reaksiyonunun hemen hemen tamamlanması 700°C'nin üstüne çıkmayı gerektirmektedir. Karışımlarda elyaf katkısının oranı arttıkça CaCO₃'a ait pikin şiddeti azalsa da yanma süresi kısalmamaktadır. Vamvuka ve diğerleri (2009) çalışmasına göre asit ile yıkamak suretiyle karbonat mineralinin giderilebileceği önerilmiş dolayısıyla yanma süresinin kısaltılabileceğinin mümkün olabileceği belirtilmiştir.

Yanma profilini belirlemede kullanılan parametreler için elde edilen veriler Çizelge 4.3'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 Yanma profiline ait parametreler.

Numune	Tutuşma Sıcaklığı (°C)	Pik Sıcaklıkları (°C)					Yanma Bitiş Sıcaklığı (°C)	Toplam Dönüşüm Oranı (%)	Kül İçeriği (%)
		T1	T2	T3	T4	T5			
Kağıt	300	348	445,9	682,5	-	-	700	89,7	10,3
HDPE	371	415,8	435,6	459,2	-	-	860	99,4	0,6
PP	319	392,8	-	-	-	-	730	91,2	8,8
%100 ATY	262	313,6	494,1	580,5	672,6	740,3	733	85,2	14,8
%80 ATY	265	315,5	482,1	592,2	674,2		730	82,5	17,5
%60 ATY	267	318	433,8	508,8	593	684,7	729	77,4	22,6
%40 ATY	281	359,7	428,4	485,3	597,5	668,8	710	84,1	15,9
%20 ATY	330	371,8	607,2	-	-	-	710	90,4	9,6
%100 AE	327	352,8	598,8	-	-	-	715	94,5	5,5

Çizelge 4.3’de görüldüğü üzere ATY-AE karışımları içerisinde AE oranı arttıkça kül oranı azalmaktadır. Yanma prosesi sonucunda elde edilen kül inorganik maddeden oluşur. Karışım içinde AE oranı %20’den %80’e çıkması durumunda kül miktarı %17,5’den %9,6’ya düşmüştür.

Beklendiği gibi karışım içerisinde AE oranı arttıkça karışımın ısıl değeri de artmıştır. Çizelge 4.4’de görüldüğü üzere ısıl değer artışı AE oranı artışına paralel olarak artmamıştır. Bu durumun en büyük nedeninin ATY’nin heterojen oluşunun getirdiği kalorifik değer farklılığı olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.4 Elyaf katkısının kalorifik değer üzerindeki etkisi.

Numune Türü	Numune Kütlesi (g)	Numune Kalorifik Değeri (cal/g)	Ortalama Kalorifik Değer (cal/g)
%100 ATY Numunesi	0,3016	4886	~ 4884
	0,3010	4888	
	0,3008	4877	
%80 ATY + %20 Elyaf Numunesi	0,2506	4983	~ 4894
	0,2500	4868	
	0,2508	4832	
%60 ATY + %40 Elyaf Numunesi	0,2503	5001	~ 5087
	0,2503	5145	
	0,2507	5114	
%40 ATY + %60 Elyaf Numunesi	0,2501	5319	5339
	0,2502	5315	
	0,2503	5383	
%20 ATY + %80 Elyaf Numunesi	0,2506	5786	5863
	0,2504	5864	
	0,2502	5939	
%100 Elyaf Numunesi	0,3017	6202	~ 6121
	0,2005	6271	
	0,2011	5891	

4.4 Kül Analizi

ATY veya ATY-AE karışımlarıyla ilgili potansiyel endişe ne kadar kül oluşturduğu ve içeriğindeki iz element miktarıdır. Kül, değişik konsantrasyonlarda çeşitli inorganik elementler içerir. Başlıca külü oluşturan elementler (Al, Ca, Fe, K, Mg, Na, P, Si, Ti) yakma sistemlerinde korozyona sebep olmaları nedeniyle belirlenmelidir (Baerthaler vd., 2006). Ayrıca ikincil kül oluşturu elementlerin (As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Tl, V, Zn) belirlenmesi potansiyel çevresel etkiler için gereklidir (Baerthaler vd., 2006). Çizelge 4.6'daki XRF sonuçlarına göre külün büyük kısmını CaO, SiO₂ ve Al₂O₃ oluşturmaktadır. Özellikle kağıt üretiminde CaCO₃ ve kaolin kili (Al₂O₃.2SiO₂.2H₂O) kullanıldığı için ATY külünde de bu bileşiklere ait elementlerin bulunması olağandır. İkincil kül elementleri içerisinde ise Cu, Zn ve Ba'un ATY külü içinde de olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.5 Kül tayini sonucunda elde edilen veriler.

Numunenin Bileşimi	Numunenin Kütlesi	Elde Edilen Külün Kütlesi	% Kül İçeriği
% 100 ATY	0,5020 g	0,1111 g	~ 22,13
% 80 ATY- %20 Elyaf	0,5039 g	0,1157 g	~ 22,96
% 60 ATY- %40 Elyaf	0,5006 g	0,1158 g	~ 23,13
% 40 ATY- %60 Elyaf	0,5024 g	0,0917 g	~ 18,25
% 20 ATY- %80 Elyaf	0,5030 g	0,0507 g	~ 10,08
% 100Elyaf	0,5018 g	0,0255 g	~ 5,08

Çizelge 4.6 ATY külünün XRF sonuçlarına bağlı karakterizasyonu.

Numune Adı	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cr ₂ O ₃	SO ₃	Cl	Toplam
% ATY Külü	17,93	7,70	3,96	2,00	35,82	1,96	2,30	1,80	1,39	0,12	0,05	3,35	1,19	79,57

Numune Adı	Ag	Ba	Br	Cu	Nb	Ni	Pb	Rb	Sn	Sr	Y	Zn	Zr
ATY Külü (ppm)	48	1105	53	2445	12	130	418	44	289	611	16	1146	140

5. SONUÇ

ATY, ATY bileşenleri ve ATY-AE karışımları için yapılan termal analiz sonucunda;

- ATY plastik fraksiyon temsilcileri olarak seçilen PP ve HDPE 350-500°C aralığında sıcaklıklarda tek kademeli piroliz profili göstermiştir.
- ATY selülozik fraksiyonu (kağıt ve doğal elyaf) düşük sıcaklıklarda (200°C civarında) ayrışmaya başlamıştır. ATY'nin kağıt bileşenindeki mineral dolgu (örneğin CaCO₃) nedeniyle 686°C civarında dekompoze olduğu gözlenmiştir.
- ATY kendi bileşenlerinden (Kağıt, HDPE, PP ve AE) daha düşük sıcaklıklarda dekompoze olmuştur.
- ATY çok aşamalı piroliz profili sergilemiştir. Kütle kaybının ilk aşaması ATY'nin biyokütle bileşenlerinin ayrışmasına bağlı olarak, ikinci aşaması ATY'nin plastik fraksiyonlarına bağlı olarak ve üçüncü aşaması mineral dolguya (CaCO₃) bağlı olarak oluşmuştur.
- ATY'nin AE ile karıştırılması sonucunda kalorifik değeri artmıştır, ancak tutuşma sıcaklığını da daha yüksek sıcaklıklara kaydırmıştır. Ayrıca piroliz işleminde AE katkısı işlem sonundaki kalıntı miktarını arttırmıştır.
- ATY külünün büyük kısmı CaO, SiO₂ ve Al₂O₃ oluşturmaktadır. İkincil külü oluşturan elementler içerisinde konsantrasyonu yoğun olan elementlerin Cu, Zn ve Ba olduğu tespit edilmiştir.
- Yapılan çalışmada termal proses sonrasında oluşan gazlar incelenememiştir. Çalışmanın daha anlamlı hale getirilebilmesi için termal analizatöre GC/TCD veya GC/FID bağlanması faydalı olacaktır.
- Ülkemizde atıkların kaynağında ayrılmaması nedeniyle kullanılan ATY numunesi birçok materyal içermektedir. Bu çalışmada temsili olarak seçilen birkaç temel bileşen (kağıt, HDPE, PP ve AE) ile ATY'nin termal profili karşılaştırılmıştır. Seçilen

bileşenlerle örtüşen sonuçlar elde edilmiş olsa da ATY içerisinde olabilecek farklı bileşenlerle çalışma geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

Abu- Qudais M. ve Abu Qdais H. A., 2000: Energy Content Of Municipal Solid Waste in Jordan and Its Potential Utilization. *Energy Conversion and Management*, 41, 983-991.

Akpınar N., 2006: Kentsel Katı Atıklardan Enerji Üretimi, İTÜ Enerji Bilimi ve Teknolojileri Birimi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Atık Yönetimi Eylem Planı 2008-2012, Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Mayıs-2008, Ankara.

Avrupa Birliği Resmi İstatistik Kurumu EUROSTAT, 08/3/2011 tarihli 37/2011 istatistik verileri.

Baerenthaler G., Zischka M., Haraldsson C., Obernberger I., 2006: Determination of major and minor ash-forming elements in solid biofuels, *Biomass and Bioenergy*, 30, 983-997.

Burgess F., Lloyd P. D. W., Fennell P. S., Hayhurst A. N., 2011: Combustion of polymer pellets in a bubbling fluidised bed, *Combustion and Flame*, 158, 1638-1645.

California Enerji Komisyonu Resmi Sitesi

www.energy.ca.gov/development/biomass/msw.html.

Caputo A. C., Pelagagge P. M., 2001: RDF production plants: I Design and costs, *Applied Thermal Engineering*, 22, 423-437.

Chang Y.-H., Chen W.C., Chang N.-B., 1998: Comparative evaluation of RDF and MSW incineration, *Journal of Hazardous Materials* 58, 33–45.

Chen H., Zhao W., Liu N., 2011: Thermal Analysis and Decomposition Kinetics of Chinese Forest Peat under Nitrogen and Air Atmospheres, *Energy Fuels*, 25, 797-803.

Cozzani V., Nicoletta C., Petarca L., Rovatti M., Tognotti L., 1995: A Fundamental Study on Conventional Pyrolysis of a Refuse-Derived Fuel, *Ind. Eng. Chem. Res.* 34, 2006-2020.

Ebrahimi-Kahrizsangi R., Abbasi M. H., 2008: Evaluation of reliability of Coats-Redfern method for kinetic analysis of non-isothermal TGA, *Trans. Nonferrous Met. Soc. China* 18, 217-221.

Erdem M., Ercan Çubukcu E., Türkmen M.; 2010; Türkiye’de Evsel Atık Yönetiminde Yakma Teknolojileri, 2. Atık Teknolojileri Sempozyumu ve Sergisi (IWES), İstanbul.

Fischer P. E., Jou C. S., Gokalgandhi S. S., 1987: Obtaining the Kinetic Parameters from Thermogravimetry Using a Modified Coats and Redfern Technique, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 26, 1037-1040.

Haykırı-Açma H., 2003 Combustion Characteristic of different biomass materials, *Energy Conversion and Management* 44, 155-162.

Heide, J. ve Eisma, M., 1997: Soil Management part 3: Municipal solid waste disposal selected topics, Delft University of Technology.

Huang Y.F., Kuan W.H., Chiueh P.T., Lo S. L., 2011: A sequential method to analyze the kinetics of biomass pyrolysis, *Bioresource Technology* 102, 9241–9246.

Jiang Z., Liu Z., Fei B., Cai Z., Yu Y., Liu X., 2012: The pyrolysis characteristics of moso bamboo, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 94, 48–52.

Katı Atık Ana Projesi (KAAP) Nihai Rapor, Cilt 1, Çevre ve Orman Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetimi Daire Başkanlığı, İstanbul, 2006.

Krigstin, S. G., Sain, M.; 2008; Determination of the mineral constituents of recycled paper mill sludge. TAPPI Journal June, 9-14.

Lai Z., Ma X., Tang Y., Lin H., Chen Y., 2012: Thermogravimetric analyses of combustion of lignocellulosic materials in N₂/O₂ and CO₂/O₂ atmospheres, Bioresource Technology, 107, 444-450.

Liao Y. F., Ma X.Q., 2010: Thermogravimetric analysis of the co-combustion of coal and paper mill sludge, Applied Energy, 87/11, 3526-3532.

Li Q., Zhao C., Chen X., Wu W., Li Y., 2009: Comparison of pulverized coal combustion in air and in O₂/CO₂ mixtures by thermo-gravimetric analysis, J. Anal. Appl. Pyrolysis 85, 521–528.

Lin K.-S., Wang H. P., Liu S.-H., Chang N.-B., Huang Y.-J., Wang H.-C., 1999: Pyrolysis kinetics of refuse-derived fuel, Fuel Processing Technology 60, 103–110.

McKendry P., 2002: Energy production from biomass (part 2): Conversion Technologies, Bioresource Technology 83, 47–54.

Miranda R., Sosa-Blanco C., Bustos-Marinez D., Vasile C., 2007: Pyrolysis of textile wastes I. Kinetics and yields, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 80, 489-495.

Pantoleonos G., Basinas P., Skodras G., Grammelis P., Pintér J. D., Topis S., Sakellariopoulos G.P., 2009: A global optimization study on the devolatilisation kinetics of coal, biomass and waste fuels, Fuel Processing Technology 90, 762–769.

Ptáček P., Kubátová D., Havlica J., Brandštetr J., Šoukal F., Opravil T., 2010: The non-isothermal kinetic analysis of the thermal decomposition of kaolinite by thermogravimetric analysis, Powder Technology 204, 222–227.

Ranzi E., Dente M., Faravelli T., Bozzano G., Fabini S., Nava R., Cozzani V., Tognotti L., 1997: Kinetic modeling of polyethylene and polypropylene thermal degradation, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 40-41, 305-319.

Saltabaş F., Soysal Y., Yıldız Ş., Balahorli V., 2009: Evsel Katı Atık Termal Bertaraf Yöntemleri ve İstanbul'a Uygulanabilirliği, TÜRKAY 2009 Türkiye'de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu YTÜ, İstanbul.

Seo D.K., Park S.S., Hwang J., Yu T., 2010: Study of the pyrolysis of biomass using thermo-gravimetric analysis (TGA) and concentration measurements of the evolved species, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 89, 66-73.

Skodras G., Grammelis P., Basinas P., Prokopicidou M., Kakaras E., Sakellariopoulos G. P., 2009: A Thermochemical Conversion Study on the Combustion of Residue-Derived Fuels, *Water Air Soil Pollut: Focus* 9, 151–157.

Skreiberg A., Skreiberg Ø., Sandquist J., Sørum L., 2011: TGA and macro-TGA characterisation of biomass fuels and fuel mixtures, *Fuel* 90, 2182–2197.

Sørum L., Grønli M. G., Hustad J. E., 2001: Pyrolysis Characteristics and Kinetics of Municipal Solid Wastes, *Fuel* 80, 1217-1227.

Taskan, O., 2001: Depolama sahası gazlarının yönetimi ve modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, i.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Türkmen M., Ateş E., Erdem E. M., 2011: Atıktan Enerji Üretiminin Belediye Atıkları Yönetimi Açısından Değerlendirilmesi, 17. Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı, ICCI Bildiriler Kitabı, 210-214.

Urbanovici E., Popescu C., Segal E., 1999: Improved Iterative Version of the Coast-Redfern Method to Evaluate Non-Isothermal Kinetic Parameters, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Vol. 58, 683-700.

Várhegyi G., Bobály B., Jakab E., Chen H., 2011: Thermogravimetric Study of Biomass Pyrolysis Kinetics. A Distributed Activation Energy Model with Prediction Tests, *Energy Fuels*, 25, 24–32.

Vamvuka D., Salpigidou N., Kastanaki E., Stakiotakis S., 2009: Possibility of using paper sludge in co-firing applications, *Fuel* 88, 637-643.

Varır A., 2011: Atıkların Alternatif Yakıt Olarak Enerji Amaçlı Kullanımı, ICCI Bildiriler Kitabı, 36-40.

Wesilind, P.A., Worrell, W.A., Reinhart, D.R., 2002: Solid waste engineering, Pacific Grove, CA.

White J. E., Catallo W. J., Legendre B. L., 2011: Biomass pyrolysis kinetics: A comparative critical review with relevant agricultural residue case studies, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 91, 1–33.

Yang H.P., Yan R., Chen H. P., Lee D. H., Zheng C. G., 2007: Characteristics of hemicellulose, cellulose and lignin pyrolysis, *Fuel* 86, 1781-1788.

Yolcu, .D., 1999: Bursa katı atık yönetimi, Kent Yönetimi insan ve Çevre Sorunları Sempozyumu, İstanbul, 17-19 Subat, 300-312.

Zhou L., Luo T., Huang Q., 2009: Co-pyrolysis characteristics and kinetics of coal and plastic blends, *Energy Conversion Management* 50, 705–10.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Hilal AYDEMİR

Doğum Yeri ve Tarihi: Van- 13/6/1985

E-Posta: hilalaydemir@gmail.com

Lisans: Atatürk Üniversitesi - Kimya Mühendisliği A.B.D.

Mesleki Deneyim ve Ödüller:

- Ayçiçeği Yağından Yağ Asidi ve Gliserin Üretimi (Lisans Bitirme Projesi)
- Benzenin Kısmî Oksidasyonu İle Maleik Anhidrit Üretimi (Lisans Bitirme Projesi)
- Atıktan Türetilmiş Yakıtın Termokimyasal Dönüşüm Karakterinin İncelenmesi (Master Bitirme Projesi)
- Atıktan Türetilmiş Yakıtın Termokimyasal Dönüşüm Karakterinin İncelenmesi (Bilimsel Araştırma Projesi)

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- Pyrolysis and Combustion Characteristics of RDF-Waste Fibre Blends, Waste Management (Makale, Değerlendirme aşamasında)
- Pyrolysis of Olive Pomace and Co-Pyrolysis of Olive Pomace with Refuse Derived Fuel, Environmental Progress & Sustainable Energy (Makale, Değerlendirme aşamasında)