



**BİYOKÜTLE KATKILI ATIKTAN TÜRETİLMİŞ
YAKITLARIN YANMA DAVRANIŞLARININ
İNCELENMESİ**

Gizem AYAS

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Teknolojileri Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Hakan F. ÖZTOP
AĞUSTOS-2018**

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOKÜTLE KATKILI ATIKTAN TÜRETİLMİŞ YAKITLARIN
YANMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gizem AYAS
(161143111)

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği Teknolojileri
Programı: Termodinamik ve Isı Tekniği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hakan F. ÖZTOP

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 24 Temmuz 2018

AĞUSTOS – 2018

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİYOKÜTLE KATKILI ATIKTAN TÜRETİLMİŞ YAKITLARIN
YANMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gizem AYAS

(161143111)

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği Teknolojileri

Programı: Termodinamik ve Isı Tekniği

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 24 Temmuz 2018

Tezin Savunulduğu Tarih: 7 Ağustos 2018

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Hakan F. ÖZTOP (F.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri:

Dr. Öğr. Üyesi Melek YILGIN (F.Ü.)

Dr. Öğr. Üyesi Erdem IŞIK (M.Ü.)

AĞUSTOS – 2018

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanan bu çalışmada; atıktan türetilmiş yakıtların, yakıt değerleri, yanma karakterizasyonları ve bu yakıtların büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi ve arıtma çamuru ile belirli oranlarda karışımlarının yanma karakterizasyonuna etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Hakan F. ÖZTOP'a, sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici olan Doç. Dr. Mediha KÖK ve Dr. Öğr. Üyesi Melek YILGIN'A sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmam boyunca benden desteklerini hiç esirgemeyen Enerji laboratuvarı ailesine ve arkadaşlarım Muhammed GÜR, Okan ÇELİK, Eda BAKIR ve Ayşe KARAKAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmasında elde edilen veriler, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) birimi tarafından TEKF 17.14 numaralı proje kapsamında finanse edilerek gerçekleştirilmiştir. Desteklerinden dolayı FÜBAP birimine teşekkür ederim.

Tez çalışmamda bana katkılarından dolayı MİMSAN GRUP ve İSTAÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan her koşulda yanımda olan aileme de sonsuz teşekkürler ederim.

Gizem AYAS
ELAZIĞ – 2018

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	I
ÖZET.....	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VI
TABLolar LİSTESİ.....	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ.....	IX
KISALTMALAR	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Belediye katı atığı.....	1
1.1.1. Atık yönetimi.....	5
1.1.1.1. Kaynak azaltma	6
1.1.1.2. Maddesel geri dönüşüm.....	7
1.1.1.3. Enerji geri kazanımı ve ısı dönüşüm	7
1.2. ATY (Atıktan Türetilmiş Yakıt) tanımı, hazırlama aşamaları ve ATY'den enerjiye geçiş.....	11
1.2.1. ATY'den ısı işlemleriyle enerji geri kazanımı	14
1.2.1.1. ATY'nin pirolizi ve gazlaştırılması.....	15
1.2.1.2. ATY'nin yakılması.....	16
1.3. Literatür taraması.....	19
2. MATERYAL ve METOT	27
2.1. Numune hazırlama.....	27
2.2. Numunelerin termal karakterizasyonunun ve yakıt değerlerinin incelenmesi	30
2.2.1. Kısa analiz	30
2.2.2. Isıl değer analizi	31
2.2.3. Elementel analiz	32
2.2.4. XRF analizi.....	33
2.2.5. TGA (Termal gravimetrik analiz) ve çalışma prensibi.....	34
2.2.6. DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre) analizi ve çalışma prensibi.....	37
3. BULGULAR	39
3.1. Kısa analiz sonuçları.....	39
3.2. Isıl değer analiz sonuçları.....	42

3.3. Elementel analiz sonuçları.....	43
3.4. XRF analiz sonuçları	45
3.5. TGA (Termal gravimetrik analiz)	48
3.5.1. ATY1, ATY2, büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi ve arıtma çamuru numunelerinin TGA sonuçları	48
3.5.2. Karışımların TGA sonuçları	54
3.5.2.1. Büyükbaş hayvan gübresi katkılı ATY1 numunesinin TGA sonuçları.....	54
3.5.2.2. Güvercin gübresi katkılı ATY1 numunesinin TGA sonuçları	59
3.5.2.3. Arıtma çamuru katkılı ATY1 numunesinin TGA sonuçları.....	63
3.6. DSC analiz sonuçları	68
4. SONUÇLAR.....	73
5. ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR.....	76
ÖZGEÇMİŞ.....	82

ÖZET

Ev, hastane ve ofis vb. yerlerdeki insanların günlük yaşamlarını sürdürebilmek için gösterdikleri faaliyetlerin sonucunda meydana gelen, mobilya, boya, pil, gıda atığı, poşet, şişe, kumaş, elyaf gibi atıklardan oluşan heterojen bir yapıya sahip olan atıklara belediye katı atığı denir. Belediye katı atıklarının içerisindeki geri dönüşümü ve yeniden kullanımı mümkün olmayan, poşet, kumaş, elyaf, gibi atıkların belirli işlemlerden geçirilerek yeniden yakıt haline gelmesiyle oluşan yüksek ısı değere sahip ikincil yakıtlara ise Atıktan Türetilmiş Yakıt (ATY) denir.

Bu tez çalışmasında, farklı tarihlerde temin edilen ATY1 (Aralık ayında alınan) ve ATY2 (Haziran ayında alınan), büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi ve arıtma çamuru örnekleri kullanılmıştır ve bu örnekler için elementel, kısa, ısı değeri, X-Işını flüoresan (XRF), termal gravimetrik analiz (TGA) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizleri yapılmıştır. Uygulanan analizlerde ATY numunelerinden yakıt kalitesi yüksek olan belirlenip onunla kütlece %10, %30 ve %70 oranlarında gübre çeşitleri karıştırılarak yanma karakterizasyonları incelenmiştir.

Analizlerde, ATY numuneleri için yakıt kalitesi kıyaslandığında, ATY1 numunesinin daha verimli bir yakıt olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle, karışımlar ATY1 numunesi ile yapılmıştır. Büyükbaş hayvan gübresi ile yapılan karışımlardan %10 büyükbaş hayvan gübresi katkılı ATY'nin, ATY1 numunesinden bile daha iyi yandığı gözlemlenmiştir. Bu değerin üstündeki karışımlarda ise yanmayı olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Güvercin gübresi-ATY1 karışımında elde edilen verilerden, ATY1'e katılan güvercin gübresinin belirli bir ara değere kadar yanmayı ATY1 numunesinin yanma karakteristiğine yaklaştırdığı, o değerin üstünde ve altında olumsuz etki gösterdiği sonucuna varılmıştır. Arıtma çamuru ile yapılan karışımlarda da güvercin gübresi ile aynı sonuç gözlemlenmiş olup, elde edilen verilerden yanmayı belirli bir ara değere kadar ise ATY1 numunesinin yanma karakteristiğine yaklaştırdığı, o değerin üstünde ve altında olumsuz etki gösterdiği görülmüştür. Sonuç olarak, yakıt karışımlarının yanmayı belirli oranlarda olumlu belirli oranlarda olumsuz yönde etkilediği ve aylara göre ATY içeriğinin değişmesi sebebiyle yakıt değerleri ve karakterizasyonunun değişimi gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atıktan türetilmiş yakıt (ATY), Diferansiyel Taramalı Kalorimetre, Termal Karakterizasyon, Gübre

SUMMARY

Analysis of combustion behaviours of biomass additive RDFs

Industrial and domestic wastes that have a heterogeneous structure consisting of furniture, paint, batteries, food waste, sachets, bottles, fabrics, fibers and other wastes in home and office etc. places where are the result of the activities that people show to sustain their daily lives are called municipal solid waste. RDF can be defined as a wastes in MSW such as plastics, fibers, fabric etc. They can not recycle and they can burn in a useful system after render process.

In this thesis study, samples of RDF1 (taken in December) and RDF2 (taken in June) samples obtained from different periods, bovine fertilizer, pigeon fertilizer and swage sludge were used and ultimate, proximate, thermal value, X-ray Fluorescence (XRF) , thermogravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC) analysis were carried out. In the analysis conducted, RDF with high fuel quality was determined from the RDF samples. Combustion characteristics were investigated by mixing 10%, 30%, 70% of fertilizer types with this RDF sample.

It has been observed that RDF1 sample is a more efficient fuel when the fuel quality for RDF samples is compared in the analyzes. For this reason mixtures were made with RDF1 sample. It was observed that the RDF supplemented with 10% bovine fertilizer was even better than the RDF1 sample. It was seen that the mixture above this value affected the combustion in the negative direction. Pigeon fertilizer can help combustion of RDF1 for lower values. After these values its effect in combustion process become negative. Effect of pigeon fertilizer on combustion of sewage sludge show the similar with RDF. As a result, changes in fuel values and characterization have been observed due to the fact that the fuel mixtures affect the combustion in certain positive and negative proportions and the ATY content changes according to the month.

Keywords: Refuse Derived Fuel, Differential Scanning Calorimetry, Thermal Characterization, Fertilizer

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Ülkelerin gelir seviyesine bağlı kentsel katı atık (KKA) bileşenlerinin değişimi [3].....	2
Şekil 1.2. Türkiye’de belediye atıklarının yıllara göre içerik değişimi [4]	4
Şekil 1.3. İzmir ilinin Alaybey ve Mavişehir mahallerinden toplanan katı atıkların içerikleri [1].....	5
Şekil 1.4. Atık yönetim seçenekleri öncelik sırası [7].....	6
Şekil 1.5. Avrupa’da atık yönetim metotlarının kullanım oranları [8].....	8
Şekil 1.6. 32 Avrupa’da Belediye Atık Yönetiminin Geliştirilmesi, 2001-2010 [10]	8
Şekil 1.7. Katı atıkların ATY’ye dönüşüm şeması.....	13
Şekil 1.8. Atıkların görüntüsü a) Belediye Katı Atığı [18] ve b) Atıktan türetilmiş yakıt [19].....	14
Şekil 1.9. Odunun üç farklı dikey bölümünde CO'nun kütle fraksiyonu, ilk simetri düzlemi [27].....	18
Şekil 1.10. Odunun üç farklı dikey bölümünde O ₂ 'nin kütle fraksiyonu, ilk simetri düzlemi [27].....	18
Şekil 2.1. Hassas terazi	28
Şekil 2.2. Arıtma çamuru.....	28
Şekil 2.3. Kül Fırını	30
Şekil 2.4. Nem tayin cihazı.....	31
Şekil 2.5. Bomba Kalorimetresi	32
Şekil 2.6. Elementel analiz cihazı.....	33
Şekil 2.7. XRF analiz cihazı	34
Şekil 2.8. Termalgravimetrik analiz sisteminin şematik diyagramı[54]	35
Şekil 2.9. TGA cihazı	36
Şekil 2.10. Peletlenmiş numune	36
Şekil 2.11. DSC cihazının çalışma sisteminin şematik diyagramı[54]	37
Şekil 2.12. DSC cihazı.....	38
Şekil 3.1. ATY1 numunesinin TGA ve DTA eğrileri	49

Şekil 3.2. ATY2 numunesinin TGA ve DTA eğrileri	50
Şekil 3.3. Büyükbaş hayvan gübresinin TGA ve DTA eğrileri.....	51
Şekil 3.4. Güvercin gübresinin TGA ve DTA eğrileri	52
Şekil 3.5. Arıtma çamuru TGA ve DTA eğrileri.....	53
Şekil 3.6. Büyükbaş hayvan gübresi katkısı %10, %30 ve %70 olan ATY1 numunelerinin TGA eğrileri.....	55
Şekil 3.7. Büyükbaş hayvan gübresi katkısı %10, %30 ve %70 olan ATY1 numunelerinin DTA eğrileri.....	56
Şekil 3.8. Güvercin gübresi katkısı %10, %30 ve %70 olan ATY1 numunelerinin TGA eğrileri.....	60
Şekil 3.9. Güvercin gübresi katkısı %10, %30 ve %70 olan ATY1 numunelerinin DTA eğrileri.....	61
Şekil 3.10. Arıtma çamuru katkısı %10, %30 ve %70 olan ATY1 numunelerinin TGA eğrileri.....	64
Şekil 3.11. Arıtma çamuru katkısı %10, %30 ve %70 olan ATY1 numunelerinin DTA eğrileri.....	65
Şekil 3.12. ATY1 numunesi için a) DSC eğrisi, b) TGA eğrisi.....	68
Şekil 3.13. ATY2 numunesi için a) DSC eğrisi, b) TGA eğrisi.....	69
Şekil 3.14. Büyükbaş hayvan gübresi için a) DSC eğrisi, b) TGA eğrisi	70
Şekil 3.15. Güvercin gübresi için a) DSC eğrisi, b) TGA eğrisi	71
Şekil 3.16. Arıtma çamuru için a) DSC eğrisi, b) TGA eğrisi	72

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. 2012-2016 Yılları arasında belediye atık istatistikleri [4].....	3
Tablo 1.2. ATY ve Kentsel Katı Atık Özelliklerinin Karşılaştırılması.....	10
Tablo 2.1. Numunelerin öğütülmeden önceki ve sonraki şekilleri.....	29
Tablo 3.1. ATY1, ATY2, büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi ve arıtma çamuru numunelerinin kısa analiz sonuçları (* Farktan belirlendi)	40
Tablo 3. 2. Bazı atık bileşenlerinin yakın analizi [34].....	41
Tablo 3. 3. Kısa analiz bazı literatür verileri [6, 20, 60, 61, 62]	41
Tablo 3.4. Isıl Değer Analiz Sonuçları	42
Tablo 3.5. ATY1, ATY2, büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi ve arıtma çamurunun element analizi sonuçları (*Farktan belirlendi)	44
Tablo 3. 6. Elementel analiz bazı literatür verileri [6, 31, 51, 60, 61].....	45
Tablo 3.7. XRF analiz sonuçları	46
Tablo 3.8. Cüruf oluşturma ve kirlenme indeksleri.....	47
Tablo 3.1. ATY1, ATY2, büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi ve arıtma çamuru numunelerinin kısa analiz sonuçları (* Farktan belirlendi)	40
Tablo 3.2. Bazı atık bileşenlerinin yakın analizi [34].....	41
Tablo 3.3. Kısa analiz bazı literatür verileri [6, 20, 60, 61, 62]	41
Tablo 3.4. Isıl Değer Analiz Sonuçları	42
Tablo 3.5. ATY1, ATY2, büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi ve arıtma çamurunun element analizi sonuçları (*Farktan belirlendi)	44
Tablo 3.6. Elementel analiz bazı literatür verileri [6, 31, 51, 60, 61].....	45
Tablo 3.7. XRF analiz sonuçları	46
Tablo 3.8. Cüruf oluşturma ve kirlenme indeksleri.....	47

SEMBOLLER LİSTESİ

m : Kütle (kg)

T : Sıcaklık (°C)

W : Nem Oranı (%)



KISALTMALAR

ATY	: Atıktan Türetilmiş Yakıt
DSC	: Fark Taramalı Kalorimetre (Diferantial Scanning Calorimeter)
RDF	: Atıktan Türetilmiş Yakıt (Refuse Derived Fuel)
REF	: Geri Kazanılmış Yakıt (Recycled Fuel)
PPF	: Kağıt ve Plastik Yakıt (Paper Plastik Fuel)
PEF	: Prosesle İşlenmiş Yakıt (Processed Engineered Fuel)
RDF	: Çöp Türevi Yakıt (Refuse Derived Fuel)
REF	: Geri Kazanılmış Yakıt (Recovered Fuel)
SRF	: Katı Geri Kazanmış Yakıt (Solid Recovered Fuel)
PDF	: Ambalaj Yakıt (Packaging Derived Fuel)
PPF	: Kağıt ve Plastik Fraksiyonu (Paper and Plastic Fraction)
PEF	: İşlenmiş Geliştirilmiş Yakıt (Processed Engineered Fuel)
TDF	: Lastikten Üretilen Yakıt (Tire Derived Fuel)
SF	: İkincil Yakıt (Secondary Fuel)
SLF	: Yedek Sıvı Yakıtlar (Substitute Liquid Fuel)
ASTM	: Amerikan Malzeme ve Test Etme Derneği (American Society for Testing Materials)
PVC	: Polivinil klorür
GMM	: Gibbs Serbest Enerji Derece Metodu
TGA	: Termal Gravimetrik Analiz
DTA	: Diferansiyel Termal Analiz
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre

XRF	: X-Ray Floresans
LHV	: Alt Isıl Değer
HHV	: Üst Isıl Değer
B/A	: Baz-asit Oranı
Rs	: Kükürt Oranı
TA	: Toplam Alkalliler
Fu	: Kirlilik İndeksi



1.GİRİŞ

Kentsel atıkların, nüfus ve sanayileşmeyle orantılı olarak hızla artması hem büyük bir saha sorunu hem de giderek artan bir çevre kirliliği sorununu ortaya çıkartmıştır. Geri dönüşüm, yeniden kullanıma gönderilemeyip geri kazanılamayan atıkların geri kalan kısımlarının yakıt kalitesi enerjicilerin dikkatini çekmiştir. Bu sorunlara çözüm bulabilme düşüncesi, insanları yakıtların fiziksel özelliklerini değiştirerek yeni yakıtlar üretmeye teşvik etmiştir.

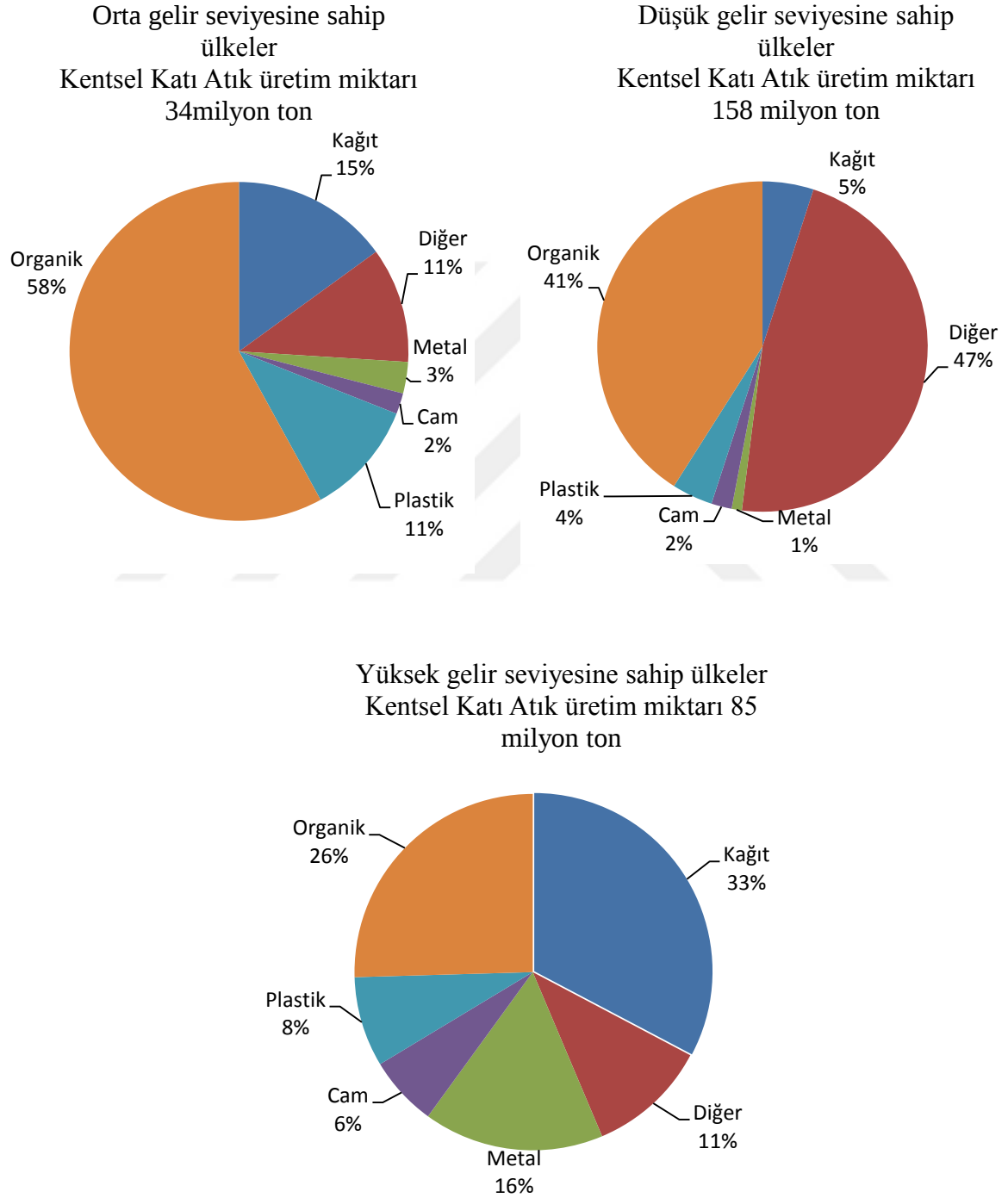
1.1. Belediye katı atığı

Ev, okul, hastane ve iş yerlerinde hayatlarını sürdüren insanların günlük yaşamlarındaki faaliyetlerinin sonucu olan; ürün ambalajı, mobilya, şişe, gıda parçaları, gazete, karton, aletler, boya ve piller gibi evsel katı atıklardan meydana gelen, heterojen bir yapıya sahip atıklara belediye katı atığı veya başka bir tanımla kentsel katı atık denir. Katı atıkların içerisinde yer alan inşaat atıkları, endüstriyel atıklar ve tehlikeli atık vb. atık çeşitleri kentsel katı atık kategorisine dahil değildir [1].

Kentsel katı atıkların genel içeriği gelişmekte olan ülkeler ile gelişmiş ülkeler arasında ve aynı zamanda ülkelerdeki bölgeler, şehirler ve şehir merkezi içerisinde yer alan mahalleler, iklim değişikliği, içinde bulunulan yıl, beslenme şekli gibi birçok sebeple ani değişiklikler göstermektedir. Örneğin, gelişmekte olan ülkelerdeki kentsel katı atık bileşimi, az gelişmiş ülkelere göre organik atıkların daha büyük bir bölümünü içermektedir [2].

Ülkelerin gelir seviyelerine bağlı olarak 2004 yılında kentsel katı atık bileşiminin değişimi Şekil 1.1’de gösterilmektedir [3]. Şekil de düşük gelir seviyesine sahip ülkelerde kentsel katı atık üretim miktarının yüksek ve orta gelir seviyesine sahip ülkelere oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi öğrenilmek istenildiğinde görülüyor ki düşük gelir seviyesine sahip ülkelerdeki diğer kategorisini meydana getiren ana atık bileşeni küldür. Düşük gelir seviyesine sahip ülkelerin kül miktarları için bir karşılaştırma yapıldığında, orta ve yüksek gelir seviyesindeki ülkelere oranla dört kat daha fazla olduğu görülmektedir.

Bunun yanı sıra orta ve düşük gelir seviyesindeki ülkeler için kompostlaştırılabilir organik madde miktarı, yüksek gelir seviyesindeki ülkelere oranla oldukça fazladır. Geri dönüştürülebilir bileşenlerin ise, düşük gelir seviyesindeki ülkelerde oldukça düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 1. 1. Ülkelerin gelir seviyesine bağlı kentsel katı atık (KKA) bileşenlerinin değişimi [3]

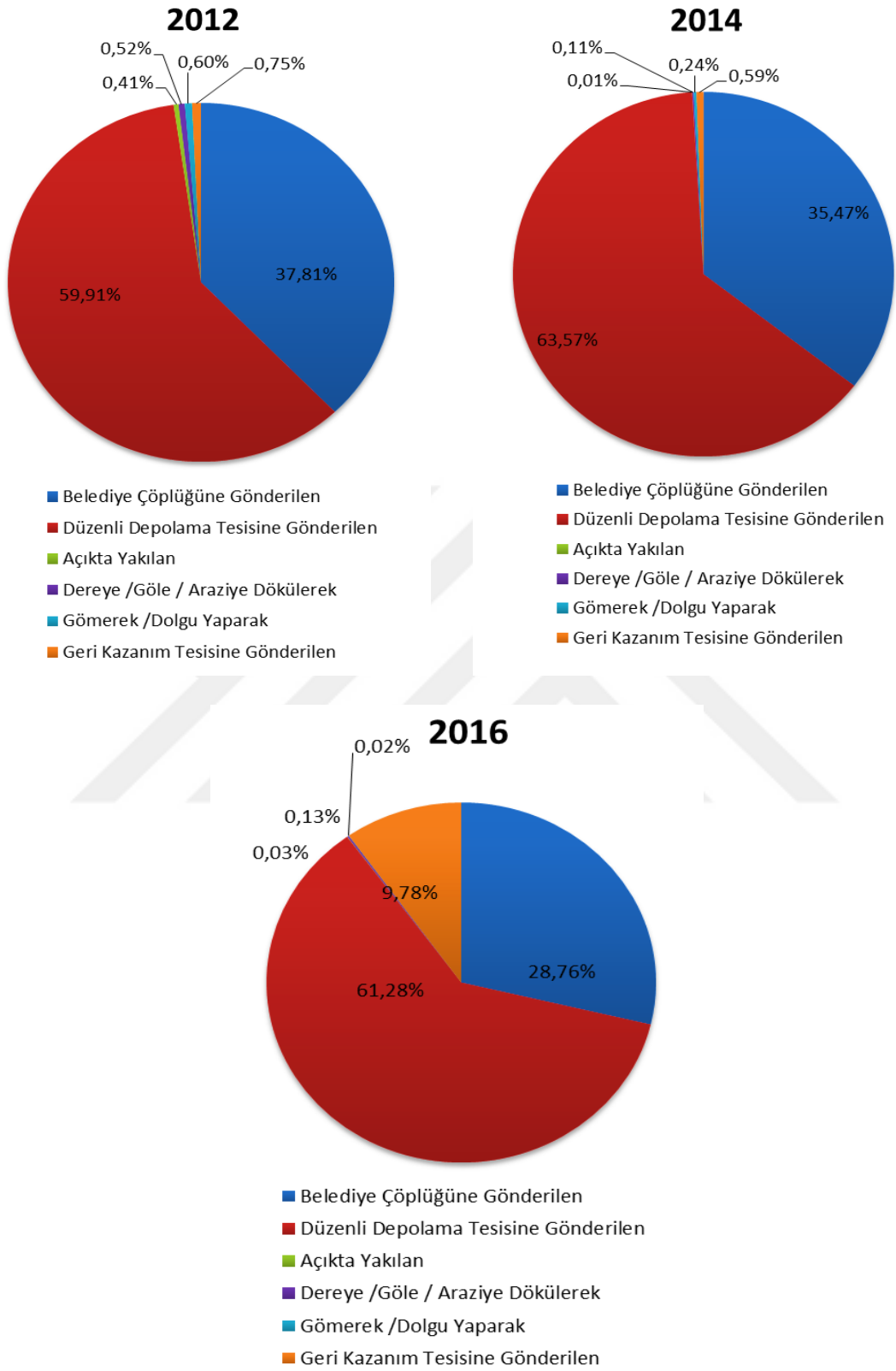
Atık içeriği ülkeden ülkeye, mahalleden mahalleye, konuttan konuta dahi değişebilmektedir. Bu nedenlerden dolayı atık içeriklerinin ayrıştırılması gibi durumlarda çok hassas davranılması gerekmektedir. Türkiye’de 2012-2016 yılları arasındaki belediye atık istatistikleri aşağıda Tablo 1.1’de gösterilmiştir.

Tablo 1.1. 2012-2016 Yılları arasında belediye atık istatistikleri [4]

Belediye atık istatistikleri	2012	2014	2016
Atık hizmeti verilen nüfusun toplam nüfus içindeki oranı(%)	83,4	91,2	92,5
Toplanan belediye atık miktarı(bin ton)	25845	28011	31584
Kişi başı ortalama belediye atık miktarı(kg/ kişi gün)	1,12	1,08	1,17

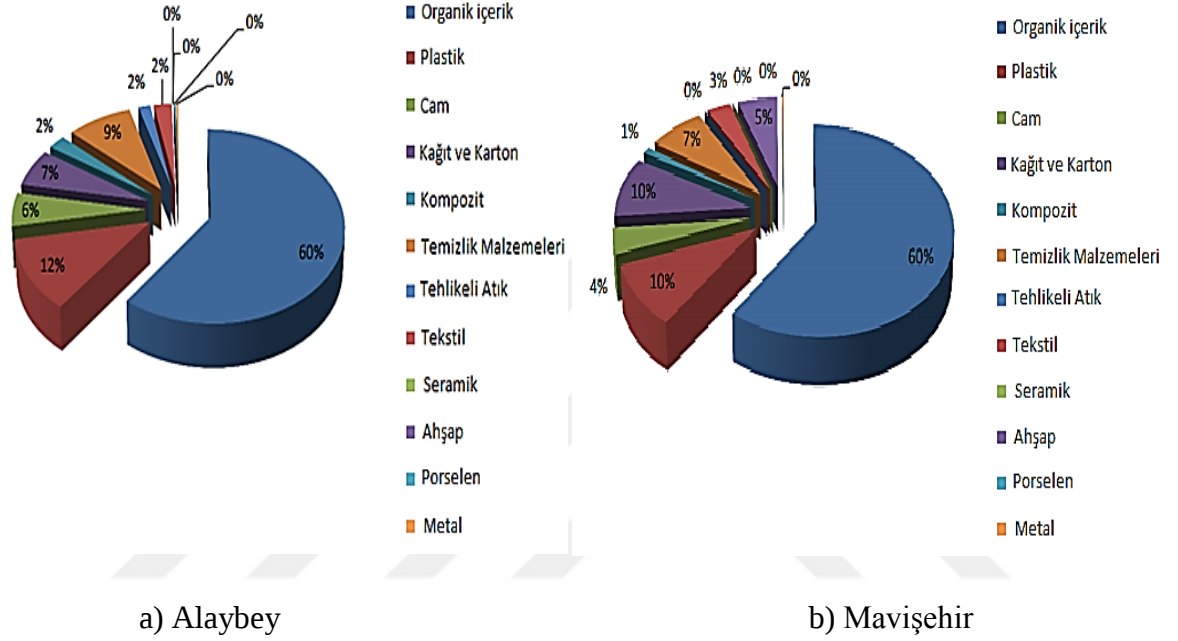
Belediye atık miktarının çeşitli faktörlerle değiştiği gibi içeriğinin de değiştiği yukarıda belirtilmiş ve aşağıdaki örneklerle daha açık bir şekilde gösterilmiştir.

Türkiye’de, 2012-2016 yılları arasında yapılan belediye istatistiklerinde, belediye katı atığının, toplanan atıklar arasındaki payını gösteren dairesel grafik Şekil 1.2’de gösterilmiştir.



Şekil 1. 2. Türkiye’de belediye atıklarının yıllara göre içerik değişimi [4]

Örnek olarak İzmir ilinin farklı mahallelerinde, aynı zaman diliminde toplanan ve mahalleden mahalleye içerik değişimlerini gösteren, belediye katı atıklarından alınan bir bölümün içerikleri ise Şekil 1.3’de gösterilmiştir.



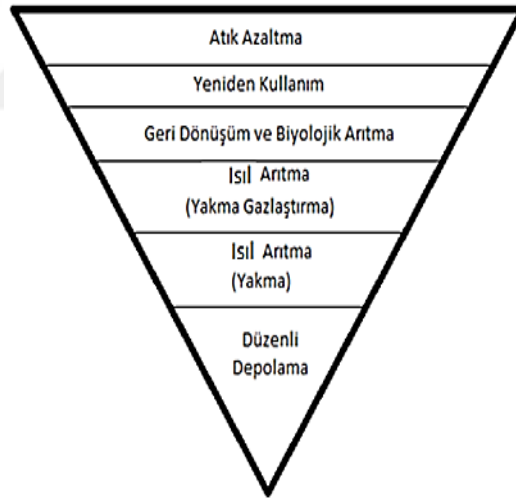
Şekil 1. 3. İzmir ilinin Alaybey ve Mavişehir mahallerinden toplanan katı atıkların içerikleri [1]

1.1.1. Atık yönetimi

Nüfusun hızla artması ve sürekli değişiklik gösteren tüketim alışkanlıkları, özellikle katı atıkların sebep olduğu çevre kirliliği sorunlarının artmasına neden olmuştur. Katı atıklar sadece çevre kirliliği sorununun ortaya çıkarmakla kalmamış, beraberinde birçok konuda sorun haline gelmeye başlamıştır. Ortaya çıkan bu sorunlar ve mevcut kaynakların hızla tüketilip yerine yenilerinin gelemeyişi, katı atıklara olan sadece uzaklaştırılma anlayışını değiştirerek atıklar üzerindeki ilgiyi arttırmıştır. Artık atıkların “sadece uzaklaştırılma” fikri ortadan kalkmış ve yerini “çevre ve insan sağlığı açısından nasıl değerlendirilebilir?” gibi düşünceler almaya başlamıştır. Geçmişten günümüze bakıldığında atıklar artık hem geri kazanılması gereken bir kaynak hem de yönetime ihtiyacı olan bir konu haline getirilmiş ve atık yönetimi kavramı ortaya çıkmıştır. Atık yönetimi; katı atıkların, belirli amaçlara yönelik geri kazanımı, canlıların yaşamlarında

herhangi bir kötü etkiye sebep olmayacak şekilde hava, su ve toprak ortamına bertaraf esaslarına bağlı kalarak, salınımı ve sonucunda olabildiğince az atıklı bir üretimin sağlanması ve insan sağlığının korunması amacıyla oluşturulan sistemdir [5].

ABD Çevre Yönetimi Kurumu (EPA), kentsel katı atık yönetimi için dört temel yönetim stratejisi belirlemiştir. Bunlar; kaynak (atık) azaltma, maddesel geri dönüşüm (kompostlama, ambalaj atıkları), enerji geri kazanımı ve termal dönüşüm (biyometan enerjisi, yakma) ve düzenli depolama alanlarıdır [6]. Bu yöntemler zamanla yapılan çalışmalarla geliştirilerek mekanik hacim küçültme, düzenli depolama, düzensiz depolama işlemleri gibi daha birçok alt sınıflara ayrılmıştır. Kentsel katı atık yönetim yani diğer bir adıyla entegre katı atık yönetimi bütün atıkların bir arada yönetilmesini kapsar. Entegre katı atık yönetiminde kullanılan stratejiler birbiri ile bağımlı olup, atığa uygun bir şekilde hazırlanmış öncelik sırasına göre uygulanması gerekmektedir. Atık yönetimi seçenekleri Şekil 1.4’de gösterilmiştir.



Şekil 1. 4. Atık yönetim seçenekleri öncelik sırası [7]

1.1.1.1. Kaynak azaltma

Kaynak azaltma, üretilen atığın miktarı ve içerisinde bulunan zehirli ve zararlı maddelerin olabildiğince minimum seviyeye indirgenmesini amaçlar. Bu kapsamda değişik yollar uygulanabilir.

Örneğin, ürünler yeniden kullanılabilir veya bağışlanabilir, toplu olarak satın alınabilir, ürünlerin paketleri azaltılabilir ve ürünler kullanıldıklarında oluşan atık dikkate alınarak yeniden tasarlanabilir [7].

1.1.1.2. Maddesel geri dönüşüm

Maddesel geri dönüşüm, kentsel katı atıklar içerisindeki geri dönüştürülebilecek maddelerin seçilerek tekrardan üretime kazandırılmasını amaçlar. Atık yönetim seçenekleri içerisinde atığa uygulanması en çok istenilen yöntemdir. Bu yöntem; daha az hammadde ve enerji kullanımı sağlar, atık depolama tesislerinin kullanım ömrünü uzatır ve kompostlaştırma ve yakma tesislerinin ürün ve kül kalitesini artırarak verimlerini arttırmış olur [7].

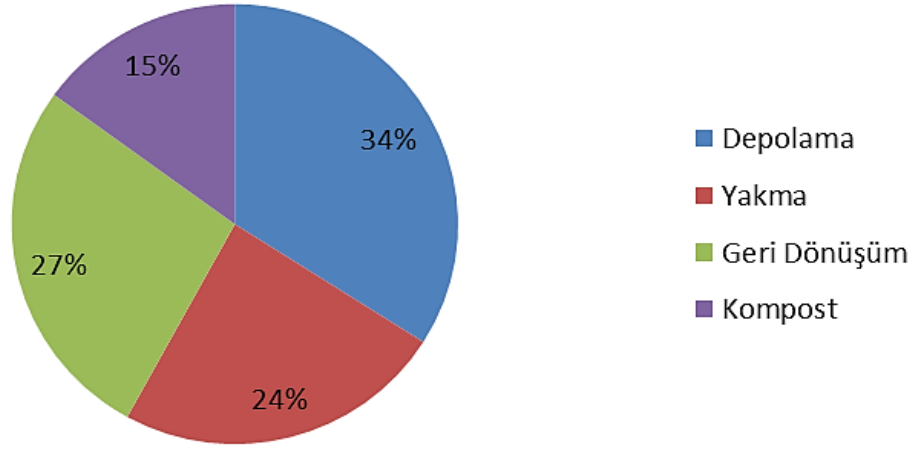
1.1.1.3. Enerji geri kazanımı ve ısı dönüşüm

Enerji geri kazanımı ve ısı dönüşüm yönteminin asıl amacı, yakıtı ısı işlemlere tabi tutarak hem yakıt hacmini azaltmak hem de atıl halde bulunan enerjiyi geri kazanmaktır. Bu konuda teknoloji giderek ilerlemiş ve atık hacminin 1/10'a kadar düşürülmesine olanak sağlayabilen birçok tesis kurulmuş ve bu tesisler giderek yaygınlaşmaya başlamıştır. Yakma tesislerinde, atığın yakılması ile elde edilen enerji, buhar veya elektrik enerjisi olarak geri kazanılmaktadır. Bu sayede atık hacminin azaltılması ve enerjinin geri kazanımını sağlar[7] .

1.1.1.4. Düzenli depolama

Atıkları toprağa verebilmek için kullanılan bir yöntemdir. Hem toprak daha verimli bir hale getirilir hem de metan gazı elde edilmiş olur. Fakat avantajlarının olduğu gibi çevre kirliliği gibi dezavantajları da mevcuttur.

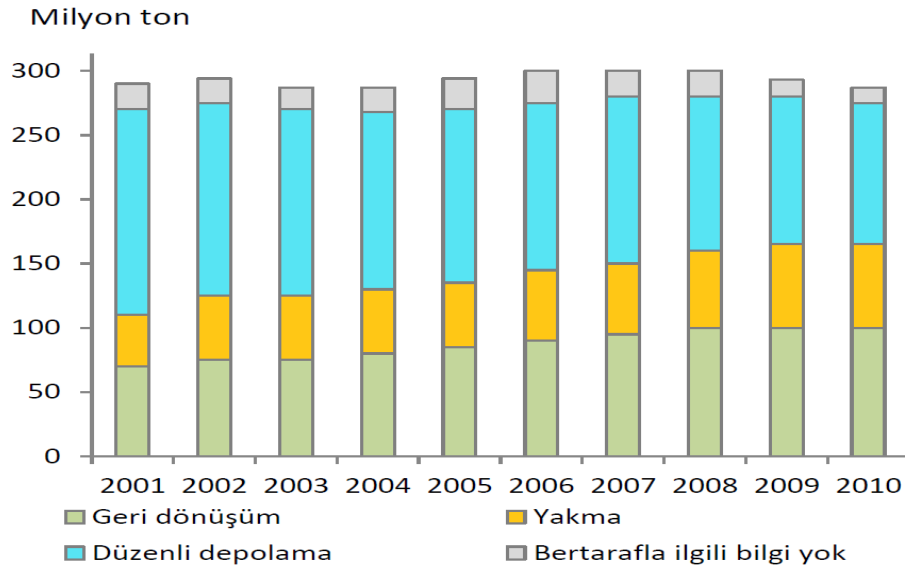
Avrupa'da, 2012 yılı atık yönetim metotlarının kullanım oranları Şekil 1.5'de gösterilmiştir. Avrupa'da üretilen belediye atığının: %34'ü depolanmış, %24'ü yakılmış, %27'si geri dönüşüme ve %15'i kompostlaştırılmak üzere uygun yerlere gönderilmiştir. AB için, geri dönüşümlü veya kompostlanmış belediye atıklarının payı 1995'te %18 iken 2012'de %42'ye yükselmiştir. Bu yükselme atık yönetimi uygulamasının verimini gösteren örneklerden biridir [8].



Şekil 1. 5. Avrupa'da atık yönetim metotlarının kullanım oranları [8]

Ayrıca avantaj ve dezavantajları düşünülerek, elektrik ve ısı enerjisi kaynağı olarak görülen atık yakma veya gazlaştırma gibi ısıl işlemlerde giderek düzenli depolamanın yerini almaya başlamıştır.

2012 yılında ABD'de, %11,7'ye karşılık gelen 29 milyon tondan fazla atık, enerji geri kazanımıyla yakılarak imha edilmektedir [9]. Şekil 1.6'da 32 Avrupa ülkesinde (AB-27 Üye Devletleri, Hırvatistan, İzlanda, Norveç, İsviçre ve Türkiye) kullanılan kentsel katı atığı bertaraf yöntemlerinin dağılımı, 2001 ve 2010 yılları arasında gösterilmiştir. 2001'den 2010'a kadar kentsel katı atığının düzenli depolanması yaklaşık 40 milyon ton azalmıştır ve kentsel katı atık yakma miktarı yaklaşık 15 milyon ton artmıştır [10].



Şekil 1. 6. 32 Avrupa'da Belediye Atık Yönetiminin Geliştirilmesi, 2001-2010 [10]

Belediye katı atıklarına enerji geri kazanımı ile yakma işlemi uygulandığında, atık hacmi orijinal hacminin yaklaşık % 10'una (% 90 hacim azaltımı) ve atık kütlesi orijinal kütlenin %25'ine düşmektedir (% 75 kütle indirilmesi). Ayrıca atığın içerdiği enerji geri kazanılır. Bu sebeplerden dolayı atık yakma, gerekli kirlilik önlemleri alınıp maliyet kontrolleri yapıldığında elverişli bir yöntem olarak görülmektedir [11]. Fakat atık yakma sistemleri için kentsel katı atığın kullanımı sanıldığı kadar kolay değildir. Çünkü yukarıda da belirtildiği gibi kentsel katı atıkta bulunan materyaller şekil, büyüklük ve bileşim bakımından büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Bu farklılıklar da atık yakma gibi ısı işlem tesislerinin çalışma koşullarının, nasıl ayarlanması gerektiği ve sistem veriminin hesaplamasında büyük bir belirsizliğe yol açar. Ayrıca, sistem verimliliğini en üst düzeye çıkarabilmek için sisteme, mümkün olabildiğince yüksek ısı değere sahip bir giriş ile beslenmeyi gerektiren ileri termokimyasal arıtma yöntemleri uygulanmalıdır [6]. Bu nedenlerden dolayı kentsel katı atıklar, toplandığı gibi kullanılmamalıdır. Sadece geldiği gibi kullanılmak yerine işlenmiş ve yakıt değeri artırılmış bir formda yani atıktan türetilmiş yakıt (ATY) formunda kullanılmalıdır. Kentsel katı atıkları, ATY'ye dönüştürmenin en büyük faydaları kısaca sıralanmak gerekirse; yüksek ısı değeri, daha düşük kül içeriği, daha homojen bir içerik, yanma esnasındaki hava ihtiyacının azlığı, daha düşük kirlilik emisyon değerleri, daha kolay depolama ve taşımadır [12].

Chang vd. [13]'nin, yapmış oldukları ATY ve kentsel katı atıkların (evsel katı atıklar) karşılaştırılması ile ilgili çalışmalarından elde edilen değerler Tablo 1.2'de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde, ısı değeri, kül içeriği, yanıcı içerik gibi yakıt kalitesi hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlayan özelliklerin ATY'de daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu da ATY'nin kentsel katı atıklardan daha verimli bir yakıt olduğunu göstermiş ve bu konudaki ilgiyi arttırmıştır.

Tablo 1.2. ATY ve Kentsel Katı Atık Özelliklerinin Karşılaştırılması

Parametre	Evsel Katı Atık	ATY	
		25-100 mm	>100mm
Yoğunluk (kg/m ³)	289,9	334,8	179,1
Kağıt (%)	28,62	8,08	5,7
Plastik (%)	26,33	29,15	5,81
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 Personel	0,47	0	0
< 5 mm(%)	1,59	16,15	8,89
>5 mm(%)	1,04	32,36	3,65
Isıl Değer			
Üst ısı değer(kcal/kg)	2277,8	2554,5	3715,9
Alt ısı değer (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

1.2. ATY (Atıktan Türetilmiş Yakıt) tanımı, hazırlama aşamaları ve ATY'den enerjiye geçiş

Belediye katı atıklarının imhası ve yönetimi, dünya üzerindeki kent topluluklarının karşılaştığı en önemli zorluklardan biridir. Dünya genelindeki belediyeler, belediye katı atıklarının tedavi stratejilerinin, çevresel yükünü azaltmak için çeşitli girişimlerde bulunmuştur. En yararlı belediye katı atık stratejilerinden bir tanesi, atıklardan yenilenebilir enerji elde etmek için uygulanan ısıl işlem veya enerji geri kazanımıdır. Atıktan enerjiye kadar pek çok strateji geliştirilmiş ve bu stratejiler arasında ATY olarak nitelendirilen yakıtlar, klasik fosil yakıtların yerine kullanılabilecek katı ve enerji kazanımı iyi yakıt türüdür [14]. Atıktan türetilmiş yakıt; evsel ve endüstriyel atıkların içeriğindeki geri dönüşümü ve yeniden kullanımı mümkün olmayan poşet, kumaş, elyaf, naylon gibi atıkların belirli işlemlerden geçerek yeniden yakıt haline gelmesiyle oluşan yüksek ısıl değere sahip ikincil atıklara denir. ATY'yi oluşturan atıkların içerisinde; tekstil atıkları, kâğıt, organik madde, poşet, çocuk bezi, diğer yanabilen materyaller, pet-plastik, tahta, kemik, çuval, teneke, cam, alüminyum ve taş bulunmaktadır. ATY'nin içerisinde bulunan bu materyallerin belirli özelliklerine bakılarak standartlara uygunluğu kontrol edilir ve standartlara uygunluğu dikkat edilmesi gereken en önemli parametredir. İçeriğine göre tanımı değişebilmektedir. Evrensel olarak bakıldığında atıktan türetilmiş yakıtlara aşağıdaki terimler de türetilmiştir;

- Katı Geri Kazanılmış Yakıt (SRF - Solid Recovered Fuel)
- Geri Kazanılmış Yakıt (REF - Recycled Fuel)
- Kağıt ve Plastik Fraksiyonlu Yakıt (PPF - Paper Plastik Fuel)
- İşlenmiş Geliştirilmiş Yakıt (PEF - Processed Engineered Fuel)

SRF, REF, PDF, PPF ve PEF terimlerinde kullanılan yakıtlar tekrar geri kazanılamayacak kadar kirlenmiş olan, plastik ve kağıt gibi kentsel atığın yanabilir ve kuru kısmını temsil etmektedir.

Evsel katı atıklardan elde edilen yüksek ısıl değere sahip yakıtlarla ilgili terimler aşağıda verilmiştir;

- Çöp Türevi Yakıt veya Atıktan Türetilmiş Yakıt (RDF -Refuse Derived Fuel)
- Geri Kazanılmış Yakıt (REF - Recovered Fuel)

- Katı Geri Kazanmış Yakıt (SRF - Solid Recovered Fuel)
- Ambalaj Yakıt (PDF - Packaging Derived Fuel)
- Kağıt ve Plastik Fraksiyonu (PPF - Paper and Plastic Fraction)
- İşlenmiş Geliştirilmiş Yakıt (PEF - Processed Engineered Fuel) vb.

Bu atıklar karışık elde edilmiş yakıtlara nazaran daha az nem oranı, daha düşük kül miktarı ve daha yüksek ısı değere sahiptirler. Bu da yakıt verimliliğini arttırmıştır.

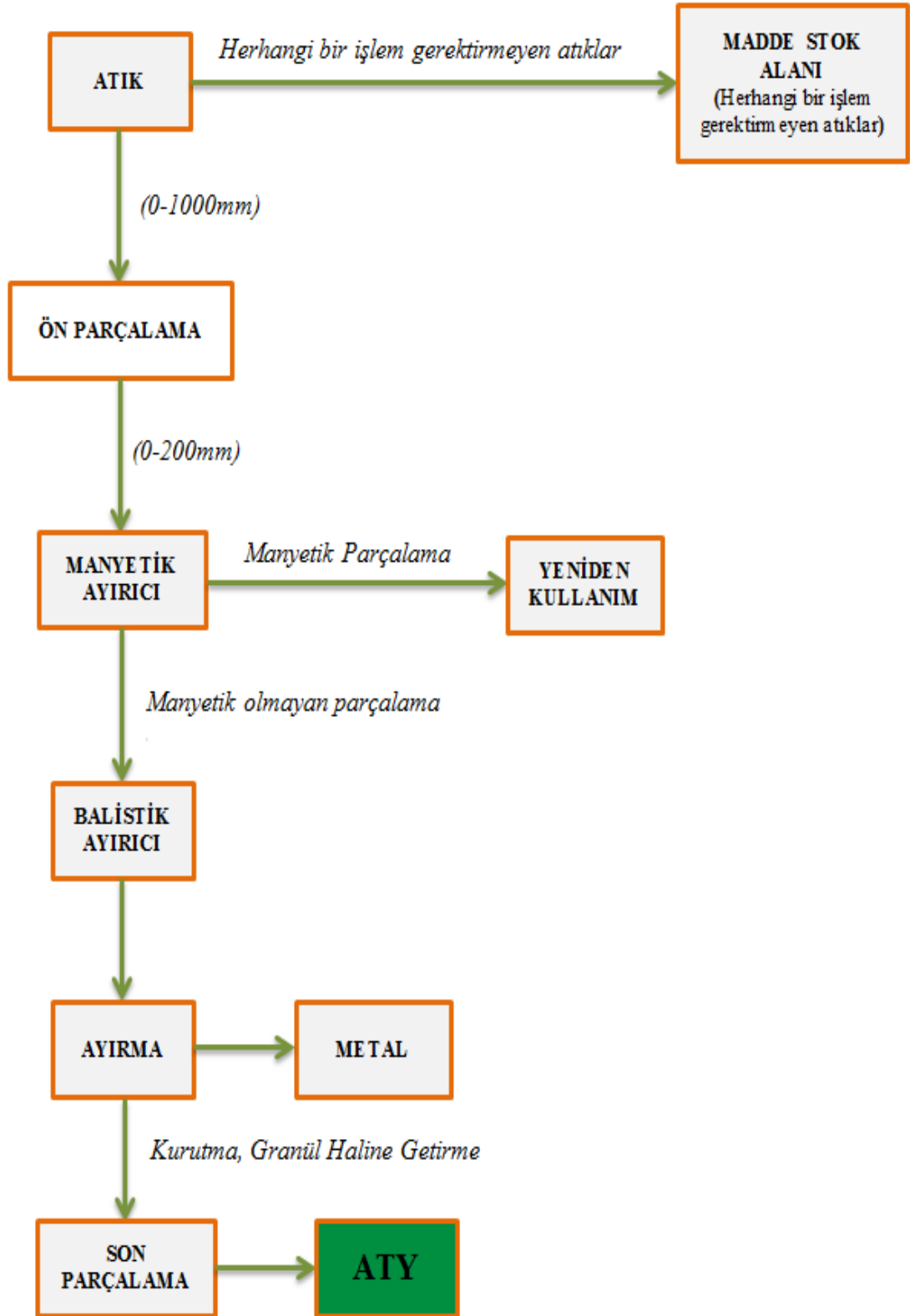
Endüstriyel atıklardan seçilmiş özel işlem adımları ile belirli kalitede üretilmiş atıklarla ilgili olarak kullanılan bazı terimler aşağıda verilmiştir (lastik ve solventler gibi);

- Lastiklerden Türetilmiş Yakıt (TDF - Tire Derived Fuel)
- İkincil Yakıt (SF - Secondary Fuel)
- Yedek Sıvı Yakıtlar (SLF - Substitute Liquid Fuel)

Endüstriyel atıklar genellikle, tehlikeli, yanabilen ve yanamayan atıklar olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Bu şekilde gruplara ayırmalarının en büyük sebebi, endüstriyel atıkların yanlış bir şekilde toplanması sonucu meydana gelebilecek büyük sorunlar bu şekilde önerilebilir. Çünkü endüstriyel atıkların yanıcı, zehirleyici ve aşındırıcı olabilme gibi tehlikeleri mevcuttur [15]. Gerek içeriğindeki yanabilen ürünlerin daha fazla oluşu gerekse tehlikeli madde içeriğinin daha az oluşu gibi nedenlerden dolayı evsel atıkların, endüstriyel atıklara kıyasla daha verimli bir yakıt olduğu söylenebilir [16].

Evsel atıklar ;

- Kaynağında ayırma,
- Mekanik ayırma ile gruplama,
- Ebat küçültme,
- Ayırma ve eleme,
- Karıştırma,
- Kurutma ve peletleme,
- Paketleme,
- Depolama, gibi atık içeriğine göre belirlenmiş, katı atık yönetimine uygun üretim işlemlerinden geçirilerek ATY'ye dönüştürülürler. Katı atıkların ATY'ye dönüşüm şeması Şekil 1.7'de verilmiştir.



Şekil 1. 7. Katı atıkların ATY'ye dönüşüm şeması

ATY üretim teknolojileri atık içeriğine göre değişmektedir. İşlem basamakları artırılıp azaltılabilmektedir. Örneğin; karışık evsel katı atıklardan ATY üretimi tesisinin detaylı işlem sırası genel olarak, atık yükleme bandı, poşet parçalayıcı döner elek, ayıklama bandı magnetik separatör, kaba kırıcı, balistik separatör, ayıklama ünitesi, ince kırıcı ve kurutucu olmak üzere dokuz basamaktan oluşmaktadır. Fakat organik atık içermeyen karışık ve nemli katı atıklardan ATY elde edebilmek için, magnetik separatör, kaba kırıcı, balistik separatör, ayıklama ünitesi, ince kırıcı ve kurutucu olmak üzere 6 basamaktan oluşmaktadır [17].



Şekil 1.8. Atıkların görüntüsü a) Belediye Katı Atığı [18] ve b) Atıktan türetilmiş yakıt [19]

Atıktan türetilmiş yakıtın belediye katı atığına göre daha küçük tane boyutlu ve daha homojen olduğu Şekil 1.8’de görülmektedir.

1.2.1. ATY’den ısı işlemlerle enerji geri kazanımı

Termokimyasal teknolojiler gerek katı atıkların hacminin küçültülmesi gerekse elektrik, ısı veya yakıt üretimi gibi enerjinin değişik formlara dönüşebilmesi için büyük önem taşımaktadır. ATY’nin ısı işlem prosesleri, enerji geri kazanımının beraberinde katı, sıvı ve gaz ürünlerine dönüşmesini hedefler. Bu prosesler oksijen ihtiyaçlarına göre piroliz, gazlaştırma ve yakma olmak üzere 3 sınıfa ayrılırlar [1]. Manya vd. [20], İspanya da bir yerde bulunan belediye katı atığı arıtma tesisinde üretilen atıktan türetilmiş yakıtın piroliz ve yanma davranışını incelemişlerdir.

Piroliz ve yanma deneyleri farklı ısıtma hızı ve farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Pik sıcaklığının ve ısıtma hızının, piroliz analizi sonuçlarını önemli ölçüde etkilediği bulunmuştur

1.2.1.1. ATY'nin pirolizi ve gazlaştırılması

ATY'nin ısıtma işlemlerinin ilk basamağında piroliz yer almaktadır. Çünkü piroliz hem gazlaştırma hem de yanma teknolojilerinin ilk basamaklarını oluşturmaktadır [1].

Piroliz genel tanımı ile oksijensiz ortamda yakma işlemidir. Piroliz işlemi sonrasında katı, sıvı ve gaz ürünler meydana gelebilmektedir. Bu ürünlerin katı, sıvı veya gaz halinde olması, piroliz işlemi için kullanılan atığın içeriğine ve piroliz şartlarına göre değişebilmektedir [7].

Dou vd. [21], çalışmalarında piroliz sonucunda meydana gelen katı ürünü dikkate almışlardır. Çalışmada, yakma fırınının çalışma koşullarının katı ürün oluşumuna nasıl etki ettiğini araştırmışlardır. İncelemeler sonucunda reaktör sıcaklığı 600 °C'yi gösterirken char veriminin %40'lara kadar ulaşabildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, reaktör sıcaklığının artmasıyla, yakıtın ısı değeri, yanabilen madde oranı ve piroliz sürecinin de azaldığı gözlemlenmiştir.

Buah vd. [22], çalışmalarında farklı piroliz koşulları altında ATY'nin yanma karakteristiklerinin nasıl değiştiğini incelemişlerdir. İncelemeler sonucunda TGA ve elementel gibi analiz verilerinin farklı piroliz koşulları altında değiştiğini belirtmişlerdir. Aynı zamanda piroliz sonucu elde edilen gazın içerisinde yüksek ısı değere sahip CO ağırlıklı H₂, CH₄, Cl₂ ve C₃H₈ gazlarının olduğunu gözlemlemişlerdir. Isıl değer piroliz sıcaklığına bağlı olduğunu, yüksek sıcaklıklara çıkıldıkça arttığını vurgulamışlardır.

Gazlaştırma işlemi ise kısmi oksidatif ortamda gerçekleşen termal bozunma süreci olarak tanımlanabilir. Gazlaştırma sonucunda meydana gelen sentez gazının çoğunluğu CO₂ ve H₂O'dan oluşmaktadır. Ayrıca gazlaştırma prosesinde reaktör tasarımı ve nem gibi parametreler süreci büyük ölçüde etkilemektedir [23].

Barba vd. [24], çalışmalarında ATY gazlaştırma modellemesi için Gibbs Serbest Enerji Derece Metodunu (GMM) incelemişlerdir. Bu model, gazlaşma sürecinde yer alan tüm reaksiyonların denge hali, karbon fazlalığı, gaz fazındaki gazlaştırma ürünlerinin tam dönüşümü gibi çok kısıtlayıcı hipotezleri varsayan dengi modellerin tipik niteliksel görüşünü atlamak için kullanılabilir. GMM modeli, hiçbir katran üretiminin olmadığı hipotezi, kantitatif bir bakış açısı sağlayan bu kısıtlamaların üstesinden gelmiştir. Bu model, ATY gazlaştırmasına uygulanmış ve gazlaştırma işlemi analizinde güvenilir sonuçlar vermiştir. Gaz verimi, gaz bileşimi, düşük ısıtma değeri ve H₂ verimi açısından model hesaplamaları, literatür sonuçlarına kıyasla, hesaplanan verilerin deneysel verilerle uyum içinde olduğunu göstermiştir.

1.2.1.2. ATY'nin yakılması

Yakma işlemi, ısı enerjisi üretebilmek için organik bir bileşiğin oksijen ile reaksiyonu olarak tanımlanabilir. ATY kavramı ile karşılaşılmadan önce yakma işlemi genel olarak atık hacmini küçültmek ve ortaya çıkan büyük saha sorunlarını ortadan kaldırmak için kullanılıyordu. ATY kavramının ortaya çıkışı ile artık yakma konusuna enerji geri kazanım prosesi gözüyle de bakmaya başlandı. Zaman geçtikçe, farklı parametrelerle yakıt verimliliği arttırıldıkça yakma konusu günümüzde de görüldüğü gibi atık bertaraf yöntemleri arasında büyük bir öneme sahip oldu. Artık yakma işlemi ya doğrudan yakma yöntemi ile yada ısıl değerini arttırmak ve yanma sisteminde daha iyi proses kontrolü yapabilmek amacıyla ön işleme tabi tutulur. Yanma işleminde en başta beslenen ATY, işlem sonucunda taban külü ve baca gazı (CO₂, SO₂, H₂ ve H₂O vb.) olarak çıkmaktadır [25]. Yanma işlemlerinin sonucunda elde edilen ürünler ısı ve elektrik enerjisi olarak dönüştürülebilmektedir. Yanma işlemi de diğer prosesler gibi farklı parametrelere bağlı olarak değişmektedir.

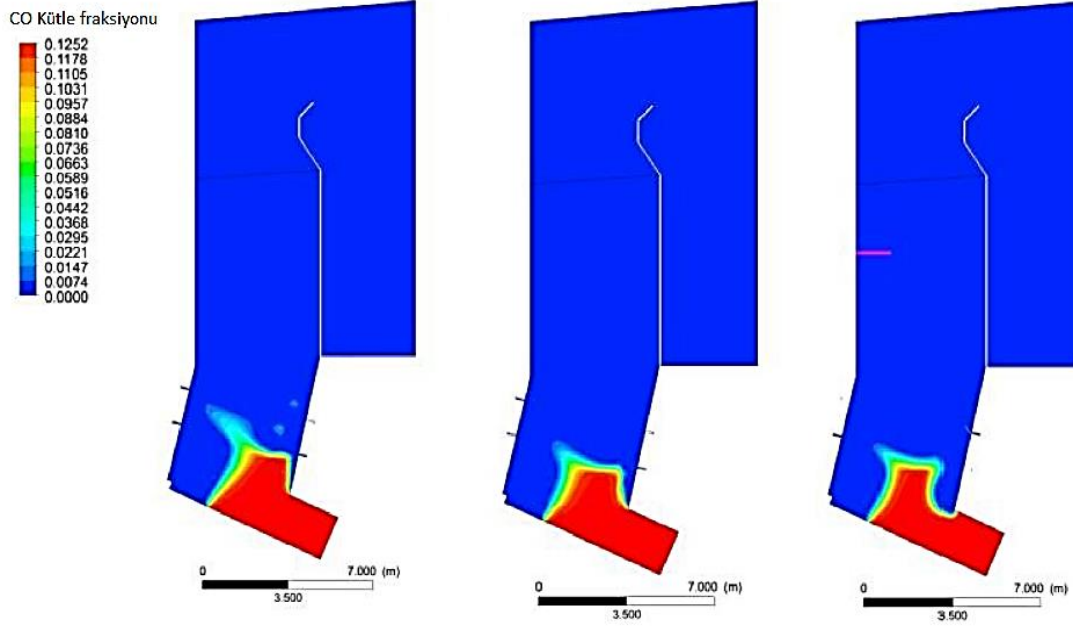
Edo vd. [26], belediye katı atığına uygulanan parçalama veya ezme gibi farklı mekanik işlemlerin sonucunda atıktan türetilmiş yakıtlar elde etmişlerdir. Elde edilen ATY'ler ile parçalama ve ezme yöntemlerinin yanma açısından verimliliği incelenmiştir. Ayrıca belediye katı atıklarını ve atıktan türetilmiş yakıtları odun ile belirli oranlarda karıştırıp elde edilen yakıt karışımlarının yanma davranışlarını eş zamanlı termal analiz yöntemiyle incelemişlerdir.

İncelemeler sonucunda parçalama ve ezme yöntemi kıyaslandığında, parçalama yönteminin yakıttaki klor içeriğini azaltarak yanmayı iyileştirdiği kanısına varılmıştır. Odun ile ATY veya belediye katı atıklarının birleşerek meydana getirdiği yakıt örneklerinin de yanmayı olumlu yönde etkilediği sonuçlardan elde edilmiştir. Aynı zamanda yakıt matrisinde bulunan, plastik ve gıda atıklarının birleşmesinin yakıtların termal bozunumunu hızlandırdığı sonucunu da ortaya koymuşlardır.

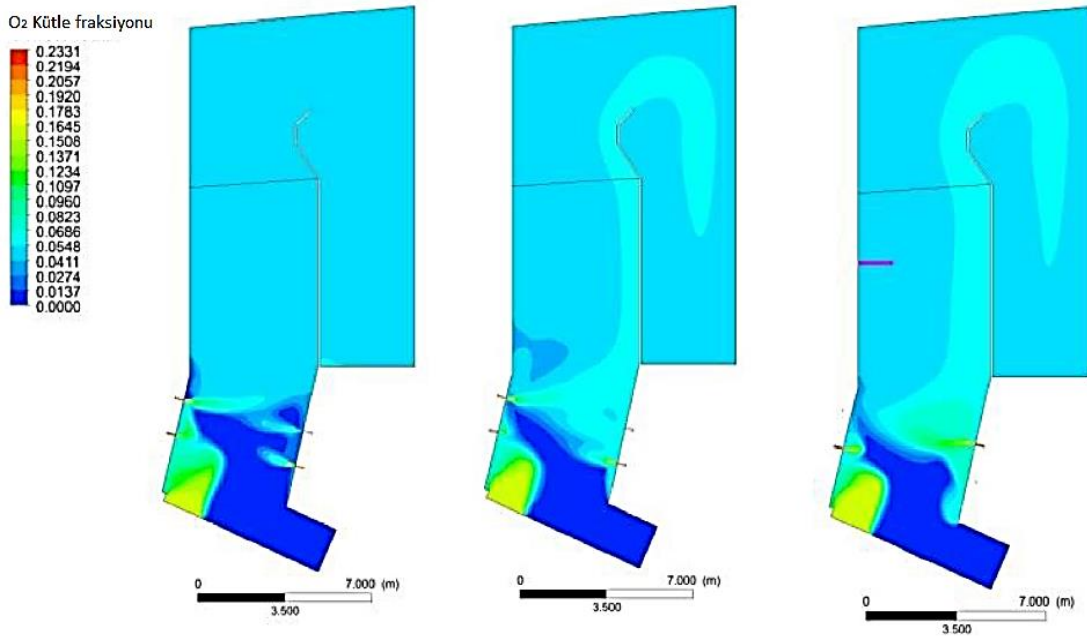
Akdag vd. [27], çalışmalarında iki farklı ATY örneğinin yakıt değeri ve yanma özelliklerinin karşılaştırılmasını yapmıştır. Numune olarak ATY, kömür ve petrol kok örnekleri kullanılmıştır. Bu numuneler belirli oranlarda karıştırılarak karışımların yanma davranışları incelenmiştir. Bu oranlar enerji bazında; %3, %5, %10, %20 ve %30'dur. Numuneler üzerinde kısa, elementel, X-RayFloresans (XRF) ve Termal Gravimetrik Analizleri (TGA) yapılmıştır. ATY örnekleri, önce laboratuvar ölçekli bir reaktörde yalnız yakılıp daha sonra da hazırlanmış örnekler yakılmıştır. Bu yakma işlemleri sonucunda, numunelerin kombine etkisinin yakma karakterizasyonlarına etkisi ve verimlilikleri araştırılmıştır. Nem oranı düşük olan ATY numunelerinin ısı değerlerinin kömüre ve bu çalışmada kullanılan petrol kokuna kıyasla biraz daha düşük olduğu bulunmuştur. Ayrıca, analizlerde karışımdaki ATY'nin %10'dan daha yüksek olması durumunda, baca gazı içindeki CO konsantrasyonunun arttığını ve dolayısıyla yanma veriminin azaldığını göstermiştir. Bununla birlikte yakıt karışımlarına ATY eklenmesinin, SO₂ emisyonunu azalttığı ve NO_x profillerini değiştirmedeği gözlemlenmiştir.

Costa vd. [28], yanma sırasında ATY'nin içeriğinin kendine özgü özelliklerinin meydana getirdiği olumsuz etkileri ve yanma sonrasında da külden dolayı çökelti oluşumu durumunda brülörün uzun süreli çalışmasında sorunlara neden oluşu gibi sonuçları incelemiştir. Bu olumsuz sonuçları düzeltmek için doğrudan yanma işlemine etki etmenin, meydana gelen sorunları çözmede etkili yol olduğunu düşünmüşlerdir. Bu nedenlerle de bir RDF yanma fırınında meydana gelen olayların, deneysel ve sayısal teknikler yoluyla karakterizasyonunun, açıklanması amacını gütmüşlerdir. Gerçek bir katı atık enerji santralinin Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) modeli değerlendirilmiş ve ATY'den salınan sentez gazı içinde çalışılmıştır. Sunulan bu çalışma, yakma tesislerinde mevcut dioksin oluşumu düzenlemesinin doğrulanması için, yanma ürünlerinin sıcaklığı ve kalış süresinin ayrıntılı olarak tanımlanmasına olanak tanımıştır.

Odunun farklı bölümlerinde CO kütle fraksiyonu Şekil 1.9'da, O₂ kütle fraksiyonu ise Şekil 1.10'da verilmiştir.



Şekil 1. 9. Odunun üç farklı dikey bölümünde CO'nun kütle fraksiyonu, ilk simetri düzlemi [27]



Şekil 1. 10. Odunun üç farklı dikey bölümünde O₂'nin kütle fraksiyonu, ilk simetri düzlemi [27]

Yakma işlemleri enerji verimliliği açısından daha verimli olmasına rağmen, yüksek oranda baca gazı emisyonları, furanları ve dioksinleri barındırdığı için çevre sorunlarının meydana getirmektedir. Bu büyük sorunlar karışık ve yüksek maliyetli yatırımlara ihtiyaç duyan baca gazı arıtma cihazları gerektirmektedir. Ayrıca yakma işlemleri gazlaştırma ve pirolizle kıyaslandığında buhar çevriminin soğutma suyu için çok fazla suya ihtiyacı vardır [29]. Gazlaştırma ve piroliz prosesleri incelendiğinde yakma proseslerinin ilk yatırım maliyeti uygun gibi görünse de uzun vadede düşünüldüğünde veriminin düşük olduğu belirtilmiştir. Tüm bu mevcut seçenekler düşünüldüğünde yakma işlemi yerine gazlaştırma ve piroliz gibi çevreci teknolojilerin kullanılması daha avantajlı olarak görülmektedir. Ancak katı atık yakma tesisleri, enerji geri kazanımı yani enerji üretimi, buhar veya elektrik satışına odaklanarak düşünüldüğü zaman ve atık olan yakıtın ısı değeri önemsenerek yakılması, uygun atık fraksiyonlarının istenildiği şekilde belirlendiği takdirde diğer sistemlere kıyasla üstünlük sağlayacaktır [1].

1.3. Literatür taraması

Kentsel katı atıklardan türetilmiş ATY'nin yakıt verimliliği, yanabilme kabiliyeti ile ölçülmektedir. ATY, birçok farklı atıklardan meydana gelmiş heterojen bir yapıya sahiptir. Yanabilirliğide bu yakıt matrisini oluşturan atıklara bağlıdır. Yakıt matrisi içerisindeki atıklar daha öncede belirtildiği gibi ülkeden ülkeye, ilden ile ve evden eve dahi değişebilmektedir. Sadece bunlarla kalmayıp yakma öncesi uygulanan mekanik işlemlere de bağlıdır. Yakıtın içeriğindeki bu önemli değişimler yakıt kalitesini, özellikle de ısıl değerini büyük ölçüde etkilemektedir [1]. Yakıtı, nem, yanabilen madde ve kül olarak düşünürsek bu üçünden herhangi birinin değişimi de yanma verimini büyük ölçüde etkilemektedir. Bir yakıtta aranan özellikler başlıca; yüksek ısı değeri, az kül miktarı, sınırlı nem miktarı, kirli gaz emisyonunun düşük olması şeklinde sıralanabilir. Bu faktörleri etkileyen elementel içerik, uçucu madde miktarı, kül içeriğindeki ağır metal konsantrasyonu gibi faktörlerin bilinmesi ve dikkat edilmesi gerekmektedir. ATY'nin içeriğinin küçük faktörlerle değişiyor olması, bu konu ile ilgili kişileri, bu faktörleri kontrol parametresi olarak kullanabilmeleri üzerine yoğunlaştırmış ve bu alanda çok geniş çalışmalar yapmaya teşvik etmiştir.

Krüger vd. [30], atıklardan türetilen yakıtlardan (ATY) meydana gelen zararlı kirliliklerin akışkan yatak tarafından ayrılması üzerine çalışmışlardır. Bu konsept de parçacık yatağının dönme hareketi, akışkanlaştırma gazının statik bir geometride teğet enjeksiyonu ile elde edilmiştir. ATY parçacıkları yatağı radyal olarak akışkanlaştıran bir santrifüj kuvveti oluştururlar. Parçacıkların şekil ve yoğunluk ile ayrılması için çalışmada, merkeze ayrıca manşonlu bir plaka yerleştirilmiştir. İmpüriteler, yanıcı parçacıklara kıyasla daha yüksek bir yoğunluğa ve kompakt bir şekle sahiptir ve yüksek verimlilikle ayrılabilirler. Bu yeni teknoloji deneysel olarak incelenmiş ve ATY modeli, gerçek ATY ve farklı yoğunlukta yabancı maddeleri kullanarak kanıtlanmıştır.

Zhao vd. [31], Singapur'da ki belediye katı atıklarından elde edilen ATY'nin enerji verimliliğini arttırmak ve çevresel etkilerini azaltmak için bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma için atık tiplerini ayrı ayrı inceleyerek 3 farklı ATY oluşturmuşlardır. Bu ATY'lere tavuk gübresi ekleyerek yeni karışımlar elde edilmiştir. Hazırlanan bu karışımların termal davranışlarını değerlendirebilmek için çeşitli analizler yapmışlardır. Analizlerin sonucunda elde edilen verilere göre ATY'ye tavuk gübresi eklenmesi ısı değeri düşürmüş ve ağır metal konsantrasyonunu arttırdığı saptanmış ancak alternatif bir yakıt olarak kullanılabileceği düşünülmüştür.

Reza vd. [32], Metro Vancouver'da üretilen belediye katı atıkları ile ATY üretiminin bölgedeki iki çimento fırınında eş-işleme için fizibilitesini araştırmışlardır. ATY üretiminin çevresel etkileri, yararları ile ekonomik maliyetleri araştırılmıştır. Daha sonra çimento fırınlarında alternatif yakıt olarak ATY kullanımı değerlendirilmiştir. Bu amaçlarla, kapsamlı bir çevresel değerlendirme, yaşam döngüsü değerlendirmesi (LCA) yaklaşımıyla yürütülmüştür. Ekonomik faktörlere göre maliyet-fayda analizi (CBA) yapılmıştır. Bu araştırma, ATY'nin çimento fırınlarında üretiminin ve kullanımının Metro Vancouver için çevreye ve ekonomik açıdan uygun bir çözüm olabileceğini doğrulamıştır.

Santos vd. [33], ATY'nin üst ısı değerini tahmin edebilmek için tasarladıkları modeli açıklamışlardır. Tasarladıkları modelin doğruluğunu kontrol edebilmek amacı ile denklemlerde bulunan değerleri modelden elde edilen değerle kıyaslamışlardır. Bütün veriler çok küçük hatalar göz ardı edilerek kıyaslandığında birbiri ile uyumlu olarak bulunmuştur.

Yasuhara vd. [34], çalışmalarında ATY'nin depolama esnasında ısınarak kendiliğinden tutuşmasını çalışmalarında konu olarak ele almışlardır. ATY numunesinin kendiliğinden tutuşmasına neden olabilecek depolama koşullarını araştırmışlardır. Standartlara uygun bir şekilde, belediye katı atıkları ve diğer bazı atık malzemelerinden ATY numuneleri hazırlanmış ve hazırlanan bu numunelerin su muhtevası gibi bazı özellikleri değiştirilerek incelemeler yapılmıştır. Çalışma sonucunda, ATY'nin kendiliğinden tutuşmasının, su içeriği ve tane boyutu gibi birçok faktöre bağlı olduğu görülmüştür. Bu sebeplerden dolayı ATY'nin güvenli kullanımı ve depolanmasını sağlayabilmek için bu faktörlerin bilinmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Robinson vd. [35], çalışmalarında atıktan türetilmiş yakıtın termal gravimetrik (TGA) analizlerinin ve bu analizlerin yapılabilmesi için numunenin nasıl hazırlanacağını değerlendirmişlerdir. ATY'lerin heterojenliğinden dolayı, küçük temsili örneklerin hazırlanmasının çok zor olduğunu ve bu zorluğun da ATY'nin karakterizasyonu için TGA'nın etkinliğini sınırlandırdığını düşünmüşlerdir. Daha sonra kriyonejik bilyeli öğütme işleminin TGA için ATY örneklerinin hazırlanmasında etkili bir araç olduğunu göstermişlerdir. Etkili bir örnek hazırlama ile birleştirildiğinde, TGA deneylerinin ATY'nin içeriğinin yanma karakteristiğini değerlendirebilmek için alternatif bir yöntem olarak kullanılabileceği düşüncesini desteklemişlerdir.

Aracil vd. [36], çalışmalarında ATY'de bulunan Cl'un hangi materyal içerisinde olduğuna yoğunlaşmışlardır. Çalışmalar sonucunda ATY içerisindeki Cl miktarının %38-66'sının polivinilklorür (PVC) malzemesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Klor içeriğinden kaynaklanan sorunun da HCl oluşumu olup HCl oluşumu ile kazan ve ısı değiştiricilerinin ciddi boyutlarda korozyona uğraması olduğunu vurgulamışlardır. Bu sebeplerden ötürü ATY'de mevcut bulunan PVC materyalinin, zararlı olduğunu ve yakıtın termal işlemlerin uygulaması sırasında benzen gibi kanserojen bileşiklerin oluşmasına sebebiyet verdiğini açıklamışlardır.

Myrin vd. [37], atıklardan türetilmiş yakıtların yakılması sırasında, gıda atıklarının dioksin oluşumu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yakıtlar, tam ölçekli bir yakma kazanı içinde yanma sırasında poliklorlu dibenzo-p-dioksin ve dibenzofuranların element kompozisyonuna ve emisyonlarına göre karakterize edilmiştir. İlk ATY (ATY 1), düşük bir gıda atığı içeriğine sahip olan kısmı oluşturmuştur.

Çünkü ATY 1 mutfak atıklarının düzenli olarak ayrıldığı bir bölgeden alınan belediye katı atıklarından elde edilmiştir. İkinci ATY (ATY 2) ise, mutfak atıklarının düzenli bir şekilde ayrımının olmadığı bir bölgeden alınan belediye katı atıklarından üretilen ATY olduğu için daha yüksek gıda atığı içeriğine sahiptir. Analizler sonucunda ATY 1 çok uygun yakıt kalitesine ve poliklorlu dibenzo-p-dioksin ve dibenzofuran emisyonlarına sahip olarak bulunmuştur. ATY 2 numunesinin klor ve demir içeriği diğer ATY'ye oranla daha fazla çıkmıştır.

Yıldız vd. [38], çalışmalarında ATY'yi oluşturan materyalleri belirleyebilmek için ayırma ünitesinden elde edilen atıklardan belirlenen oranlarda her bir materyali temsil edebilecek kadar örnekler alarak nem, ısı değeri, toplam karbon miktarı, klor içeriği, kül içeriği ve ağır metal konsantrasyonları gibi çeşitli analizler yapmışlardır. Yapılan analizlerde ayırma ünitesinden elde edilen atıkların %22-33 oranında inorganik madde içerdiği bulunmuştur. ATY numunesinin klor içeriğinin standardı neredeyse aşacak durumda olduğu ve uçucu madde miktarının çok yüksek (%92.3) olduğu belirlenmiştir.

Dalai vd. [39], çalışmalarında sabit yataklı gazlaştırıcıda birbirinden farklı ATY numunelerini kullanarak gazlaştırma tesisleri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmaların sonucunda ATY'nin çoğunluğunu oluşturan plastik ve selüloz gibi bileşenlerin, elde edilen gazın veriminde büyük bir rol oynadığını saptamışlardır. Bu sonuçlardan da içerisinde karbon ve hidrojen miktarının fazla olduğu ATY'lerin diğerlerine kıyasla daha yüksek miktarda sentez gazı elde edildiği görülmüştür.

Ma vd. [40], çalışmalarında belediye katı atıkları ve ATY'nin klor karakterizasyonu ve termal davranışını incelemiştir. Klor, atık ısıdan enerji üretim tesislerinde, yüksek sıcaklık korozyonuna ve düşük verimliliğe neden olan temel unsurlardan biri olduğu için dikkatlerini çekmiş olup belediye katı atıklarından oluşturulmuş sekiz farklı gruba ayrılmış atığın klor içeriği karakterize edilmiştir. Sonuç olarak gruptaki atıkların ağırlıkça % 0.1'den % 35'e kadar geniş bir klor muhtevasına sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca organik ve inorganik klorun ana kaynağının, plastik atıkları, tuz ve polivinilklorür (PVC) olduğu vurgulanmıştır. Bu bulgular, atıktan enerji üretim santrallerinde belediye katı atıkları ve ATY içindeki klorun termal davranışını anlamak ve klor kaynaklı korozyonu önlemek sebebiyle atıklardan türetilen yakıtlar için yakıt yönetimine yönelik önerilere yol açmaktadır.

Marsh vd. [41], preslenerek elde edilmiş yakıt peletlerini ve ATY'nin fiziksel ve termal özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan analizler, biyolojik arıtma tesisinden elde edilen hammaddeler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Peletleme için gerekli parametreler ayrıca araştırılmış ve gerekli şartlar sağlanarak yapılmıştır. Üretilen peletlerin analizi, bir gerilme test makinesinde basınç dayanımlarının test edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, elde edilen pelet basınç dayanımının peletleme koşulları ile önemli ölçüde etkilenmediğini göstermiştir.

Zhou vd. [42], çalışmalarında ATY'nin gazlaştırılma esnasındaki ağır metal dönüşümünü araştırmışlardır. Deneyler iki aşamalı bir reaktörde 600 °C - 750 °C'ye kadar olan sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar sıcaklığın artmasıyla ağır metallerin katran ve sıvı ürünler içerisine nüfus ettiği ve bunun sonucunda bulunan ağır metal kalıntısının azalmasına yol açtığını göstermiştir. Ayrıca, çalışmada kullanılan Ni-Ca katalizörünün ağır metal emisyon miktarını azalttığı sonucuna varılmıştır.

Gallardo vd. [43] 'nin, yapmış oldukları çalışmanın amacı İspanya'daki biyolojik–mekanik arıtma tesisine kabul edilmeyip gönderilen fraksiyonun enerji geri kazanım özelliklerini analiz etmektir. Bu amaçla, bu çalışma, gerçek bir mekanik-biyolojik arıtma tesisinin fiziksel ve kimyasal karakterizasyonunu sunmaktadır. Aynı zamanda, laboratuvarında işlenen atıktan türetilmiş yakıtın kalite standartları ve gaz emisyonları belirlenmiştir.

Fu vd. [44], su ilavesi ile elde edilen ATY'nin ısı üretimini incelemektedir. TGA, DTA ve spontane ateşleme cihazı gibi yanma karakterizasyonunun ölçülebildiği cihazlarla analizler yapmışlardır. Analizlerin sonucunda, ATY'ye su eklendikten sonra farklı su içeriğine sahip olan ATY'lerin ısı üretimi sağlarken, ilave su eklenmediği takdirde ekzotermik reaksiyon piki gözlemleyemediklerini belirtmişlerdir. Bunun sonucunda da ATY'nin bir miktar su ilavesi ile daha hızlı ısı ürettiğini vurgulamışlardır. Ayrıca analizlerin farklı koşullar altında tekrar yapılmasının olaya açıklık getirilmesinde katkı sağlayacağını belirtmişlerdir.

Weber vd. [45], çalışmalarında ATY'nin yanma davranışını, benzer sınır koşulları altında tutuşan ve toz haline getirilmiş kömürün yanma davranışları ile doğrudan karşılaştırmasını yapmışlardır.

Sıcaklık değerleri, gaz ölçümleri ve yanma davranışları incelenerek ATY ve kömür arasındaki yanma karakteristiği açısından temel farklılıkları göstermişlerdir. Kömür numunesi brülörün yakın çevresinde yanmaya başlamış ve yanmanın çoğu ilk 300 ms içinde tamamlanmıştır. ATY'nin yüksek uçucu içeriğine rağmen, yanma olayının başlaması fırına kadar uzanmış ve 1.8 s kalma süresinden sonra sadece %94 yanma sağlanmıştır. Bu sonuçların sebebinin partikül büyüklüğü ve uçucu madde miktarları olduğunu vurgulamışlardır.

Grammelis vd. [46], çalışmalarında ATY'nin proliz kinetiği ve yanma karakteristiklerini incelemişlerdir. Yapmış oldukları çalışmaların sonucunda ATY'nin iyi bir şekilde ayrılması gerektiğini savunmuşlardır. Kendileri çalışmalarında, atığın içerisindeki metal fraksiyonların ayıklanmasının iyi bir şekilde olmadan yakılması durumunda elde edilen buharın zehirli olabileceğini ayrıca zehirli metal tanelerinin de meydana gelebileceği sonucuna varmışlardır.

Blijderveen vd. [47], çalışmalarında kendiliğinden ateşleme sıcaklığını ve yakıt yatağının tuttuğu birincil havanın kritik sıcaklığını öngören bir model geliştirmişlerdir. Çalışmada birincil hava akış hızının etkisi ve atık ilavesi dikkate alınarak modelleme yapılmıştır. Modelde araştırılan tüm parametrelerin (yakıt türü, hava akışı hızı ve atık fraksiyon) birleştirildiği yeni ve boyutsuz bir parametre türetilmiştir. Bu parametre hem kendiliğinden tutuşma hem de kritik hava sıcaklığını tanımlamak için yeterli görülmüş, modelin sonuçları deneylerle doğrulanıp daha önceki çalışmalarda sunulmuştur. Sıcaklıklar için hesaplamaların yanında, ateşleme zamanı ve yeri de hesaplanmıştır. Ateşleme zamanı, parçacıkların içinde düzgün bir sıcaklık dağılımı varsayımı nedeniyle yaklaşık olarak tahmin edilmiş fakat ateşleme yeri doğru bir şekilde tahmin edilmiştir. Kömür haline gelmiş yakıt için, minimum kendiliğinden tutuşma sıcaklığı DSC ölçümlerinden türetilmiştir. Karbon ve oksijen arasındaki etkileşimin endotermik veya ekzotermik reaksiyonlar arasında geçiş yaptığı sıcaklık, kendiliğinden ateşleme sıcaklığı ile çakıştığı da görülmüştür. Yatakta tutuşmaya ihtiyaç duyulan süre, mevcut model ile tahmin edilemez, ancak bir enerji dengesi ile ateşleme süreleri tahmin edilebilir olduğu saptanmıştır.

Piao vd. [48], akışkan yataklı bir sistemde, atıktan türetilmiş yakıtların yanma davranışını anlamak için yanma testleri yapmışlardır. Yapılan testlerde ATYA ve ATYB olmak üzere iki çeşit numune kullanmışlardır. Testler boyunca baca gazı kontrolleri sürekli yapılmıştır.

Sonuçlar ATYA'nın baca gazındaki CO konsantrasyonunun ATY'ye göre daha yüksek olduğu ve hava oranından daha fazla etkilendiğini göstermiştir. Ayrıca ikincil hava enjekte edildiğinde hem ATYA hem ATYB numuneleri için CO konsantrasyonlarının azaldığı görülmüştür. Aynı sonuç NO_x konsantrasyonları için de geçerli olup birincil hava NO_x konsantrasyonunu arttırmış, ikincil hava ise azalmasına sebep olmuştur. HCl konsantrasyonunun en düşük olduğu sıcaklık yaklaşık 1073 K olmuştur. Kalsiyum bileşiği ile HCl çıkartılmış ve bu oran, yatak sıcaklığının 1173 K'den daha yüksek olmasına rağmen %70'i geçmiştir. Bu sonuç da, ATY'lere eklenen kalsiyum bileşiğinin HCl emisyonlarının etkili bir şekilde değiştirdiğini göstermiştir.

Rocca vd. [49], yakma ve gazlaştırma olmak üzere iki farklı sistemde aynı ATY'yi kullanarak elde edilen kül özelliklerini ve arasındaki farklılıkları incelemişlerdir. Deney sonuçları her iki sistem için de kül içeriğindeki ana elementlerin benzer olduğunu göstermiştir. Fakat sıcaklık gibi bazı parametrelerin değişkenliğinin bu değerlerde değişiklikler meydana getirdiği görülmüştür. Yakma sırasında meydana gelen külün içerisinde Cu, Cl, Pb ve Zn elementlerin konsantrasyonlarının normal değerin üstünde olduğu görülürken gazlaştırma sonrasında meydana gelen külün içerisindeki elementlerin değerlerinin normal bir şekilde olduğu görülmüştür.

Salmenoja vd. [50], ATY'nin içeriğinde mevcut olarak bulunan klor, civa, kurşun ve alkali gibi toksit metal konsantrasyonlarını meydana getiren inorganik bileşenlerin yanma sırasında kısmen buharlaşma gerçekleştirerek kimyasal reaksiyonların fiziksel dönüşümlere neden olduğunu inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda da yoğunlaşmış bir şekilde olan uçucu külün çökeliş yakma sistemindeki yatakta kalacağını vurgulamışlardır.

Sarch vd. [51] ATY'lerin karakterizasyonu, sınıflandırılması, üretimi ve uygulamasını anlatan bir çalışma yapmışlardır. Yakıtın ısı değeri, parçacık boyutu, klor, kükürt, kül, nem ve ağır metal içeriğini incelemişlerdir. İncelemeler sonucunda ATY'lerin üretilmesi, yakılarak bertaraf edilmesi üzerine bir rapor sunmuşlardır. İlgili kılavuz ve

standartlara uygun bir şekilde numune alma planının detaylandırılmasından başlayarak, farklı bölgelerden gelen atıkların yanması üzerine kapsamlı bir şekilde inceleme yapmışlardır. Araştırma sonuçları sunulmuş ve tartışılmıştır.

Duan vd. [52], çalışmalarında akışkan yataklı bir yakma sisteminde ATY ve talaşın yanma davranışı ve kirletici emisyon özelliklerini inceleyip sonuçta elde edilen verileri sunmuşlardır. Çalışmada baca gazı devirdaim yakma modu kullanılmıştır. Yatak sıcaklığı ve oksijen oranı gibi çalışma parametrelerinin, yanma davranışı ve kirletici emisyon özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deney sonuçlarında akışkan yatak da farklı yakıtlarda bazı farklı yanma özellikleri gösterdiği görülmüştür. Talaş yandığında, CO emisyonunun, yatak sıcaklığı ve oksijen oranı ile azaldığı belirtilmiştir. NO_x emisyon değerinin ise ATY ile talaşın yanması sonucu birbiri ile benzer bir eğilim gösterdiğini belirtmişlerdir. Ancak ATY'nin yanmasının, CO emisyonunu önemli ölçüde azalttığını bunun nedeninin de farklı pelet yapısı olduğunu vurgulamışlardır.

Kungkajit vd. [53], çalışmalarında downraft tipi sabit yataklı gazlaştırma teknolojisinde ATY'lerin plastik içeriğinin etkisini araştırmışlardır. Bunun için de plastik içeriğe sahip olan ve olmayan ATY'ler kullanılmıştır. İki farklı ATY için de sentez gazı üretmede başarılı olduğu görülmüştür. Fakat, plastik içeriğine sahip olan ATY'nin diğerine oranla daha verimli sentez gazı üretimine sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, ATY'lerin fosil yakıtlara kıyasla daha temiz bir alternatif yakıt olduğunu belirtmişlerdir.

2.MATERYAL ve METOT

Çalışmada, iki adet ATY, büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi ve arıtma çamuru olmak üzere beş adet numunenin yanma özellikleri araştırılmıştır. Daha sonra bu örnekler ATY ile belirli oranlarda (%10, %30 ve %70) karıştırılarak yanma süreçleri ve verimlilikleri incelenmiştir.

ATY2 numunesi 2017 Haziran ayında ATY1 numunesi ise 2017 Aralık ayında Türkiye'deki enerji geri kazanım tesisinden temin edilmiştir. ATY1, ATY2, büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi ve arıtma çamuruna kısa, elementel, ısıl değer ve termal gravimetrik analiz (TGA) yapılmıştır. Kısa analizler, ASTM E897-88, ısıl değer analizi ise ASTM E711-87 standartlarına uygun bir şekilde yapılmıştır. Ayrıca bu numunelerin TGA deneylerini desteklemek ve yanma eğrilerini daha net görebilmek için diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) analizleri yapılmıştır. Aynı zamanda, bu numunelerin kül kompozisyonları XRF analizi ile belirlenmiştir. Hazırlanan ATY örneklerine ise yanma davranışlarını gözlemleyebilmek için termal gravimetrik analiz (TGA) yapılmıştır.

2.1.Numune hazırlama

Numuneler laboratuvara ulaştığında iri taneli bir yapıya sahip oldukları için bu aşamada analizlere hazır duruma getirilmiştir. Nem içeriği yüksek olan ATY1 numunesi 75 °C'lık etüvde iki gün bekletilmiş ve nem içeriği düşürülmüştür. Daha sonra ATY1 ve ATY2 örnekleri kaba (2cm), ara (0.5cm) ve bıçaklı (0.1cm) olmak üzere 3 çeşit öğütücüden geçirilmiştir. Bu işlemler sonrasında, ATY1 ve ATY2 yakıt matrisi içerisindeki birçok birleşen tane boyutu küçültülerek olabildiğince homojen ve analizlere uygun boyuta getirilmiş oldu. Güvercin gübresi ve büyükbaş hayvan gübresi, küçük bir öğütücüden geçirilerek, ATY'ye nazaran daha kolay bir şekilde küçük taneli halini almıştır. Arıtma çamuru istenilen boyutta olduğundan öğütmeye tabi tutulmamıştır.

ATY numuneleri, hayvan gübreleri ve arıtma çamuru küçük taneli halini aldıktan sonra, her birinin kütlesi 20mg olmak üzere, ATY1'e sırasıyla kütlece %10, %30 ve %70 oranlarında, büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi ve arıtma çamuru ayrı ayrı katılmıştır.

Tartımlar hassas terazide 0,0001 g hassasiyetle yapılmıştır. Analizlerde kullanılan hassas terazi Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



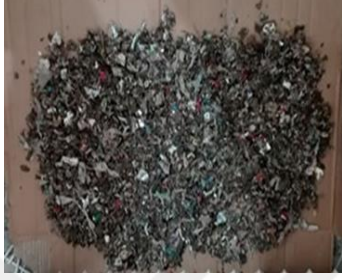
Şekil 2.1. Hassas terazi

Arıtma çamuru Şekil 2.2’de gösterilmiştir. Analizlerde kullanılan numunelerin öğütmeden önceki ve öğütüldükten sonraki halleri Tablo 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Arıtma çamuru

Tablo 2.1. Numunelerin öğütülmeden önceki ve sonraki şekilleri

Numune Şekli Numune İsmi	Öğütülmemiş numuneler	Öğütülmüş Numuneler
ATY1		
ATY2		
Büyükbaş Hayvan Gübresi		
Güvercin Gübresi		

2.2. Numunelerin termal karakterizasyonunun ve yakıt değerlerinin incelenmesi

Bu aşamada, numunelerin, kısa, ısı değer, elementel, XRF, TGA, DSC analizleri yapılmıştır. Deneyler tekrarlı ölçümlerle yapılmış ve doğruluğu kontrol edilmiştir.

2.2.1. Kısa analiz

Kısa analiz, Fırat üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü Laboratuvar'larında yapılmıştır. 550 °C'de uçucu madde, 750 °C'de kül tayini yapılmıştır. Kısa analizin yapılmış olduğu kül fırını şekil 2.3'de verilmiştir.



şekil 2. 3. Kül Fırını

Numunelerin nem tayini, Metter LJ16 nem tayin cihazında belirlenmiştir. Nem tayin cihazı Şekil 2.4’de verilmiştir.



Şekil 2. 4. Nem tayin cihazı

2.2.2. Isıl değer analizi

ATY1, ATY2, büyükbaş hayvan gübresi, arıtma çamuru ve güvercin gübresinin üst ısı değeri Julius Peters 11350 Berlin adyabatik kalorimetre cihazı ile belirlendi. Analizler Fırat Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı’nda yapılmıştır. Analizde kullanılan bomba kalorimetresi Şekil 2.5’de verilmiştir.



Şekil 2. 5. Bomba Kalorimetresi

Analizler sonucunda, numunelerin üst ısı değeri elde edilmiştir. Numunelerin alt ısı değeri (LHV) ise bomba kalorimetresinden elde edilen üst ısı değeri kullanılarak denklem 2.1’de ki gibi hesaplanır [31].

$$LHV_{NEMLI} = HHV_{NEMLI} \times \frac{100 - W}{100} - 24.42W \quad (2.1)$$

2.2.3. Elementel analiz

Bir yakıttaki karbon (C), oksijen (O), hidrojen (H), azot (N) ve kükürt (S) ana kimyasal elementlerdir. Kimyasal elementler analizlerin birbiri ile olan dengesini doğru bir şekilde kurabilmek için önemli bir faktördür. Elementel analizler İnönü Üniversitesi Bilimsel ve Teknoloji Merkez Araştırma Laboratuvarı’nda Leco CHNS-932 analizörü ile yapılmıştır. Element analizinin yapılmış olduğu cihaz Şekil 2.6’de gösterilmiştir.



Şekil 2. 6. Elementel analiz cihazı

2.2.4. XRF analizi

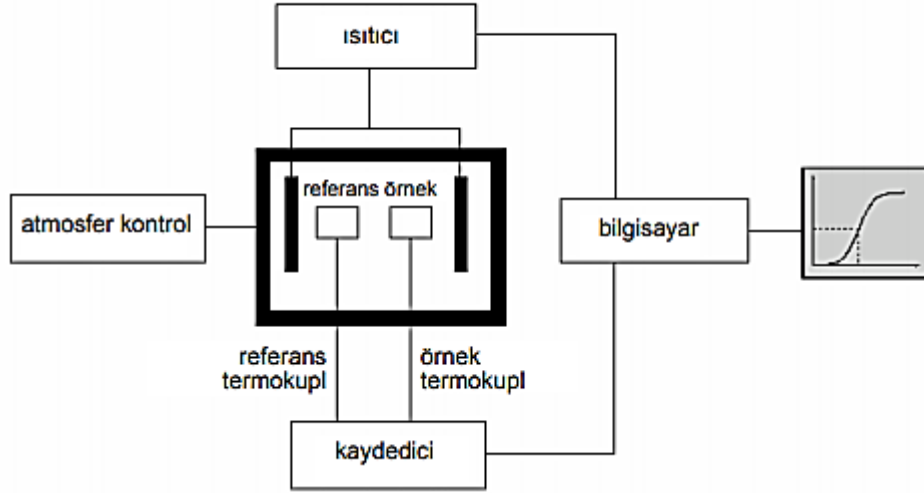
Bu çalışmada, ATY, büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi ve arıtma çamuru külünün inorganik içeriğini belirlemek amacıyla XRF analizi yapılmıştır. XRF analizi Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'nde Panalytical Axios Advanced cihazı ile yapılmıştır. Analizlerin yapılmış olduğu XRF analiz cihazı Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 7. XRF analiz cihazı

2.2.5. TGA (Termal gravimetrik analiz) ve çalışma prensibi

Termogravimetrik analiz cihazında, hassas analitik terazi, fırın, fırın sıcaklığı programlayıcı ve kontrol edici ve kaydedici mevcuttur. TGA ile bir örneğin saflığı, bozunma davranışı ve kimyasal kinetiği incelenir. Zaman ve sıcaklığın bir fonksiyonu olarak sürekli numunenin kütlesindeki kayıpların veya kazanımların belirlenmesinde kullanılır. Deneyde kullanılacak olan numune, sabit bir ısıtma hızında ısıtılır ve kütlesindeki değişim sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülüp kaydedilir. Genelde, deney numunesinin kütlesinin değişimine neden olan reaksiyonlar yükseltgenme, bozunma reaksiyonları veya içerisindeki bir bileşenin buharlaşması şeklinde tanımlanmaktadır. Kütlenin, sıcaklığa veya zamana bağlı çizilen grafiğine TGA eğrisi denir [54]. Termogravimetrik analiz sisteminin şematik diyagramı Şekil 2.8.'de verilmiştir.



Şekil 2. 8. Termalgravimetrik analiz sisteminin şematik diyagramı [54]

Kök vd. [55], çalışmalarında termalgravimetri - diferansiyel termal analiz (TGA-DTA) ve termalgravimetri - fourier transform infrared (TGA-FTIR) ve termalgravimetri - kütle spektrofotometrisi (TGA-MS) teknikleri kullanılarak dört farklı ham petrol numunesinin yanma karakterizasyonu ve kinetiği belirlenmiştir. Analizlerde ham petrol numunelerinin reaksiyon bölgeleri, kütle kaybı ve pik yanma sıcaklıkları TGA-DTA eğrileri kullanılarak belirlenmiştir. Ham petrol numunelerinin TGA-DTA analizinde, farklı sıcaklık aralıklarında, düşük sıcaklıkta oksidasyon (LTO) ve yüksek sıcaklıkta oksidasyon (HTO) olmak üzere çeşitli reaksiyon bölgeleri olduğu belirtilmiştir.

Morin vd. [56], çalışmalarında kömürün yanma kinetiğini TGA'da izotermal koşullar altında incelemişlerdir. Yanma parametrelerinin belirlenebilmesi için Grain ve Random modeli olmak üzere iki farklı yöntem kullanmışlar ve bu modelleri birbiri ile kıyaslamışlardır. Elde edilen sonuçlarda Grain modelinin deneysel verilerinin iyi bir uyum içinde birbirini desteklediğini belirtmişlerdir.

Yapılan çalışmalarda da belirtildiği gibi sıcaklığın bir fonksiyonu olarak numunenin kütlesindeki değişimler ve bu değişimlerin yayılmış olduğu aralıklar numunenin termal kararlılığının bir göstergesidir [54]. Bu sebeple TGA analizleri yapılarak, analizlerde numunelerin termal karakteristikleri araştırılmıştır. Analizler, Fırat üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümü'nde Perkin Elmer Pyris TG/DTA cihazı kullanılarak yapılmıştır. Analizlerde kullanılan TGA cihazı Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2. 9. TGA cihazı

Analizler yapılmadan önce, ölçümlerin daha iyi alınması ve daha fazla numunenin TGA kaplarına sığabilmesi için her biri 20 mg olarak hazırlanan numuneler preslenerek 5 mm çapında peletler elde edilmiştir. Hazırlanan numunelerin peletlenmiş hali Şekil 2.10’da verilmiştir.



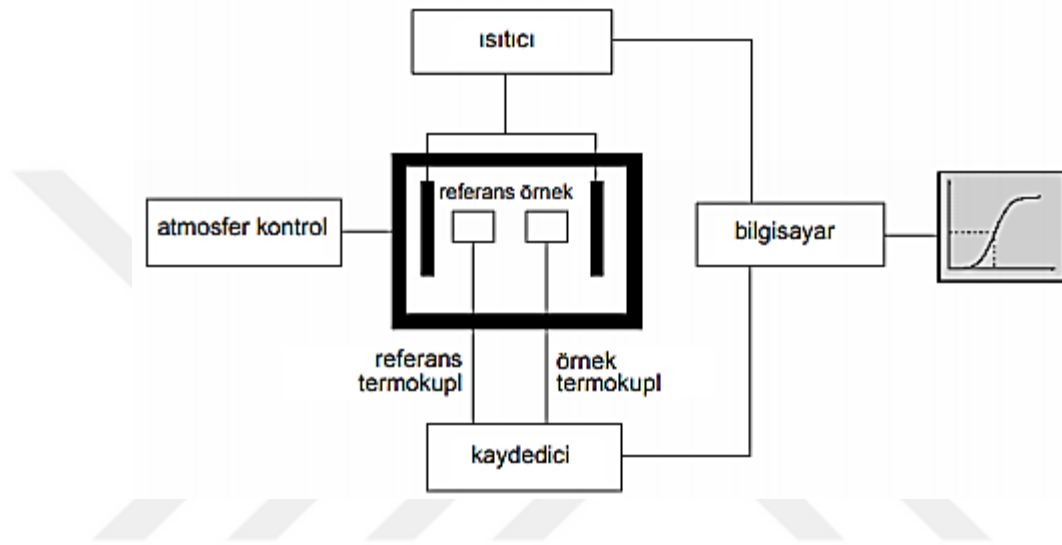
Şekil 2.10. Peletlenmiş numune

Analiz yapılmadan önce cihaz kalibrasyonu bilinen bir numune ile kontrol edildi ve daha sonra analizler yapılmaya başlanmıştır.

Analizler, 10 °C/dk’lık ısıtma hızı ve 20 °C ile 1000 °C sıcaklık aralığında yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, ATY1, ATY2, büyükbaş hayvan gübresi, arıtma çamuru, güvercin gübresi ve hazırlanan karışımların TGA ve DTG eğrileri elde edilmiştir.

2.2.6. DSC (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre) analizi ve çalışma prensibi

DSC cihazı ile numune kaplarından ısı akışındaki farkın ölçülmesi, temas halinde bulunan ince levhalardaki sıcaklıkların ölçülmesiyle sağlanır. Bu sayede örnek ve referans arasındaki ısı kapasiteleriyle orantılı bir sinyal oluşur ve DSC eğrileri elde edilir[54]. DSC cihazının çalışma sisteminin şematik diyagramı Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.11. DSC cihazının çalışma sisteminin şematik diyagramı[54]

Miao vd. [57], çalışmalarında DSC cihazı kullanarak $\text{Cu}_2\text{ZnSnS}_4$ 'ün kristalleşme sıcaklığını araştırmışlardır. Ayrıca DSC verilerini TGA, DTA, EDX ve SEM analizleriyle de desteklemişlerdir. Elde edilen TGA ve DSC analiz sonuçlarından, 530°C ile 550°C arasında değişen ısıtma sıcaklığının kristalizasyon işlemine yardımcı olduğu belirtilmiştir.

Müsellim vd. [58], çalışmalarında tarımsal atık olan bezelye atığının proliz davranışını incelemişlerdir. Bu nedenle yapılan TG/DSC-FTIR analizleri, farklı ısıtma hızları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen DSC analiz sonuçlarından, farklı ısıtma hızlarında oluşan reaksiyonların genel olarak ekzotermik bir davranış sergilediğini belirtmişlerdir. DSC analizinin yanısıra yapılan diğer analizler dikkate alındığında bezelye atıklarının piroliz yoluyla biyoenerji üretimine uygun olduğu vurgulanmıştır.

Yapılan çalışmalarda da belirtildiği gibi DSC eğrilerinden, faz geçişleri, entalpi tayini gibi değerler elde edilebilmektedir. Bu nedenle numunelerin hem DTA eğrilerini daha net görebilmek hem de 500 °C'ye kadar olan yanma sıcaklıklarını tespit edebilmek için DSC analizleri yapılmıştır. Analizler Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine

Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda Hitachi DSC 7010 cihazı kullanılarak yapılmıştır. Öncelikle cihaz kalibrasyonu bilinen bir numune ile kontrol edildi ve daha sonra analizler yapılmaya başlandı. Analizler, 10 °C/dk'lık ısıtma hızı ve 20 °C ile 500 °C sıcaklık aralığında yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, ATY1, ATY2, büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi, arıtma çamuru ve hazırlanan karışımların DSC eğrileri elde edilmiştir. Analizlerde kullanılan DSC cihazı aşağıdaki Şekil 2.12'de verilmiştir.



Şekil 2.12. DSC cihazı

3. BULGULAR

Çalışmada iki adet ATY, büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi ve arıtma çamuru olmak üzere beş adet numunenin yanma özellikleri araştırılmıştır. Daha sonra bu numuneler ATY ile belirli oranlarda (%10, %30 ve %70) karıştırılarak yanma süreçleri ve verimlilikleri incelenmiştir. ATY1, ATY2, hayvan gübreleri, arıtma çamuru ve ATY numunelerin yanma davranışını gözlemlemek için TGA analizleri yapılmıştır. ATY, gübre ve arıtma çamuru örneklerinin TGA deneylerini desteklemek ve yanma eğrilerini daha net görebilmek için DSC analizleri yapılmıştır. Aynı zamanda, ATY1, ATY2, büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi ve arıtma çamurunun kül kompozisyonları XRF analizi ile belirlenmiştir ve elde edilen bulgular verilmiştir.

3.1. Kısa analiz sonuçları

Kısa analize göre numune nem, uçucu madde, sabit karbon ve kül olmak üzere dört gruba ayrılır. Yanma işlemi de yakıtın içerisinde bulunan, kül miktarı, nem miktarı ve uçucu madde miktarı gibi özelliklere büyük bir ölçüde bağlıdır. Bu sebeple, bu parametrelerin bilinmesi, yanma sürecini anlamamızda etkili olmaktadır [59].

ATY1, ATY2, büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi ve arıtma çamuru numuneleri için kısa analiz yapılmıştır. Her bir numunenin analizi en az 3 defa denenmiş ve sonuçlardan elde edilen değerler bir araya getirilerek ortalama bir sonuç elde edilmiştir.

Tablo 3.1. ATY1, ATY2, büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi ve arıtma çamuru numunelerinin kısa analiz sonuçları (* Farktan belirlendi)

Numune İsmi	Nem İçeriği (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon Miktarı* (%)	Kül İçeriği (%)
ATY 1	3,30	68,91	5,73	22,06
ATY 2	3,50	56,05	8,76	31,89
Büyükbaş Hayvan Gübresi	5,62	55,45	3,81	35,12
Güvercin Gübresi	5,20	69,68	4,15	20,97
Arıtma Çamuru	5,32	52,25	8,95	33,48

Tablo 3.1’de kısa analiz sonuçlarından elde edilen yüzde nem içeriği, yüzde uçucu madde, yüzde sabit karbon miktarı ve kül içeriği değerlerinin ortalama değerleri verilmiştir. Genel itibarıyla, ATY numunelerinin yoğun olarak uçucu madde ve külden oluştuğu bilinmektedir. Bu çalışmada kullanılan ATY örneklerinin, uçucu madde içerikleri sırasıyla ATY1 ve ATY2 için % 68,91 ve % 56,05, kül içeriği, % 22,06 ve % 31,89’dır. Tablo 3.1’de, ATY1’in ATY2’den daha düşük kül içeriği ve daha yüksek uçucu madde miktarına sahip olduğu görülmektedir. ATY2 numunesinin, kül miktarının fazla olmasının sebebi, muhtemelen yakıt matrisi içerisindeki bileşenlerde, kâğıt gibi yüksek kül miktarına sahip numunelerin ATY1’ e kıyasla daha fazla bulunmasıdır. Tablo 3.2’de Zhao vd. [34]’nin yapmış oldukları çalışmadan elde edilen ATY içeriğindeki kâğıdın kül miktarı görülmektedir. Tablo 3.2 incelendiğinde kâğıt bileşeninin kül içeriğinin çok yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 3. 2. Bazı atık bileşenlerinin yakın analizi [34]

Numune İsmi	Nem (%)	Kül içeriği (%)	Uçucu madde (%)
PP / PE	0,06	0,03	99,4
Tekstil	5,4	0,9	93,6
Kağıt	7,1	17,1	75,6

Büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi ve arıtma çamurunun sonuçları kıyaslandığında büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi ve arıtma çamuru için uçucu madde içeriği sırasıyla ; %55,45, %69,68 ve %52,25, kül içeriği; %35,12, %20,97, %33,48, nem içeriği; %5,62,%5,20 ve %5,32'dir. Dikkat edilirse nem miktarları birbirine çok yakındır. Bu veriler, bu üç numune kıyaslandığında en az kül miktarı ve en fazla uçucu madde miktarına sahip olan güvercin gübresinin diğerlerine kıyasla daha iyi bir yanma reaksiyonu gerçekleştirebileceğini göstermiştir. Tablo 3.3'de bazı literatür verileri gösterilmiştir. Tablo 3.3 incelendiğinde ATY1 ve ATY2 numunelerinin literatür verileriyle uyduğu görülmektedir.

Tablo 3. 3. Kısa analiz bazı literatür verileri [6, 20, 60, 61, 62]

Numune İsmi	Nem İçeriği (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon Miktarı* (%)	Kül İçeriği (%)
Literatür	2-17-48	19-76-90	3-5-21	7-15-59
ATY 1	3,30	68,91	5,73	22,06
ATY 2	3,50	56,05	8,76	31,89

3.2. Isıl değer analiz sonuçları

Isıl değer, yakıtın yanma özelliklerini tespit edebilmek için kullanılan temel parametrelerden bir tanesidir ve atıkların yanması sonucu ortaya çıkan enerji miktarı olarak tanımlanabilir. Bu değer üst ısı değer ve alt ısı değer şeklinde ifade edilir. Atıkların içerisindeki kuru maddelerin vereceği enerji miktarına üst ısı değer denir. Analizlerde de üst ısı değer öncelikli olarak bulunup daha sonra hesaplama yolu ile alt ısı değer bulunur [63].

Tablo 3.4. Isıl Değer Analiz Sonuçları

Numune İsmi	Alt Isıl Değer (cal/g)
ATY1	4750,20
ATY2	3318,63
Büyük baş hayvan gübresi	2635,77
Güvercin gübresi	1831,63
Aritma çamuru	2780,17

Isıl değer analiz sonuçları; yani yakıtların hesaplanan alt ısı değerleri Tablo 3.4’de verilmiştir. ATY atıklarının ısı değerleri literatürde 2620 kcal/kg ile 6190 kcal/kg aralığında değişmektedir [64]. ATY numuneleri için ısı değer sonuçları literatürle uyushmaktadır. Tablo 3.3’de görüldüğü gibi en yüksek ısı değer ATY1 numunesinde bulunmaktadır. Element analizine bakıldığında da en yüksek karbon miktarının da ATY1 numunesinde olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ısı değer ile C miktarının orantılı oluşudur [65]. Bunun yanında ATY1 numunesinin ısı değeri ATY2 numunesinin ısı değerinden oldukça fazladır. Bu durumun nedeni, ATY1 numunesinin yakıt matrisi içerisindeki organik madde ve plastik malzemelerin yoğunluğu olabilir.

3.3. Elementel analiz sonuçları

Yakıt matrisi içerisindeki bileşenlerin hakkındaki en ufak bir bilgi, yakıtın yanma reaksiyonları hakkında bize yol göstermektedir. Element analizi de yakıt matrisindeki bileşenlerin içerisindeki, C, H, O, N ve S elementlerinin miktarlarını vermektedir. Bu sonuçlar içerisinde özellikle istenen C, H ve O yakıtlar için önemli elementlerdir. Çünkü bu elementler bir atıktaki bulunan ana yakıt kısmını oluşturmaktadır [5]. Kükürt ise yakıtın içerisindeki istenmeyen bir elementtir. Çünkü yakıtın içerisindeki kükürt miktarı, SO_2 ve SO_3 oluşumu hakkında bilgi vermektedir. Yanma sırasında meydana gelen SO_2 ve SO_3 su buharı ile birleşerek H_2SO_3 ve H_2SO_4 oluştururlar. Sülfüroz asidin kötü bir etki yaratması pek mümkün değildir çünkü sülfüroz asit çok yüksek sıcaklıklarda parçalanabilen bir yapıya sahiptir. Fakat sülfirik asit, gazların çığ noktasını yükseltir ve yaklaşık olarak $150\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye yükselen çığ noktasında aşırı korozif olan asit yoğunlaşması oluşur. Bu şekilde yoğunlaşmış olan sülfürik asit metal aksanların çok kısa bir sürede aşınmasına sebep olacaktır. Kısacası hem hava kirliliğine hem de korozyona sebep olduğu için istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle yakıtın içerisindeki kükürt, önem taşıyan elementlerden biridir. Azot içeriği ise bize NO_x oluşumu hakkında bilgi verir. NO_x yakıtların yanması sonucu oluşan atmosferik bir kirleticidir. Uçucu maddelerin içermiş oldukları azotlu birleşiklerin NO_x 'e dönüşümü, uçucu maddelerin ayrılma bölgelerinde ki başlangıç oksijen konsantrasyonuna bağlıdır. Fakat yalnızca oksijen konsantrasyonuna bağlı olmayıp beraberinde yakma sistemi ve çalışma koşulları da NO_x oluşumunu etkilemektedir [66].

Tablo 3.5. ATY1, ATY2, büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi ve arıtma çamurunun element analizi sonuçları (*Farktan belirlendi)

Numune İsmi	C (%)	H(%)	N(%)	S(%)	O(%)*
ATY1	36,15	5,01	1,92	0,47	35
ATY2	19,30	5,04	2,37	0,44	40,96
Büyükbaş Hayvan Gübresi	31,34	4,458	1,923	0,190	26,96
Güvercin Gübresi	32,61	4,77	3,325	0,234	38,09
Arıtma Çamuru	31,44	4,431	3,905	1,30	25,44

Element analizinde elde edilen, yakıtların C, H, N, S ve O miktarları Tablo 3.5’de verilmiştir. Numunelerin element analizi sonuçları, ATY’nin ağırlıklı olarak karbon ve oksijenden oluştuğunu göstermektedir. Tablo 3.5’e bakıldığında C miktarının 37’ı O miktarının ise 41’i geçmediği görülmektedir. ATY numuneleri için yakıt matrisi içerisindeki diğer elementlere bakıldığında ise iki numune içinde H ve S miktarları birbirlerine çok yakın olduğu ve miktarlarının 6’yı geçmediği görülmektedir. Azot miktarlarına bakıldığında ise ATY1 numunesinin ATY2 numunesine kıyasla daha az azot miktarına sahip olduğu görülmektedir. Bu da ATY2 numunesinin ATY1 numunesine kıyasla daha kirli bir gaz salınımı yapacağını göstermektedir.

Gübreler kıyaslandığında C ve H miktarlarının birbirlerine çok yakın, N miktarı ise büyükbaş hayvan gübresinin diğer gübrelere kıyasla daha az olduğu, S miktarının ise en fazla arıtma çamurunda olduğu görülmektedir. Bu da arıtma çamurunun diğer gübrelere kıyasla daha korozif olduğunu göstermektedir.

ATY numuneleri ile gübreler kıyaslandığında ise ATY numunelerinin H içeriğinin daha fazla olduğu görülmektedir. Bu sonuç, ATY numuneleri içerisindeki organik maddeler kaynaklı olabilir.

Tablo 3.6’de bazı literatür verileri gösterilmiştir. Tablo 3.6 incelendiğinde ATY1 numunesinin literatür verileriyle uyduğu, ATY2 numunesinin ise sadece C miktarının literatüre göre düşük çıktığı görülmektedir.

Tablo 3. 6. Elementel analiz bazı literatür verileri [6, 31, 51, 60, 61]

Numune ismi	C (%)	H (%)	N (%)	O (%)	S (%)
Literatür	24-44-58	1-5-8	0.04-0.97-4	17-36-44	0-0,46-1,50
ATY1	36,15	5,01	1,92	35	0,47
ATY2	19,30	5,04	0,44	40,96	0,44

3.4. XRF analiz sonuçları

Bu çalışmada, RDF, büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi ve arıtma çamuru külünün inorganik içeriğini belirlemek amacıyla XRF analizinin yapıldığı daha öncede belirtilmiştir.

ATY’nin içeriğinin büyük çoğunluğunu kağıt ve plastik fraksiyonu oluşturmaktadır. Bu içerik, kazanların kirlenmesine ve korozyonuna sebep olabilecek ve çıkan gazın kalitesini olumsuz yönde etkileyebilecek kül içeriğine sahiptir. Yakma tesislerinde mevcut olan korozyon gibi kötü durumlar bu tesisin arızalanmasına ve zamanla da hasarın artıp tesisin duraksamasına bile neden olabilir. Büyük hasarlara yol açtığı süreç boyunca da, ısı transferinde büyük kayıplara sebep olarak sistem verimini düşürür. Kazanlarda bu hasarlara neden olan önemli iki faktör vardır. Bunlar cüruf oluşumu ve kirlenmedir. Cüruf oluşumu diye tanımlanan şey, erimiş küllerden dolayı, kazanın yüksek sıcaklıklara dayanıklı olan kısmının yani refrakter bölmelerinde kül çökelmelerinin meydana gelmesidir. Kirlenme ise, kazanın ısı transfer bölgelerinde meydana gelir ve gazların soğuması sırasındaki kül birikintilerinden meydana gelir. Bu da yukarıda da söylenildiği gibi kazan verimini azaltır ve zamanla sistemin duraksamasına sebep olur. Bu yüzden kül içeriğinin bilinmesi ve kirlilik oranlarının hesaplanması ATY’yi iyileştirme konusunda önemli bir yere sahiptir.

Tablo 3.7. XRF analiz sonuçları

	ATY1	ATY2	Büyükbaş Hayvan Gübresi	Güvercin Gübresi	Arıtma Çamuru
CaO	10,34	10,25	12,22	6,08	10,74
Fe₂O₃	1,28	1,794	2,21	2,27	7,29
SiO₂	1,66	12,25	10,15	6,65	5,67
Cl	0,92	0,663	1,18	0,14	0,13
SO₃	0,84	0,302	1,69	1,14	3,12
Al₂O₃	0,79	3,420	0,94	1,17	2,03
K₂O	1,28	1,157	5,65	1,26	0,74
TiO₂	0,44	0,397	0,14	0,19	0,90
Na₂O	0,91	0,564	0,62	0,11	0,32
P₂O₅	0,32	0,992	2,28	2,51	1,53
MgO	0,30	0,724	1,09	0,67	0,67
ZnO	-	0,080	-	0,09	0,08
CuO	-	0,048	-	-	-
MnO	-	0,035	0,09	-	-
PbO	-	0,010	-	-	-
BaO	-	-	-	-	-
SrO	-	0,025	-	-	0,12

Tablo 3.7’de numuneler için kül içerikleri verilmiştir. Çalışmada, baz-asit oranı (B/A) ve kükürt oranı (Rs) cüruf oluşturma indeksleri için, toplam alkalliler (TA) ve kirlilik indeksi (Fu) ise kirlenme faktörü için hesaplanmıştır. Kül içerisinde mevcut bulunan bazik bileşiklerin erime sıcaklığını düşürdüğü varsayılırken asidik bileşiklerin

arttırdığı varsayılmıştır. Yukarıda da söylenildiği gibi kükürt oranı (Rs) cüruf oluşturma potansiyeli ile ilgilidir. Bu faktörün $Rs < 0,6$ olduğu durumda düşük, $Rs = 0,6-2,0$ olduğu durumda orta, $Rs = 2,0-2,6$ olduğu durumda yüksek ve $Rs > 2,6$ olduğu durumda aşırı yüksek olduğu belirtilmiştir. Kirlenme indeksinin (Fu) ise; $Fu \leq 0,6$ olduğu durumda düşük, $0,6 \leq Fu \leq 1,6$ olduğu durumda orta ve $1,6 \leq Fu \leq 40$ olduğu durumda ise yüksek olduğu belirtilmiştir [59]. $B/A < 0,5$ olduğu durumda oranın düşük, $0,5 < B/A < 1$ olduğu durumda orta, $B/A > 1$ olduğu durumda ise oranın yüksek olduğu belirtilmiştir. Ayrıca $TA < 0,3$ olduğu durumda düşük, $0,3 < TA < 0,4$ olduğu durumda orta, $TA > 0,4$ olduğu durumda ise toplam alkalinin yüksek olduğu belirtilmiştir [5].

Tablo 3.7'deki değerlere bakılarak cüruf oluşturma ve kirlilik indeksleri bütün numuneler için aşağıdaki denklemlerle hesaplanmıştır [67].

$$B / A = \frac{Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O + P_2O_5}{Al_2O_3 + SiO_2 + TiO_2} \quad (3.1)$$

$$Rs = \left(\frac{B}{A} \right) \times S \quad (3.2)$$

$$TA = Na_2O + K_2O \quad (3.3)$$

$$Fu = \left(\frac{B}{A} \right) \times (Na_2O + K_2O) \quad (3.4)$$

Tablo 3.8. Cüruf oluşturma ve kirlenme indeksleri

		ATY1	ATY2	Büyükbaş Hayvan Gübresi	Güvercin Gübresi	Aritma Çamuru
Cüruf Oluşturma İndeksleri	B/A	4,99	0,96	2,14	1,52	2,39
	Rs	2,32	0,42	0,40	0,35	3,10
Kirlenme İndeksleri	TA	2,19	1,71	6,27	1,37	1,06
	Fu	7,18	1,61	13,41	0,26	2,53

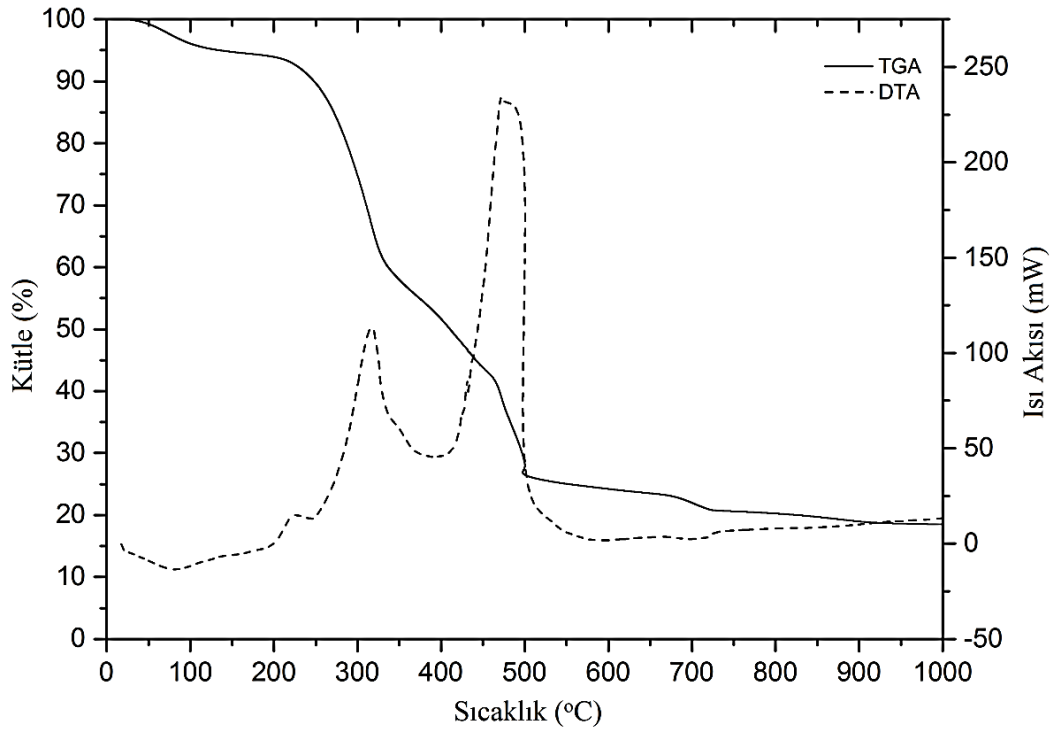
Denklemlerden hesaplanan değerler Tablo 3.8’de verilmiştir. Tablo 3.8 incelendiğinde ATY1 numunesi için cüruf oluşturma ve kirlenme indekslerine bakıldığında B/A, Rs, TA ve Fu oranlarının yüksek olduğu grlmştir. ATY 2 numunesi için bakıldığında B/A oranı orta, Rs oranı düşük, TA ve Fs oranının yüksek olduğu grlmştir. Bu iki ATY’ye bakıldığında ATY1’in kl içeriği ile ATY2’nin kl içeriğini kıyasladığımızda ATY2 numunesinin daha temiz bir atık olduğu görülmektedir. Fakat oranlar normale göre yüksek çıkmıştır. Bu faktörlerin iyileştirilmesi sistem verimini arttırmakla beraber tesisin ömrünü uzatacaktır. Bu nedenle yakıtlarda bu değerlere dikkat edilmelidir. Büyükbaş hayvan gübresine için veriler incelendiğinde sadece Rs oranının düşük diğer oranların yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Güvercin gübresine bakıldığında Rs ve Fu oranlarının düşük, B/A ve TA oranlarının yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Yani güvercin gübresine, büyükbaş hayvan gübresine kıyasla kirlenmeye daha az etki sağlar. Son olarak arıtma çamuru incelendiğinde ise Rs oranı aşır yüksek diğer değerleri ise yüksek olarak bulunmuştur.

Standartlara göre klor içeriği incelendiğinde ise sınır değeri 1’dir. Üretilen ATY’nin yakıt olarak kullanılabilmesi için $Cl \leq 1$ olması gerekmektedir [68]. Tablo 3.7 incelendiğinde ATY1 ve ATY2 numunelerinin Cl içeriğinin sınır değerini aşmadığı fakat sınıra oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu sonuç da ATY numunelerinin içerisindeki özellikle ATY1 için klor oluşumuna sebep olan PVC parçalarının, plastik ve kağdın yanısıra gıda ve gıda atıklarında mevcut olan tuzun varlığını gösterir.

3.5. TGA (Termal gravimetrik analiz)

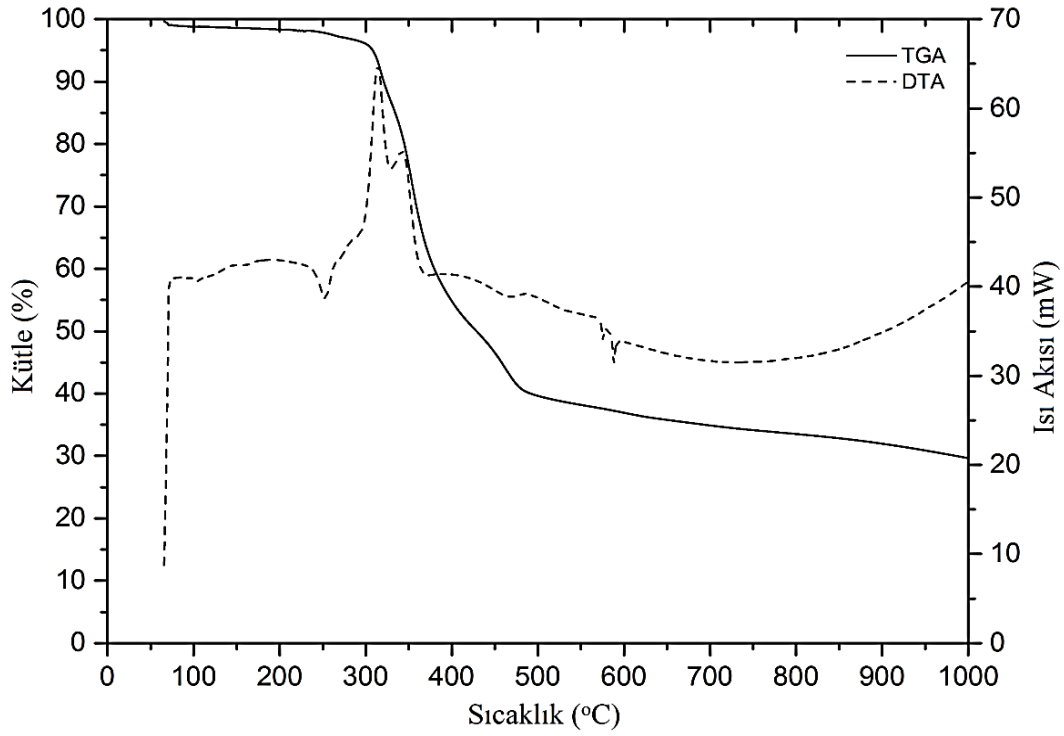
3.5.1. ATY1, ATY2, büyükbaş hayvan gübresine, güvercin gübresine ve arıtma çamuru numunelerinin TGA sonuçları

TGA analizleri yapılarak, numunelerin termal karakteristikleri araştırılmıştır. Bu alışmada, ATY1, ATY2, büyükbaş hayvan gübresine, güvercin gübresine, arıtma çamuru ve hazırlanan karışımların TGA cihazı ile analizleri yapılmıştır. Yapılan analizlerde numunelerin TGA ve DTA eğrileri elde edilmiştir.



Şekil 3. 1. ATY1 numunesinin TGA ve DTA eğrileri

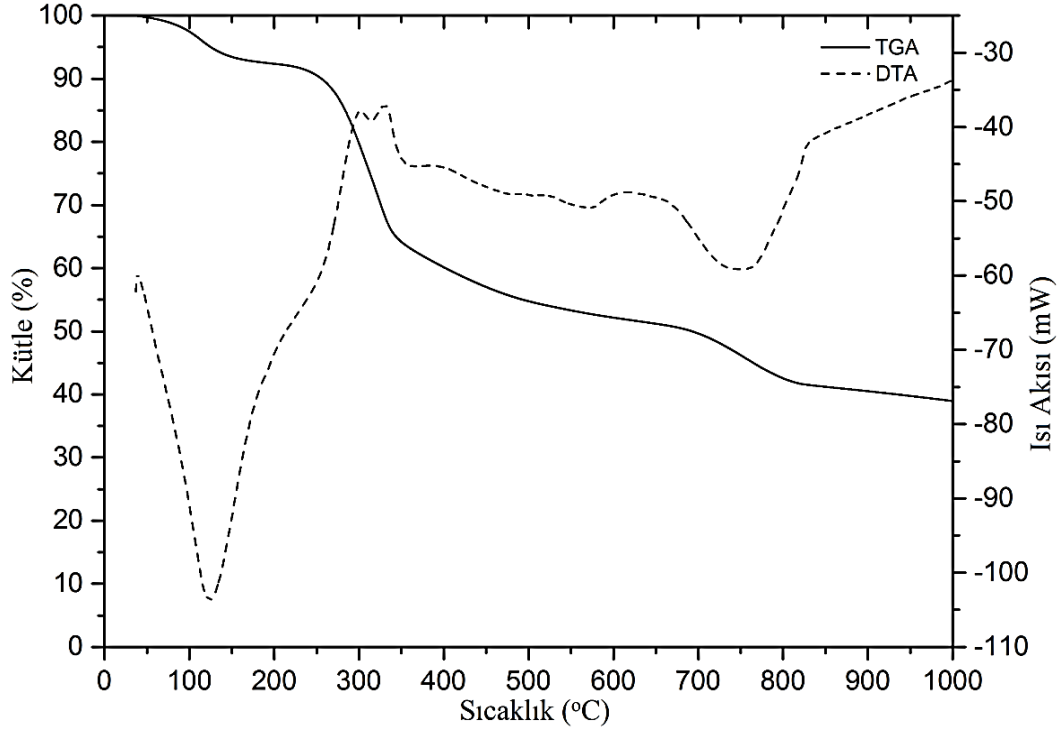
ATY1 numunesi için TGA ve DTA eğrileri Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Eğriler incelendiğinde, Akdağ [6]’ın çalışmasında numune olarak alınan ATY örneğine benzer bir reaksiyon göstermiş ve oradaki gibi 4 farklı bölgede kütle kaybının olduğu görülmekte ve her bir kütle kaybına neden olan reaksiyonlara ait DTA eğrisi üzerindeki faz dönüşümleri açıkça görülmektedir. İlk bölgede (0°C - 200 °C), ATY numunesinden nem çıkışı olduğu ve ilk kütle kaybının gerçekleştiği görülmektedir. Bu bölgede nemin yanı sıra, çok küçük bir miktarda olsa uçucu madde çıkışının olabileceği unutulmaması gereken bir faktördür. Bu bölgeden sonra, DTA eğrilerinden üç tane ekzotermik reaksiyon piki gözlemlenmiş ve gözlemlenen bu piklerin yanma reaksiyonu sonucu olduğu söylenebilir. Ayrıca, bu yanma reaksiyonları gerçekleştiğinde TGA eğrisinde büyük kütle kayıplarının olduğu görülmüştür. Bu bölgede ATY1 içindeki bazı malzemelerin yandığı ve kütle kaybına neden olduğu söylenebilir. Bu ciddi yanma reaksiyonlarından, yani sıcaklık değerinin 600 °C’yi aştıktan sonra ki değerlerinde küçük bir kütle kaybı daha olduğu ve 1000 °C’de kütle kaybının olmadığı, kütlenin sabitlendiği gözlemlenmiştir. Bu da, sıcaklık değerinin 1000 °C’yi geçtikten sonra ATY1 numunesinin artık kül olduğu sonucunu vermiştir. Tüm yanma sonucu kül miktarının yüzdelik kütlelerinin 18 olduğu, yani toplam kütle kaybının yüzdelik kütlelerinin 82 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. 2. ATY2 numunesinin TGA ve DTA eğrileri

ATY2 numunesi için TGA ve DTA eğrileri Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Eğriler incelendiğinde, gözle görülür üç farklı bölgede kütle kaybının olduğu görülmekte ve her bir kütle kaybına neden olan reaksiyonlara ait DTA eğrisi üzerindeki faz dönüşümleri açıkça görülmektedir. İlk bölgede (0°C- 250 °C), ATY numunesinden nem çıkışı olduğu ve ilk kütle kaybının gerçekleştiği görülmektedir. Bu bölgeden sonra, DTA eğrilerinden 2 tane ekzotermik reaksiyon piki gözlemlenmiş ve gözlemlenen bu piklerin yanma reaksiyonu sonucu olduğu söylenebilir. Ayrıca, bu yanma reaksiyonları gerçekleştiğinde TGA eğrisinde büyük kütle kayıplarının olduğu görülmüştür. Bu bölgede ATY2 içindeki bazı malzemelerin yandığı ve kütle kaybına neden olduğu söylenebilir. Bu ciddi yanma reaksiyonlarından yani sıcaklık değerinin 500 °C’yi aştıktan sonra ki değerlerinde küçük bir kütle kaybı daha olduğu ve 1000 °C’de kütle kaybının olmadığı, kütlenin sabitlendiği gözlemlenmiştir. Bu da, sıcaklık değerinin 1000 °C’yi geçtikten sonra ATY1 numunesinin artık kül olduğu sonucunu vermiştir. Tüm yanma sonucu kül miktarının yüzdelik kütlelerinin 29 olduğu, yani toplam kütle kaybının yüzdelik kütlelerinin 71 olduğu tespit edilmiştir.

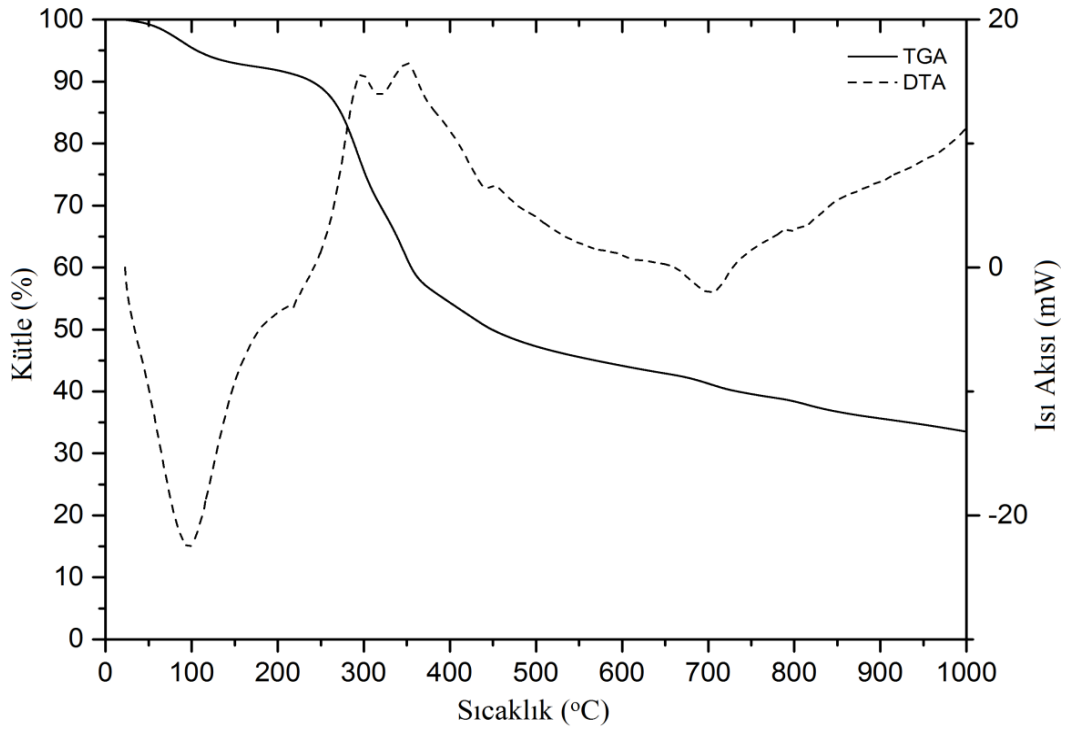
ATY1 ve ATY2 numuneleri kıyaslanacak olursa ATY1 numunesinin ATY2 numunesinden daha az kül miktarı ve daha fazla kütle kaybına ve DTA eğrilerine bakıldığında da daha keskin yanma reaksiyonu piklerine sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar ATY1 numunesinin daha iyi bir yanma gerçekleştireceğini göstermiştir.



Şekil 3. 3. Büyükbaş hayvan gübresinin TGA ve DTA eğrileri

Büyükbaş hayvan gübresi için TGA ve DTA eğrileri Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Eğriler incelendiğinde, gözle görülür 4 farklı bölgede kütle kaybının olduğu görülmekte ve her bir kütle kaybına neden olan reaksiyonlara ait DTA eğrisi üzerindeki faz dönüşümleri açıkça görülmektedir. İlk bölgede (0 °C - 230 °C), büyükbaş hayvan gübresinden nem çıkışı olduğu ve ilk kütle kaybının gerçekleştiği görülmektedir. İkinci bölgede (230 °C - 350 °C), DTA eğrilerinden iki tane ekzotermik reaksiyon piki gözlemlenmiş ve gözlemlenen bu piklerin yanma reaksiyonu sonucu olduğu söylenebilir. Üçüncü bölgede (350 °C - 850 °C), DTA eğrilerinde 2 tane ekzotermik pik, 1 tane endotermik pik görülmektedir. Bu bölgelerde ki yanma reaksiyonları gerçekleştiğinde TGA eğrisinde büyük kütle kayıplarının olduğu görülmüştür. Bu kütle kayıplarının olduğu bölgelerde büyükbaş hayvan gübresi içerisindeki bazı malzemelerin yandığı ve kütle kaybına neden olduğu söylenebilir.

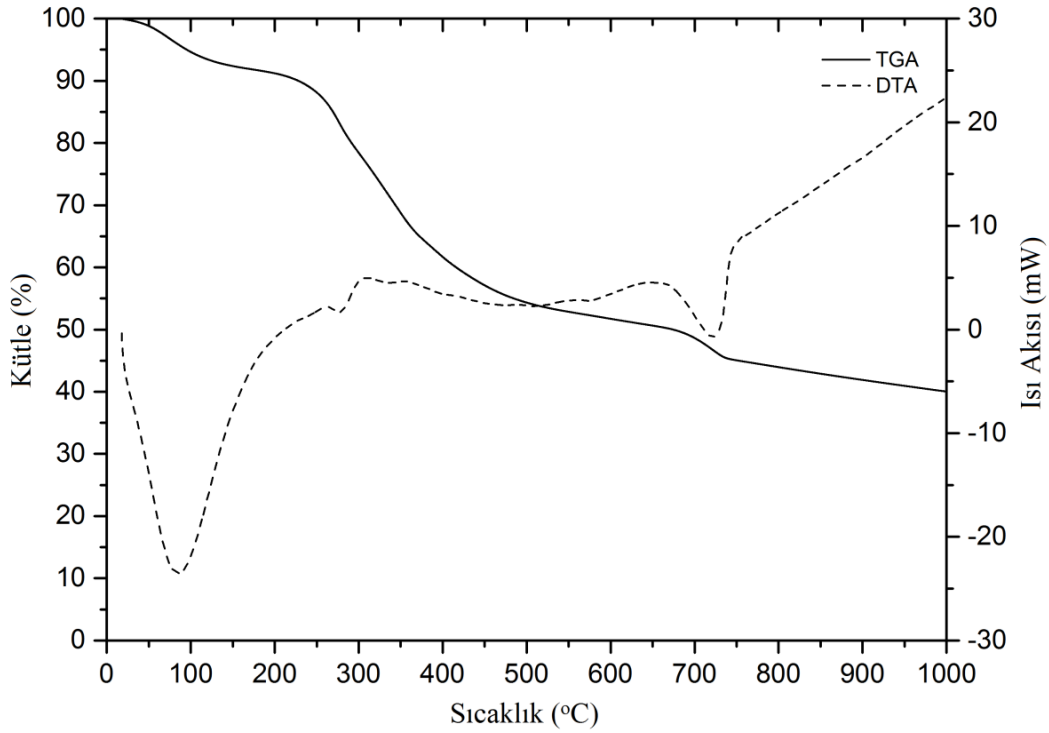
Bu ciddi yanma reaksiyonlarından yani sıcaklık değerinin 850 °C'yi aştıktan sonra ki değerlerinde küçük bir kütle kaybı daha olduğu ve 1000 °C'de kütle kaybının olmadığı, kütlelenin sabitlendiği gözlemlenmiştir. Bu da, sıcaklık değerinin 1000 °C'yi geçtikten sonra büyükbaş hayvan gübresinin artık kül olduğu sonucunu vermiştir. Tüm yanma sonucu kül miktarının yüzdelik kütlelenin 38 olduğu, yani toplam kütle kaybının yüzdelik kütlelenin 62 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. 4. Güvercin gübresinin TGA ve DTA eğrileri

Güvercin gübresi için TGA ve DTA eğrileri Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Eğriler incelendiğinde, gözle görülür 3 farklı bölgede kütle kaybının olduğu görülmekte ve her bir kütle kaybına neden olan reaksiyonlara ait DTA eğrisi üzerindeki faz dönüşümleri açıkça görülmektedir. İlk bölgede (0 °C - 250 °C) ,güvercin gübresinden gübresinden nem çıkışı olduğu ve ilk kütle kaybının gerçekleştiği görülmektedir. İkinci bölgede (250 °C - 450 °C), DTA eğrilerinden 3 tane ekzotermik reaksiyon piki gözlemlenmiş ve gözlemlenen bu piklerin yanma reaksiyonu sonucu olduğu söylenebilir. Üçüncü bölgede (450 °C - 900 °C), DTA eğrilerinde 3 tane ekzotermik pik görülmektedir. Bu bölgelerdeki yanma reaksiyonları gerçekleştiğinde TGA eğrisinde büyük kütle kayıplarının olduğu görülmüştür. Bu bölgelerde güvercin gübresi içerisindeki bazı malzemelerin yandığı ve kütle kaybına neden olduğu söylenebilir.

Bu ciddi yanma reaksiyonlarından yani sıcaklık değerinin 900 °C'yi aştıktan ki değerlerinde küçük bir kütle kaybı daha olduğu ve 1000 °C'de kütle kaybının olmadığı, kütlelenin sabitlendiği gözlemlenmiştir. Bu da, sıcaklık değerinin 1000 °C'yi geçtikten sonra güvercin gübresinin artık kül olduğu sonucunu vermiştir. Tüm yanma sonucu kül miktarının yüzdelik kütlelerinin 33 olduğu, yani toplam kütle kaybının yüzdelik kütlelerinin 67 olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. 5. Arıtma çamuru TGA ve DTA eğrileri

Arıtma çamuru için TGA ve DTA eğrileri Şekil 3.5'de gösterilmiştir. Eğriler incelendiğinde, gözle görülür 3 farklı bölgede kütle kaybının olduğu görülmekte ve her bir kütle kaybına neden olan reaksiyonlara ait DTA eğrisi üzerindeki faz dönüşümleri açıkça görülmektedir. İlk bölgede (0 °C - 210 °C), arıtma çamurundan nem çıkışı olduğu ve ilk kütle kaybının gerçekleştiği görülmektedir. İkinci bölgede (210 °C - 630 °C), DTA eğrilerinden küçük küçük 4 tane ekzotermik reaksiyon piki gözlemlenmiş ve gözlemlenen bu piklerin yanma reaksiyonu sonucu olduğu söylenebilir. Bu bölgedeki yanma reaksiyonu gerçekleştiğinde TGA eğrisinde büyük kütle kayıplarının olduğu görülmüştür. Bu bölgede arıtma çamuru içerisindeki bazı malzemelerin yandığı ve kütle kaybına neden olduğu söylenebilir. Üçüncü bölgede (630 °C - 800 °C), DTA eğrilerinde 1 tane endotermik pik görülmektedir. Bu ciddi yanma reaksiyonlarından ve sıcaklık değerinin 900 °C'yi geçtikten

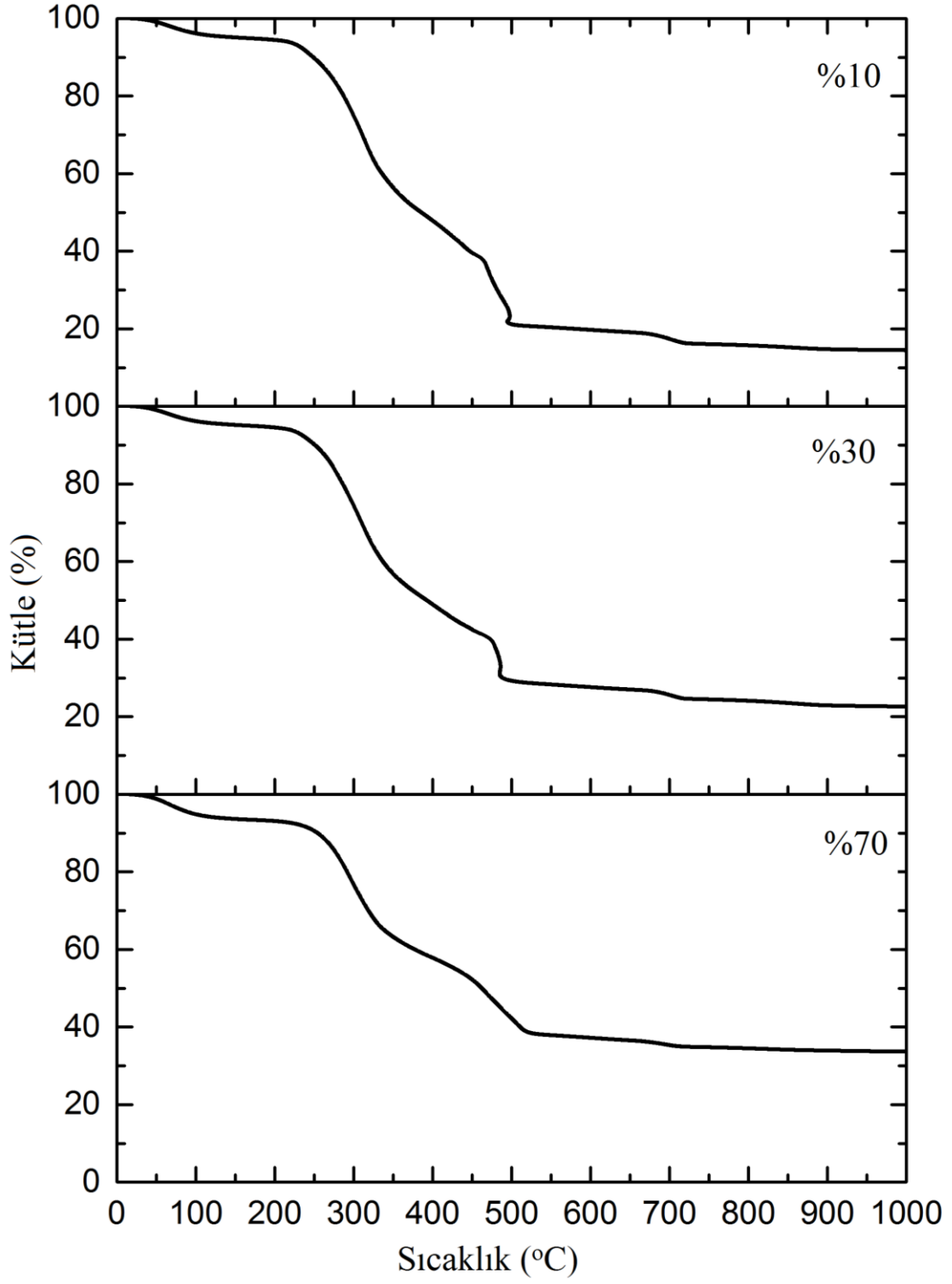
sonra ki değerlerinde küçük bir kütle kaybı daha olduğu ve 1000 °C’de kütle kaybının olmadığı, kütlenin sabitlendiği gözlemlenmiştir. Bu da, sıcaklık değerinin 1000 °C’yi aştıktan sonra güvercin gübresinin artık kül olduğu sonucunu vermiştir. Tüm yanma sonucu kül miktarının yüzdelik kütlesinin 40 olduğu, yani toplam kütle kaybının yüzdelik kütlesinin 60 olduğu tespit edilmiştir.

Büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi ve arıtma çamuru numuneleri birbiri ile kıyaslandığında ise kül miktarları sırası ile %38, %33 ve %40 olarak görülmekte ve toplam kütle kayıpları ise sırası ile %62, %67 ve %60 olarak görülmüştür. Kül miktarları ve toplam kütle kayıpları kıyaslandığında yanma reaksiyonlarının sırası ile iyiden kötüye doğru güvercin gübresi, büyükbaş hayvan gübresi ve arıtma çamuru olarak tespit edilmiştir.

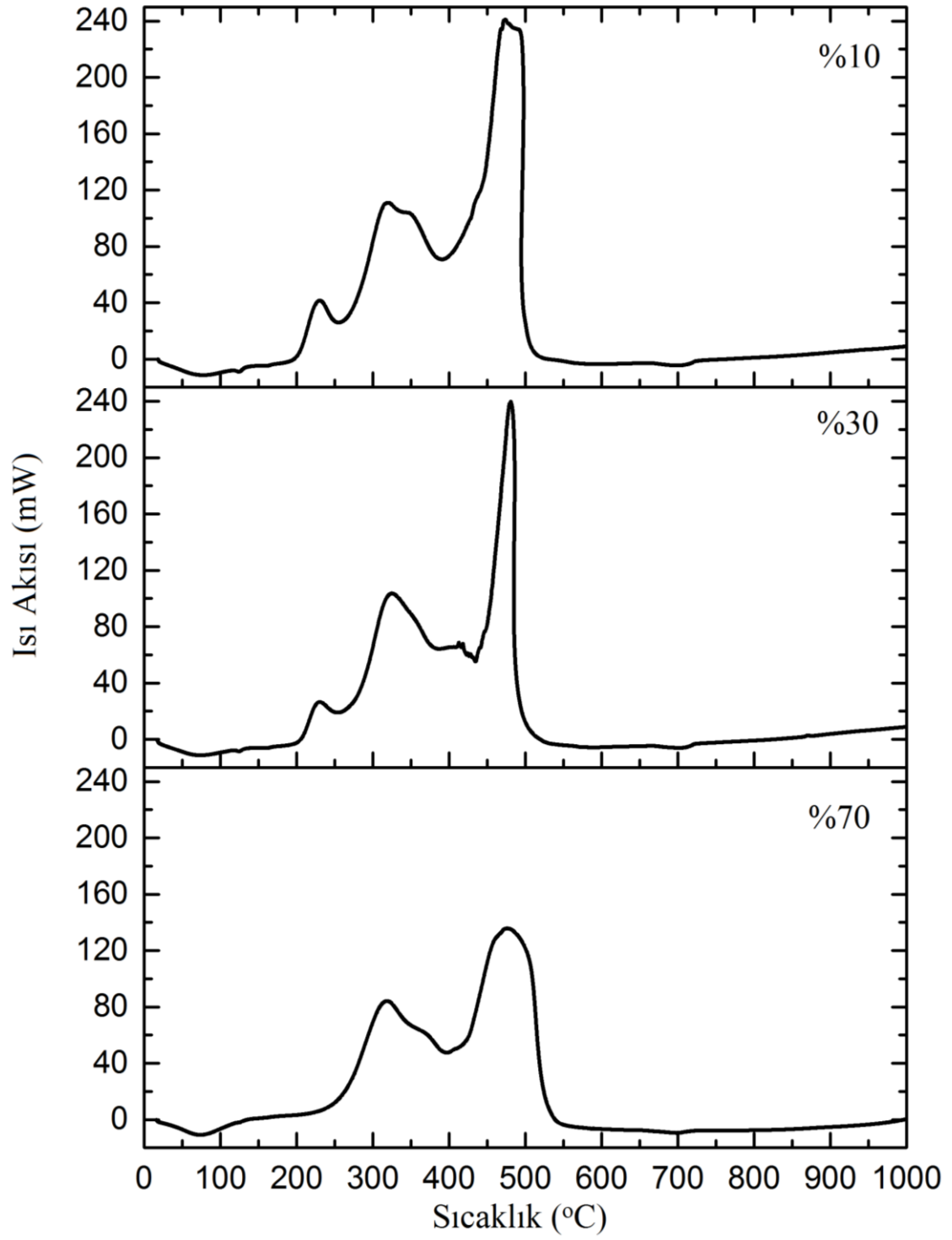
3.5.2. Karışımların TGA sonuçları

3.5.2.1. Büyükbaş hayvan gübresi katkılı ATY1 numunesinin TGA sonuçları

ATY1 numunesine kütlece %10, %30 ve %70 oranlarında büyükbaş hayvan gübresi katılıp TGA cihazında analizleri yapılmıştır. Analiz sonucunda numunelerin TGA ve DTA eğrileri elde edilmiştir. %10, %30 ve %70 büyükbaş hayvan gübresi katkılı ATY1’in TGA analiz sonuçlarından elde edilen TGA eğrileri Şekil 3.6’da ve DTA eğrileri ise Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3. 6. Büyükbaş hayvan gübresi katkısı %10, %30 ve %70 olan ATY1 numunelerinin TGA eğrileri



Şekil 3. 7. Büyükbaş hayvan gübresi katkısı %10, %30 ve %70 olan ATY1 numunelerinin DTA eğrileri

Büyükbaş hayvan gübresi katkısı %10, %30 ve %70 olan ATY1 numuneleri için TGA ve DTA eğrileri Şekil 3.6’de ve Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Karışımlar için verilen bu TGA eğrileri incelendiğinde %10 büyükbaş hayvan gübresi katkılı ATY1 numunesi için gözle görülür 4 farklı bölgede kütle kaybı görülmektedir. DTA ve TGA eğrileri birleştirilerek incelendiğinde, ilk bölgede (0 °C - 200 °C) meydana gelen nem çıkışından sonraki bölgelerde (200 °C - 550 °C) çok büyük kütle kayıpları meydana gelmiş olup bu kütle kayıplarının ciddi yanma reaksiyonları sonucu olduğu düşünülmüştür. DTA eğrilerinde bu reaksiyonlar açıkça görülmektedir. Sıcaklık değeri 600 °C’yi geçtikten sonra ise 800 °C’ye kadar küçük bir kütle kaybı daha yaşanarak 1000 °C’de kütle kaybı sabitlenmiştir. Bu da, sıcaklık değerinin 1000 °C’yi aştıktan sonra numunenin, kül olarak kaldığı sonucunu vermiştir. Bu reaksiyonlar sonucunda %10 büyükbaş hayvan gübresi katkılı ATY1 numunesi için toplam kütle kaybı %86, kül miktarı ise %14 olarak bulunmuştur.

Büyükbaş hayvan gübresi katkısı %30 olan ATY1 numunesi için gözle görülür 4 farklı bölgede kütle kaybı görülmektedir. DTA ve TGA eğrileri birleştirilerek incelendiğinde, ilk bölgede (0 °C - 200 °C) meydana gelen nem çıkışından sonraki bölgelerde (200 °C - 560 °C) çok büyük kütle kayıpları meydana gelmiş olup bu kütle kayıplarını ciddi yanma reaksiyonları sonucu olduğu düşünülmüştür. DTA eğrilerinde bu reaksiyonlar açıkça görülmektedir. Bu bölgelerdeki kütle kayıpları ve DTA eğrileri incelendiğinde, %10 büyükbaş hayvan gübresi katkılı ATY1 numunesine kıyasla, 300 °C-500 °C sıcaklık değerleri aralığındaki yanma reaksiyonlarındaki kütle kaybının daha az ve DTA eğrisi reaksiyon pikinin daha yayvan olduğu açıkça görülmektedir. Sıcaklık değeri 600 °C’yi geçtikten sonra ise 800 °C’ye kadar küçük bir kütle kaybı daha yaşanarak 1000 °C’de kütle kaybı sabitlenmiştir. Bu da sıcaklık değerinin 1000 °C’yi aştıktan sonra numunenin, kül olarak kaldığı sonucunu vermiştir. Bu reaksiyonlar sonucunda %30 büyükbaş hayvan gübresi katkılı ATY1 numunesi için toplam kütle kaybı %78, kül miktarı ise %22 olarak bulunmuştur. Toplam kütle kaybı ve kül miktarı incelendiğinde, %10 büyükbaş hayvan gübresi katkılı ATY1 numunesinin daha az kül miktarı ve daha fazla toplam kütle kaybına uğradığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç, %10 büyükbaş hayvan gübresi katkılı ATY1 numunesinin, %30 katkılı numuneye oranla daha iyi yanma reaksiyonları gerçekleştireceğini düşündürmüştür.

Büyükbaş hayvan gübresi katkısı %70 olan ATY1 numunesi için gözle görülür 4 farklı bölgede kütle kaybı görülmektedir. DTA ve TGA eğrileri birleştirilerek incelendiğinde, ilk bölgede (0 °C - 200 °C) meydana gelen nem çıkışından sonraki bölgelerde (200 °C - 600 °C) kütle kayıpları meydana gelmiş olup bu kütle kayıplarının ciddi yanma reaksiyonları sonucu olduğu düşünülmüştür. DTA eğrilerinde bu reaksiyonlar açıkça görülmektedir. Bu bölgelerdeki kütle kayıpları ve DTA eğrileri incelendiğinde, %10 büyükbaş hayvan gübresi katkılı ATY1 numunesine kıyasla, 200 °C - 600 °C sıcaklık değerleri aralığındaki yanma reaksiyonlarındaki kütle kaybının daha az olduğu açıkça görülmektedir. Sıcaklık değeri 600 °C'yi aştıktan sonra ise 800 °C'ye kadar küçük bir kütle kaybı daha yaşanarak, 1000 °C'de kütle kaybı sabitlenmiştir. Bu da sıcaklık değerinin 1000 °C'yi aştıktan sonra numunenin, kül olarak kaldığı sonucunu vermiştir. Bu reaksiyonlar sonucunda %70 büyükbaş hayvan gübresi katkılı ATY1 numunesi için toplam kütle kaybı %67, kül miktarı ise %33 olarak bulunmuştur. Toplam kütle kaybı ve kül miktarı incelendiğinde, %10 büyükbaş hayvan gübresi katkılı ATY1 numunesinin, daha az kül miktarı ve daha fazla toplam kütle kaybına uğradığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç, %10 büyükbaş hayvan gübresi katkılı ATY1 numunesinin, %70 katkılı numuneye oranla daha iyi yanma reaksiyonları gerçekleştireceğini düşündürmüştür.

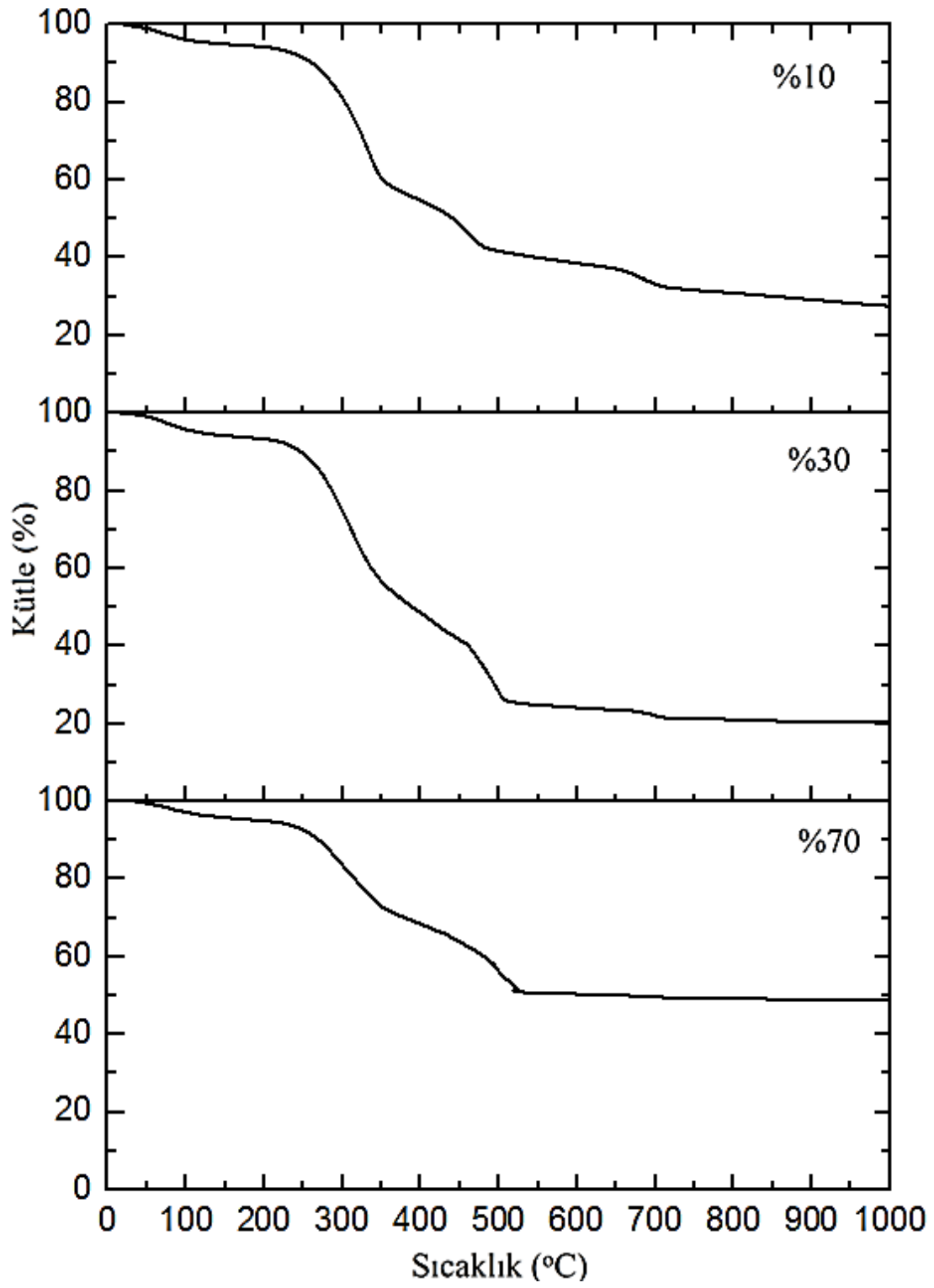
Elden edilen sonuçlarda kütlece belirli oranlarda karıştırılmış büyükbaş hayvan gübresi katkılı ATY1 numunesi için en verimli, oranın %10 olduğu belirlenmiştir. Belirlenen bu orandaki karışım ATY1 numunesinin yalnız kendisi için yapılan yani, %0 büyükbaş hayvan gübresi katkılı ATY1 numunesi için elde edilen TGA değerleriyle de kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucunda, %0 büyükbaş hayvan gübresi katkılı ATY1 numunesi için, yanma reaksiyonları sonucu toplam kütle kaybı ve kül miktarının sırası ile %82 ve %18 olup, %10 büyükbaş hayvan gübresi katkılı ATY1 numunesi için toplam kütle kaybı ve kül miktarının sırası ile %86 ve %14 olduğu görülmüştür. TGA ve DTA sonuçlarından elde edilen veriler %10 büyükbaş hayvan gübresi katkılı ATY1 numunesinin, %0 büyükbaş hayvan gübresi katkılı ATY1 numunesinden daha verimli bir yanma reaksiyonu gerçekleştirdiğini göstermiştir.

Bütün bu sonuçlar ATY1 numunesinin içerisine katılan büyükbaş hayvan gübresini belirli bir değere kadar yanmayı iyileştirdiğini, o değerin üstünde de gübrenin yanma karakteristiğine doğru bir eğilimde bulunduğunu göstermiştir.

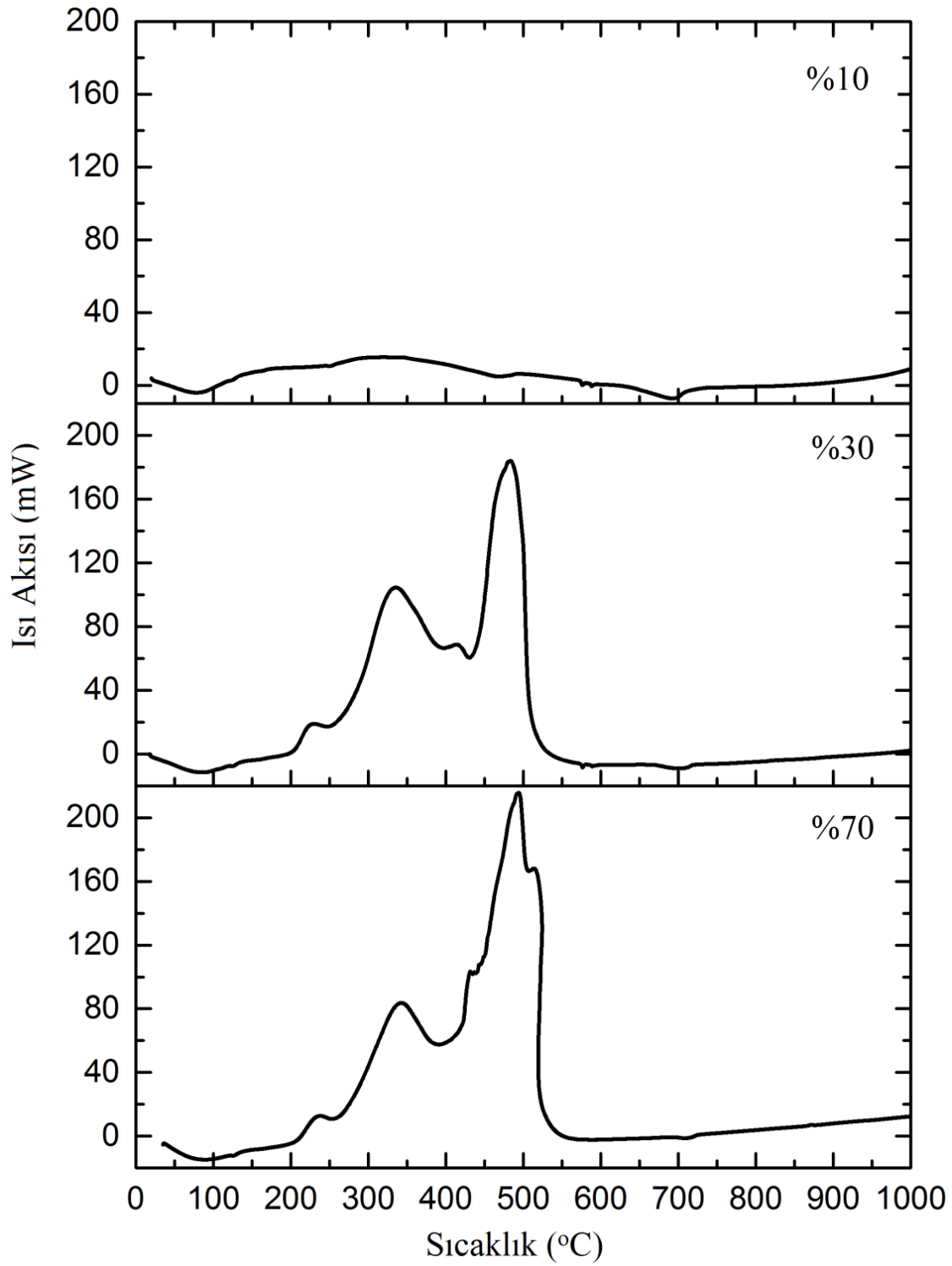
3.5.2.2. Güvercin gübresi katkılı ATY1 numunesinin TGA sonuçları

ATY1 numunesine kütlece %10, %30 ve %70 oranlarında güvercin gübresi katılıp TGA cihazında analizleri yapılmıştır. Analiz sonucunda numunelerin TGA ve DTA eğrileri elde edilmiştir. Güvercin Gübresi katkısı %10, %30 ve %70 ATY1'in TGA analiz sonuçlarından elde edilen TGA eğrileri Şekil 3.8'de ve DTA eğrileri Şekil 3.9 'da verilmiştir.





Şekil 3.8. Güvercin gübresi katkısı %10, %30 ve %70 olan ATY1 numunelerinin TGA eğrileri



Şekil 3. 9. Güvercin gübresi katkısı %10, %30 ve %70 olan ATY1 numunelerinin DTA eğrileri

Güvercin gübresi katkısı sırasıyla %10, %30 ve %70 olan ATY1 numuneleri için TGA ve DTA eğrileri Şekil 3.8’de ve Şekil 3.9’da gösterilmiştir. Karışımlar için verilen bu TGA eğrileri incelendiğinde %10 güvercin gübresi katkılı ATY1 numunesi için gözle görülür 5 farklı bölgede kütle kaybı görülmektedir. DTA ve TGA eğrileri birleştirilerek

incelendiğinde, ilk bölgede (0 °C - 200 °C) meydana gelen nem çıkışından sonraki bölgelerde (200 °C - 800 °C) çok büyük kütle kayıpları meydana gelmiş olup bu kütle kayıplarını ciddi yanma reaksiyonları sonucu olduğu düşünülmüştür. DTA eğrilerinde bu reaksiyonlar açıkça görülmektedir. Sıcaklık değeri 800 °C'yi geçtikten sonra ise kütle kayıpları olmaya devam etmiştir. Bütün numuneler, 1000 °C'de incelendiklerinden dolayı, bu numune için de, 1000 °C'deki kül miktarı ve toplam kütle kaybı incelenip kıyaslamaları yapılacaktır. Sonuçlarda görülen reaksiyonlar sonucunda %10 güvercin gübresi katkılı ATY1 numunesinin sıcaklık değeri 1000 °C'yi gösterdiğinde toplam kütle kaybı %73, kül miktarı ise %27 olarak bulunmuştur.

Güvercin gübresi katkısı %30 olan ATY1 numunesi için gözle görülür 5 farklı bölgede kütle kaybı görülmektedir. DTA ve TGA eğrileri birleştirilerek incelendiğinde, ilk bölgede (0 °C - 200 °C) meydana gelen nem çıkışından sonraki bölgelerde (200 °C - 560 °C) büyük kütle kayıpları meydana gelmiş olup bu kütle kayıplarının ciddi yanma reaksiyonları sonucu olduğu düşünülmüştür. DTA eğrilerinde bu reaksiyonlar açıkça görülmektedir. Bu bölgelerdeki kütle kayıpları ve DTA eğrileri incelendiğinde, %10 güvercin hayvan gübresi katkılı ATY1 numunesine kıyasla, 200 °C - 800 °C sıcaklık değerleri aralığındaki yanma reaksiyonlarındaki kütle kaybının daha fazla ve DTA eğrisi reaksiyon pikinin daha keskin olduğu açıkça görülmektedir. Sıcaklık değeri 800 °C'yi aştıktan sonra ise 1000 °C'ye kadar küçük bir kütle kaybı daha yaşanarak, 1000 °C'de kütle kaybı sabitlenmiştir. Bu da sıcaklık değerinin 1000 °C'yi geçtikten sonra numunenin, kül olarak kaldığı sonucunu vermiştir. Bu reaksiyonlar sonucunda %30 güvercin gübresi katkılı ATY1 numunesi için toplam kütle kaybı %80, kül miktarı ise %20 olarak bulunmuştur. Toplam kütle kaybı ve kül miktarı incelendiğinde, %10 güvercin gübresi katkılı ATY1 numunesinin daha fazla kül miktarı ve daha az toplam kütle kaybına uğradığı gözlenmiştir. Bu sonuç, %30 güvercin gübresi katkılı ATY1 numunesinin, %10 katkılı numuneye oranla daha iyi yanma reaksiyonları gerçekleştireceğini düşündürmüştür.

Güvercin gübresi katkısı %70 olan ATY1 numunesi için gözle görülür 4 farklı bölgede kütle kaybı görülmektedir. DTA ve TGA eğrileri birleştirilerek incelendiğinde, ilk bölgede (0 °C - 200 °C) meydana gelen nem çıkışından sonraki bölgelerde (200 °C - 600 °C) kütle kayıpları meydana gelmiş olup bu kütle kayıplarının yanma reaksiyonları sonucu olduğu düşünülmüştür. DTA eğrilerinde bu reaksiyonlar açıkça görülmektedir.

Bu bölgelerdeki kütle kayıpları ve DTA eğrileri incelendiğinde, %30 büyükbaş hayvan gübresi katkılı ATY1 numunesine kıyasla, 200 °C - 800 °C sıcaklık değer aralığındaki yanma reaksiyonlarındaki kütle kaybının daha az olduğu açıkça görülmektedir. Sıcaklık değeri 600 °C'yi aştıktan sonra ise 800 °C'ye kadar küçük bir kütle kaybı daha yaşanarak, 1000 °C'de kütle kaybı sabitlenmiştir. Bu da sıcaklık değerinin 1000 °C'yi geçtikten sonra numunenin, kül olarak kaldığı sonucunu vermiştir. Bu reaksiyonlar sonucunda %70 güvercin gübresi katkılı ATY1 numunesi için toplam kütle kaybı %52, kül miktarı ise %48 olarak bulunmuştur. Toplam kütle kaybı ve kül miktarı incelendiğinde, %30 güvercin gübresi katkılı ATY1 numunesinde büyük bir fark görülmekte olup, daha az kül miktarı ve daha fazla toplam kütle kaybına uğradığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç, %30 güvercin gübresi katkılı ATY1 numunesinin, %70 katkılı numuneye oranla daha iyi yanma reaksiyonları gerçekleştireceğini düşündürmüştür.

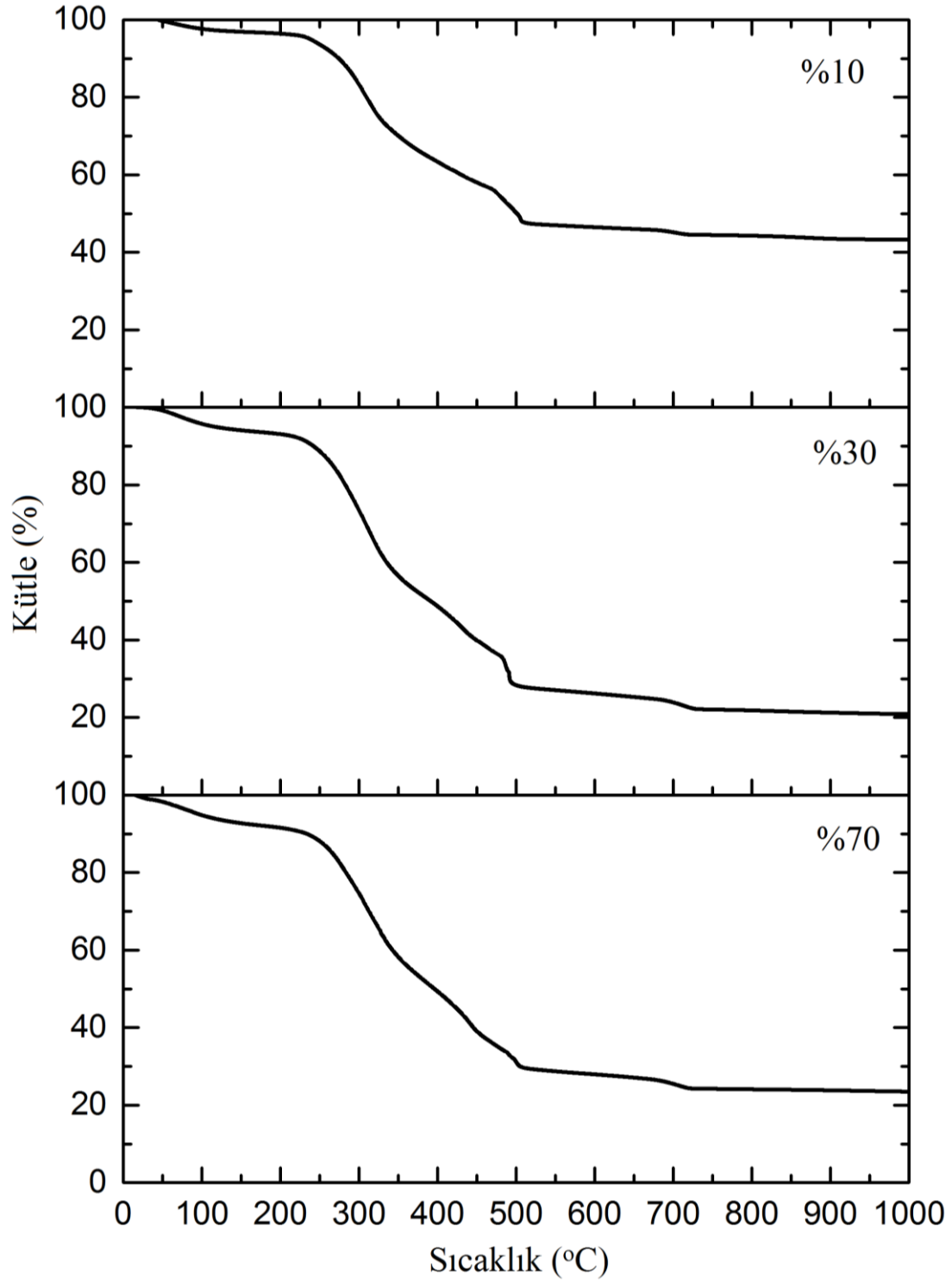
Elden edilen sonuçlara bakıldığında kütlece belirli oranlarda karıştırılmış güvercin gübresi katkılı ATY1 numunesi için en verimli oranın %30 olduğu belirlenmiştir. Belirlenen bu orandaki karışım ATY1 numunesinin yalnız kendisi için yapılan yani, %0 güvercin gübresi katkılı ATY1 numunesi için elde edilen TGA değerleri de kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucunda, %0 büyükbaş hayvan gübresi katkılı ATY1 numunesi için, yanma reaksiyonları sonucu toplam kütle kaybı ve kül miktarının sırası ile %82 ve %18 olup, %30 güvercin gübresi katkılı ATY1 numunesi için toplam kütle kaybı ve kül miktarının sırası ile %80 ve %20 olduğu görülmüştür. TGA ve DTA sonuçlarından elde edilen veriler, %0 güvercin gübresi katkılı ATY1 numunesinin çok az bir farkla, %30 güvercin gübresi katkılı ATY1 numunesinden daha verimli bir yanma reaksiyonu gerçekleştirdiğini göstermiştir.

Bütün bu sonuçlar, ATY1 numunesinin içerisine katılan güvercin gübresinin belirli bir ara değere kadar yanmayı ATY1 numunesine yaklaştırdığı, o değerin üstünde ve altında gübrenin yanma karakteristiğine doğru bir eğilimde bulunduğunu göstermiştir.

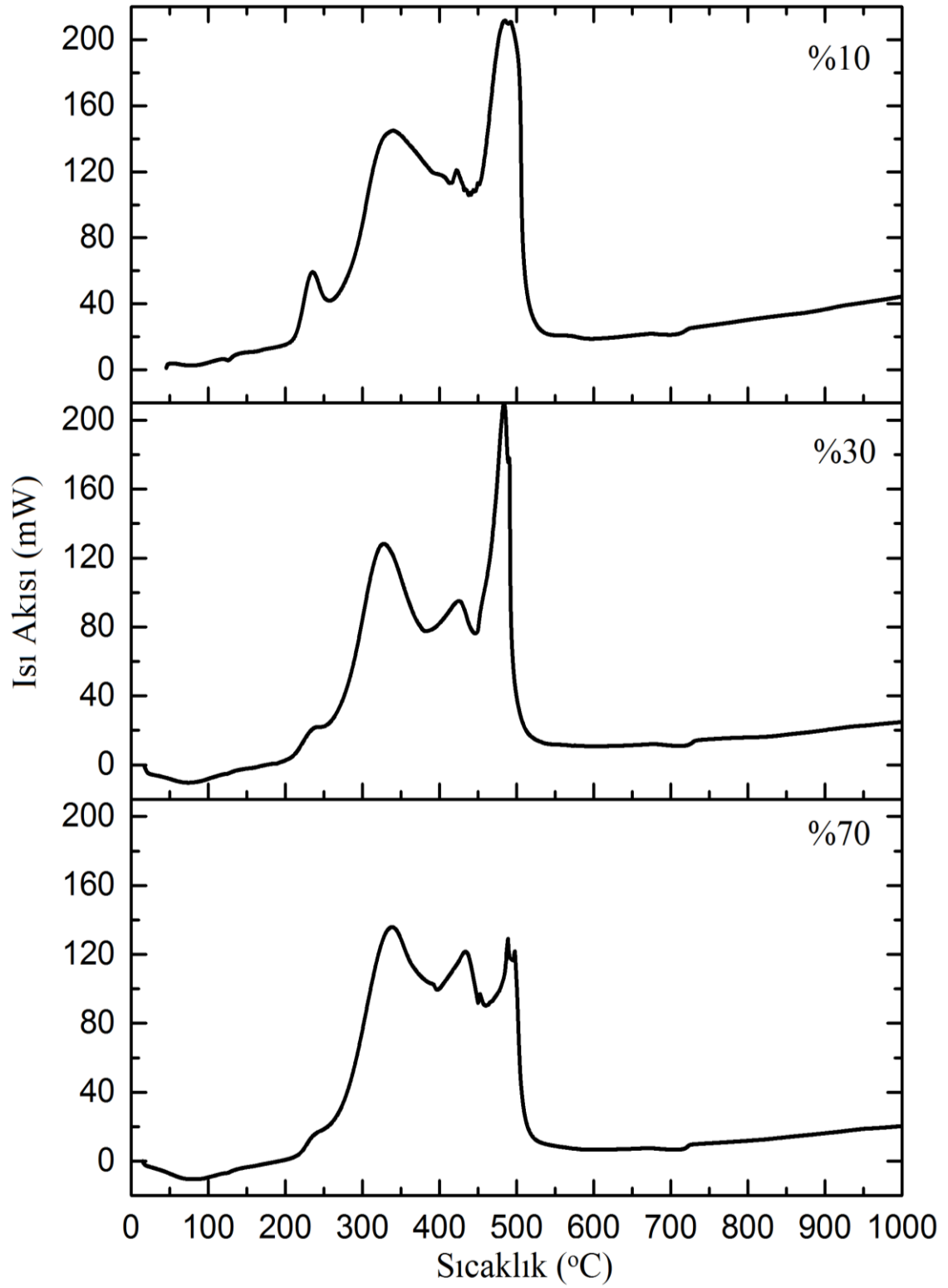
3.5.2.3.Arıtma çamuru katkılı ATY1 numunesinin TGA sonuçları

ATY1 numunesine kütlece %10, %30 ve %70 oranlarında arıtma çamuru katılıp TGA cihazında analizleri yapılmıştır.

Analiz sonucunda numunelerin TGA ve DTA eğrileri elde edilmiştir. %10, %30 ve %70 arıtma çamuru katkıli ATY1 numunelerinin TGA analiz sonuçlarından elde edilen TGA eğrileri Şekil 3.10'da ve DTA eğrileri Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.10. Arıtma çamuru katkısı %10, %30 ve %70 olan ATY1 numunelerinin TGA eğrileri



Şekil 3.11. Arıtma çamuru katkısı %10, %30 ve %70 olan ATY1 numunelerinin DTA eğrileri

Arıtma çamuru katkısı %10, %30 ve %70 olan ATY1 numuneleri için TGA ve DTA eğrileri Şekil 3.10'da ve Şekil 3.11'de gösterilmiştir. Karışımlar için verilen bu TGA eğrileri incelendiğinde %10 arıtma çamuru katkılı ATY1 numunesi için gözle görülür 4 farklı bölgede kütle kaybı görülmektedir. DTA ve TGA eğrileri birleştirilerek incelendiğinde, %10, %30 ve %70 arıtma çamuru katkılı ATY1 numunesi için TGA ve DTA eğrileri Şekil 3.10'da ve Şekil 3.11'de gösterilmiştir. Karışımlar için verilen bu TGA eğrileri incelendiğinde %10 arıtma çamuru katkılı ATY1 numunesi için gözle görülür 4 farklı bölgede kütle kaybı görülmektedir. DTA ve TGA eğrileri birleştirilerek incelendiğinde, ilk bölgede (0 °C - 200 °C) meydana gelen nem çıkışından sonraki bölgelerde (200 °C - 530 °C) kütle kayıpları meydana gelmiş olup bu kütle kayıplarının yanma reaksiyonları sonucu olduğu düşünülmüştür. DTA eğrilerinde bu reaksiyonlar açıkça görülmektedir. 530 °C'den sonra ise 800 °C'ye kadar küçük bir kütle kaybı daha yaşanarak 1000 °C'de kütle kaybı sabitlenmiştir. Bu da sıcaklık değerinin 1000 °C'yi aştıktan sonra numunenin, kül olarak kaldığı sonucunu vermiştir. Bu reaksiyonlar sonucunda %10 arıtma çamuru katkılı ATY1 numunesi için toplam kütle kaybı %57, kül miktarı ise %43 olarak bulunmuştur.

Arıtma çamuru katkısı %30 olan, ATY1 numunesi için gözle görülür 4 farklı bölgede kütle kaybı görülmektedir. DTA ve TGA eğrileri birleştirilerek incelendiğinde, ilk bölgede (0 °C - 200 °C) meydana gelen nem çıkışından sonraki bölgelerde (200 °C - 520 °C) çok büyük kütle kayıpları meydana gelmiş olup bu kütle kayıplarının ciddi yanma reaksiyonları sonucu olduğu düşünülmüştür. DTA eğrilerinde bu reaksiyonlar açıkça görülmektedir. Bu bölgelerdeki kütle kayıpları ve DTA eğrileri incelendiğinde, %10 arıtma çamuru katkılı ATY1 numunesine kıyasla, 200 °C - 520 °C sıcaklık değer aralığındaki yanma reaksiyonlarındaki kütle kaybının daha fazla ve DTA eğrisi reaksiyon pikinin daha keskin olduğu açıkça görülmektedir. Sıcaklık değeri 600 °C'yi aştıktan sonra ise 750 °C'ye kadar küçük bir kütle kaybı daha yaşanarak 1000 °C'de kütle kaybı sabitlenmiştir. Bu da sıcaklık değerinin 1000 °C'yi geçtikten sonra numunenin, kül olarak kaldığı sonucunu vermiştir. Bu reaksiyonlar sonucunda %30 arıtma çamuru katkılı ATY1 numunesi için toplam kütle kaybı %80, kül miktarı ise %20 olarak bulunmuştur. Toplam kütle kaybı ve kül miktarı incelendiğinde, %10 arıtma çamuru katkılı ATY1 numunesinin daha fazla kül miktarı ve daha az toplam kütle kaybına uğradığı gözlemlenmiştir.

Bu sonuç, %30 arıtma çamuru katkılı ATY1 numunesinin, %10 katkılı numuneye oranla daha iyi yanma reaksiyonları gerçekleştireceğini düşündürmüştür.

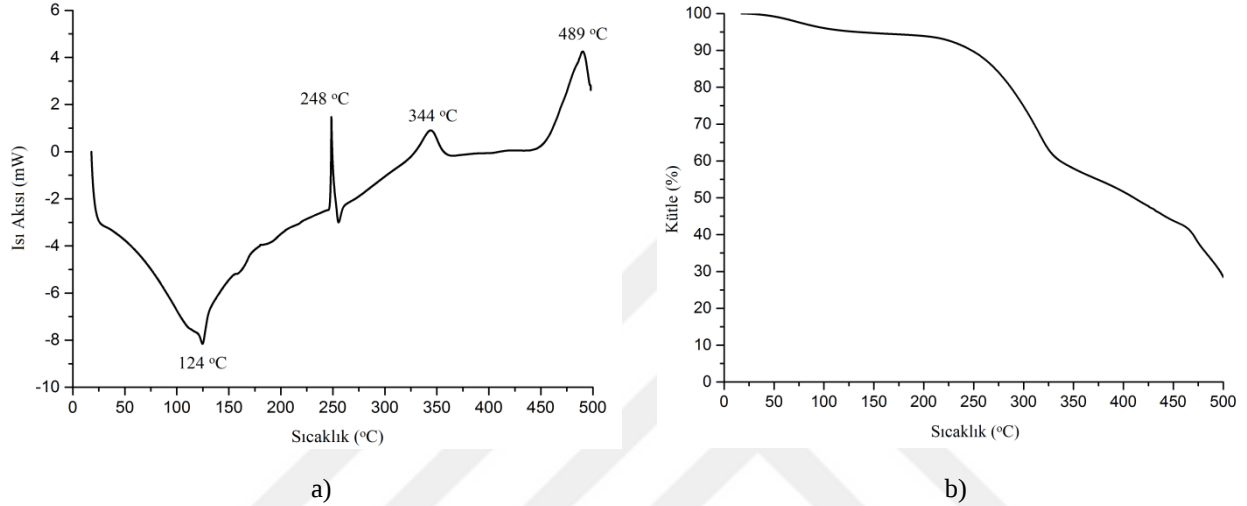
Arıtma çamuru katkısı %70 olan ATY1 numunesi için gözle görülür 5 farklı bölgede kütle kaybı görülmektedir. DTA ve TGA eğrileri birleştirilerek incelendiğinde, ilk bölgede (0 °C - 180 °C) meydana gelen nem çıkışından sonraki bölgelerde (180 °C - 540 °C) kütle kayıpları meydana gelmiş olup bu kütle kayıplarının ciddi yanma reaksiyonları sonucu olduğu düşünülmüştür. DTA eğrilerinde bu reaksiyonlar açıkça görülmektedir. Bu bölgelerdeki kütle kayıpları ve DTA eğrileri incelendiğinde, %30 arıtma çamuru katkılı ATY1 numunesine kıyasla, 300 °C - 600 °C sıcaklık değer aralığındaki yanma reaksiyonlarındaki kütle kaybının daha az olduğu açıkça görülmektedir. Sıcaklık değeri 600 °C'yi aştıktan sonra ise 800 °C'ye kadar küçük bir kütle kaybı daha yaşanarak, 1000 °C'de kütle kaybı sabitlenmiştir. Bu da sıcaklık değerinin 1000 °C'den sonra numunenin, kül olarak kaldığı sonucunu vermiştir. Bu reaksiyonlar sonucunda %70 arıtma çamuru katkılı ATY1 numunesi için toplam kütle kaybı %77, kül miktarı ise %23 olarak bulunmuştur. Toplam kütle kaybı ve kül miktarı incelendiğinde, %30 arıtma çamuru katkılı ATY1 numunesinin, daha az kül miktarı ve daha fazla toplam kütle kaybına uğradığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç, %30 arıtma çamuru katkılı ATY1 numunesinin, %70 katkılı numuneye oranla daha iyi yanma reaksiyonları gerçekleştireceğini düşündürmüştür.

Elden edilen sonuçlara bakıldığında kütlece belirli oranlarda karıştırılmış arıtma çamuru katkılı ATY1 numunesi için en verimli, oranın %30 olduğu belirlenmiştir. Belirlenen bu orandaki karışım ATY1 numunesinin yalnız kendisi için yapılan yani, %0 arıtma çamuru katkılı ATY1 numunesi için elde edilen TGA değerleriyle de kıyaslanmıştır. Kıyaslama sonucunda, %0 arıtma çamuru katkılı ATY1 numunesi için, yanma reaksiyonları sonucu toplam kütle kaybı ve kül miktarının sırası ile %82 ve %18 olup, %30 arıtma çamuru katkılı ATY1 numunesi için toplam kütle kaybı ve kül miktarının sırası ile %80 ve %20 olduğu görülmüştür. TGA ve DTA sonuçlarından elde edilen veriler, %0 arıtma çamuru katkılı ATY1 numunesinin çok az bir farkla, %30 arıtma çamuru katkılı ATY1 numunesinden daha verimli bir yanma reaksiyonu gerçekleştirdiğini göstermiştir.

Bütün bu sonuçlar ATY1 numunesinin içerisine katılan arıtma çamurunun belirli bir ara değere kadar yanmayı ATY1 numunesine yaklaştırdığını, o değerin üstünde ve altında gübrenin yanma karakteristiğine doğru bir eğilimde bulunduğunu göstermiştir.

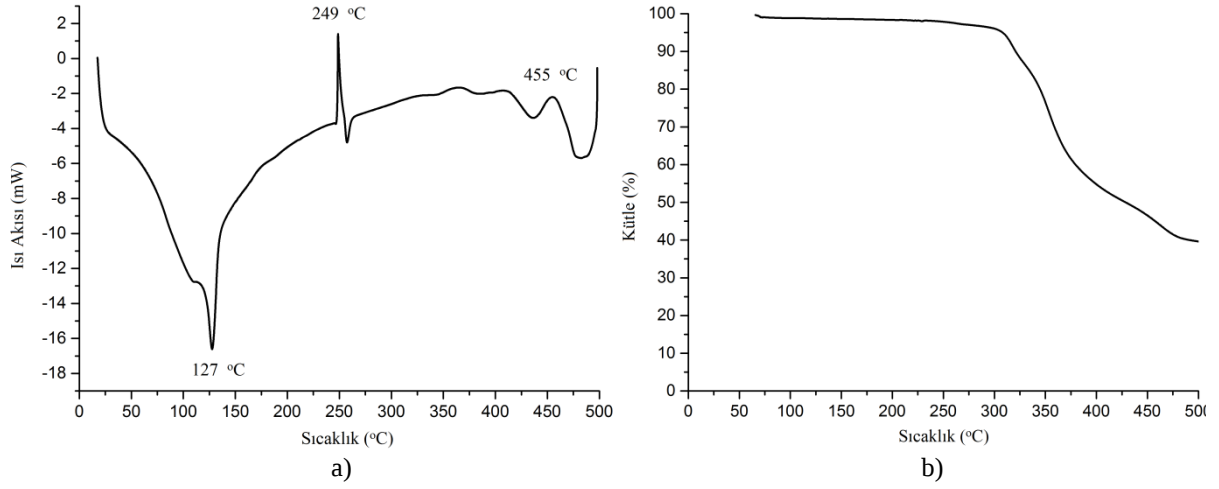
3.6.DSC analiz sonuçları

Numunelerin hem DTA eğrilerini daha net görebilmek hem de 500 °C'ye kadar olan yanma sıcaklıklarını tespit edebilmek için DSC analizleri yapılmıştır. ATY1 numunesinin DSC analiz sonuçları Şekil 3.12'de verilmiştir.



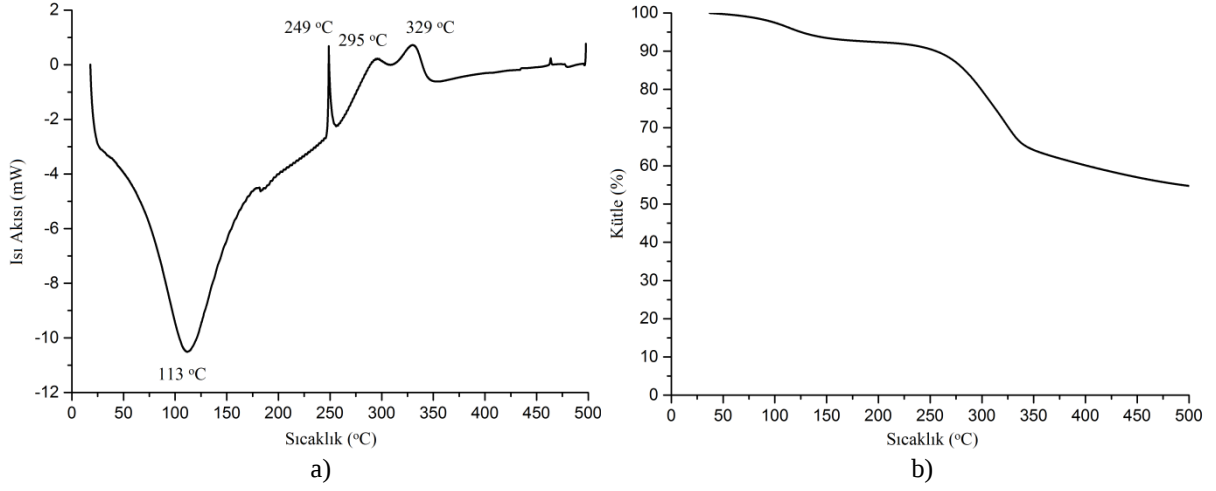
Şekil 3. 12. ATY1 numunesi için a) DSC eğrisi, b) TGA eğrisi

Şekil 3.12 (a) ve (b)'de sırasıyla ATY1 numunesi için DSC ve TGA eğrileri verilmiştir. DSC eğrilerine göre ATY1 numunesinde önce endotermik yayvan bir pik daha sonra sıcaklık değeri 500 °C'ye ulaşınca kadar ayrı ayrı 3 tane keskin ekzotermik pik görülmektedir. İlk pik, yayvan endotermik bir pik olup 20 °C ile 200 °C aralığındadır. Bu bölgede nem çıkışı olduğu düşünülmektedir. Sıcaklık değeri 200 °C'ye ulaştıktan sonra 500 °C'ye kadar görülen, keskin, ekzotermik piklerin ise yanma reaksiyonu sonucu oluştuğu düşünüldüğünde, ATY1 numunesi için 3 aşamalı bir yanma gerçekleştiği söylenebilir. İlk aşama 248 °C'de gerçekleşmiş olup, bu sıcaklık değeri ATY1 numunesi için ilk tutuşma sıcaklığı olarak okunmuştur. Bunu takip eden, ikinci aşama 344 °C'de ve üçüncü aşama ise 489 °C'de gerçekleşmiştir. DSC eğrilerinde görülen her bir reaksiyon, TGA eğrilerinde bir kütle kaybını karşılamış olup, DSC ve TGA verileri birbirini destekler niteliktedir.



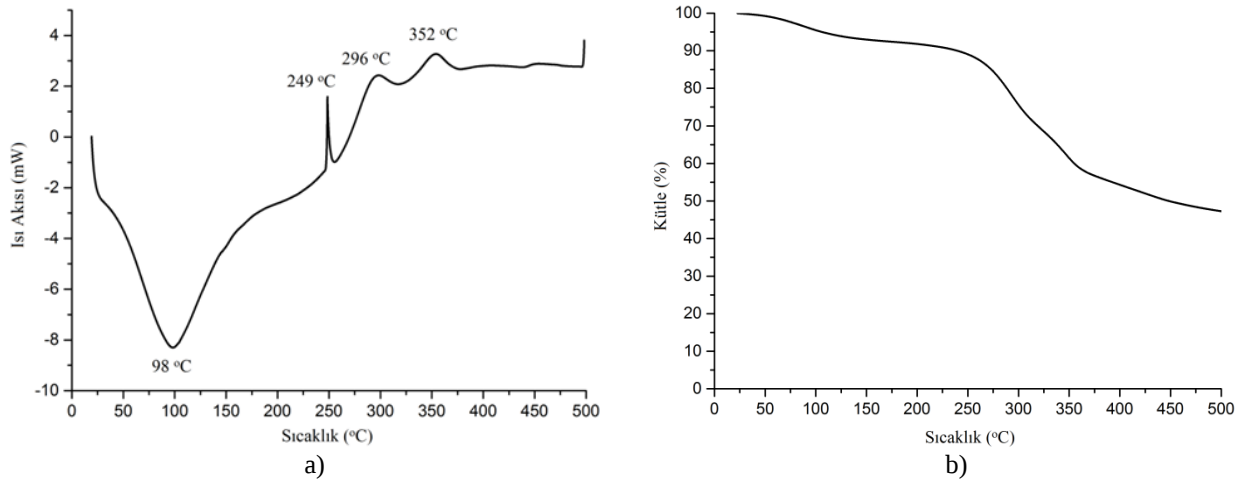
Şekil 3. 13. ATY2 numunesi için a) DSC eğrisi, b) TGA eğrisi

Şekil 3.13 (a) ve (b)'de sırasıyla ATY2 numunesi için DSC ve TGA eğrileri verilmiştir. DSC eğrilerine göre ATY2 numunesinde önce endotermik yayvan bir pik daha sonra 500 °C'ye kadar ayrı ayrı belirgin 2 tane keskin ekzotermik pik görülmektedir. İlk pik, yayvan endotermik bir pik olup 20 °C ile 200 °C aralığındadır. Bu bölgede nem çıkışı olduğu düşünülmektedir. Sıcaklık değeri 200 °C'yi aştıktan sonra 500 °C'ye kadar görülen, keskin, ekzotermik pikler ise yanma reaksiyonu olarak görülmektedir. ATY2 numunesi için 2 aşamalı bir yanma gerçekleştiği söylenebilir. İlk aşama 249 °C'de gerçekleşmiş olup, bu sıcaklık değeri ATY2 numunesi için ilk tutuşma sıcaklığı olarak okunmuştur. Bunu takip eden, ikinci aşama 455 °C'de gerçekleşmiştir. DSC eğrilerinde görülen her bir reaksiyon, TGA eğrilerinde bir kütle kaybını karşılamış olup, DSC ve TGA verileri birbirini destekler niteliktedir. Dikkat edilirse ATY1 ve ATY2 numunesi için ilk yanma sıcakları hemen hemen aynıdır.



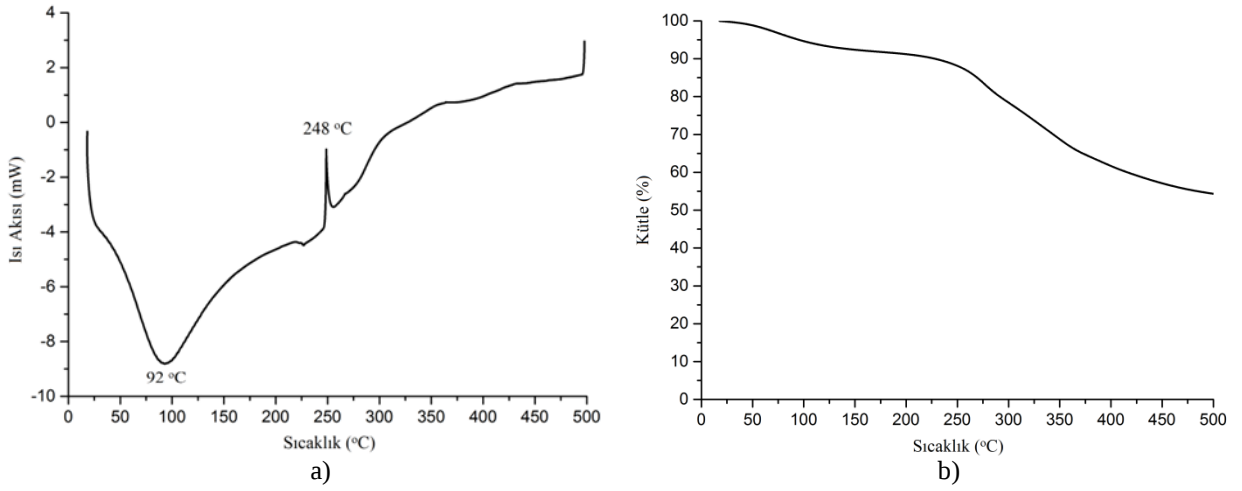
Şekil 3. 14. Büyükbaş hayvan gübresi için a) DSC eğrisi, b) TGA eğrisi

Şekil 3.14 (a) ve (b)'de sırasıyla büyükbaş hayvan gübresi için DSC ve TGA eğrileri verilmiştir. DSC eğrilerine göre büyükbaş hayvan gübresi önce endotermik yayvan bir pik daha sonra 500 °C'ye kadar belirgin 3 tane keskin ekzotermik pik görülmektedir. İlk pik, yayvan endotermik bir pik olup 20 °C ile 200 °C aralığındadır. Bu bölgede nem çıkışı olduğu düşünülmektedir. Sıcaklık değeri 200 °C'yi geçtikten sonra 500 °C'ye kadar görülen, keskin, ekzotermik pikler ise yanma reaksiyonu olarak görülmektedir. Büyükbaş hayvan gübresi için 3 aşamalı bir yanma gerçekleştiği söylenebilir. İlk aşama 249 °C'de gerçekleşmiş olup, bu sıcaklık değeri ATY2 numunesi için ilk tutuşma sıcaklığı olarak okunmuştur. Bunu takip eden, ikinci aşama 295 °C'de ve üçüncü aşama 329 °C'de gerçekleşmiştir. DSC eğrilerinde görülen her bir reaksiyon, TGA eğrilerinde bir kütle kaybını karşılamış olup, DSC ve TGA verileri birbirini destekler niteliktedir. İlk tutuşma sıcaklığının ATY2 numunesi ile aynı olduğu görülmektedir.



Şekil 3. 15. Güvercin gübresi için a) DSC eğrisi, b) TGA eğrisi

Şekil 3.15 (a) ve (b)'de sırasıyla güvercin gübresi için DSC ve TGA eğrileri verilmiştir. DSC eğrilerine göre güvercin gübresi diğer numunelerde de görüldüğü gibi önce endotermik yayvan bir pik daha sonra 500 °C'ye kadar belirgin 3 tane keskin ekzotermik pik görülmektedir. İlk pik, yayvan endotermik bir pik olup 20 °C ile 200 °C aralığında olup nem çıkışını ifade etmektedir. Sıcaklık değeri 200 °C'yi geçtikten sonra 500 °C'ye kadar görülen, keskin, ekzotermik pikler ise yanma reaksiyonu olarak görülmektedir. Güvercin gübresi için 3 aşamalı bir yanma gerçekleştiği söylenebilir. İlk aşama 249 °C'de gerçekleşmiş olup, bu sıcaklık değeri güvercin gübresi için ilk tutuşma sıcaklığı olarak okunmuştur. Bunu takip eden, ikinci aşama 296 °C'de ve üçüncü aşama 352 °C'de gerçekleşmiştir. DSC eğrilerinde görülen her bir reaksiyon, TGA eğrilerinde bir kütle kaybını karşılamış olup, DSC ve TGA verileri birbirini destekler niteliktedir. İlk tutuşma sıcaklığı ATY2 ve büyükbaş hayvan gübresi ile aynıdır ve dikkat edilirse ikinci aşama sıcaklığı da büyükbaş hayvan gübresi ile aynı olduğu görülmektedir. Bu da gübrelerin içerisinde bulunan ortak bir maddenin yandığını göstermektedir.



Şekil 3. 16. Arıtma çamuru için a) DSC eğrisi, b) TGA eğrisi

Şekil 3.16 (a) ve (b)'de sırasıyla arıtma çamuru için DSC ve TGA eğrileri verilmiştir. DSC eğrilerine göre arıtma çamurunda önce endotermik yayvan bir pik daha sonra 500 °C'ye kadar belirgin tek keskin ekzotermik pik görülmektedir. İlk pik, yayvan endotermik bir pik olup 20 °C ile 200 °C aralığında olup nem çıkışını ifade etmektedir. Sıcaklık değeri 200 °C'yi geçtikten sonra görülen, keskin ekzotermik pik ise yanma reaksiyonu olarak görülmektedir. Arıtma çamuru için tek aşamalı bir yanma gerçekleştiği söylenebilir. Bu aşamada 249 °C'de gerçekleşmiş olup, bu sıcaklık değeri arıtma çamuru için ilk tutuşma sıcaklığı olarak okunmuştur. DSC eğrilerinde görülen her bir reaksiyon, TGA eğrilerinde bir kütle kaybını karşılamış olup, DSC ve TGA verileri birbirini destekler niteliktedir. İlk tutuşma sıcaklığının bütün numunelerde, yaklaşık olarak aynı olduğu görülmektedir. Bu da numunelerin karışımları yapıldığında, ilk tutuşma sıcaklıklarını çok fazla değiştirmeyeceğini düşündürmüştür.

4. SONUÇLAR

Farklı tarihlerden temin edilen atıktan türetilmiş yakıt ve atıktan türetilmiş yakıtla gübre karışımlarından oluşturulan yakıt örneklerinin, yakıt değerleri ve yanma karakteristikleri analiz edildi.

Çalışmada, ATY1, ATY2, büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi ve arıtma çamuru örnekleri kullanılmış olup bu örneklerle kısa, ısı değeri, elementel, XRF, TGA ve DSC olmak üzere altı farklı analiz yapılmıştır. Daha sonra atıktan türetilmiş yakıtla kütlece %10, %30 ve %70 oranlarında büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi ve arıtma çamuru katılarak örneklerin yanma davranışlarını incelemek için TGA'ları alınmıştır.

Bu çalışma sonucunda;

- Isıl değeri analizi ATY1, ATY2, büyükbaş hayvan gübresi, güvercin gübresi ve arıtma çamuru için sonuçlar incelendiğinde ATY örnekleri içerisinde ATY1 numunesinin, gübre örnekleri arasında ise arıtma çamuru numunesinin en yüksek ısı değeri sahip olduğu, büyükbaş hayvan gübresinin ısı değerinin arıtma çamuruna çok yakın olduğu görülmüştür. Bütün örnekler kıyaslandığında, ise en yüksek ısı değeri ATY1 numunesine aittir. Bu nedenle de, karışımları hazırlamak için ATY numuneleri arasından, ATY1 numunesi tercih edilmiştir.
- Kısa analiz sonuçlarından elde edilen verilerle; ATY numuneleri kendi arasında kıyaslandığında en yüksek uçucu madde miktarının ATY1 numunesinde olduğu, bu sebeple az kül miktarına sahip olduğu da görülmektedir. Gübreler kendi aralarında kıyaslandığında ise en fazla uçucu madde ve en az kül miktarının güvercin gübresinde olduğu görülmektedir. Hatta güvercin gübresinin uçucu madde miktarı ATY1 numunesinden de daha fazladır. Fakat ısı değeri sonuçlarında güvercin gübresinin ısı değeri ATY1 numunesinin ısı değerinden çok çok daha düşüktür. Bu sonucun yakıt içerisindeki materyallerin farklılığından kaynaklandığı düşünülmüştür.
- Elementel analiz sonuçlarında ATY numuneleri arasında en yüksek C miktarına ATY1 numunesinin sahip olduğu, gübreler arasında ise güvercin gübresinin sahip olduğu görülmektedir. Bu da ATY1 numunesinin daha iyi yanma gerçekleştirdiğinin göstergesidir.
- XRF sonuçlarına bakıldığında, ATY'ler için kirlilik indeksinin en fazla ATY1 numunesinde olduğu, klor miktarının da ATY2 numunesi ve standartlara göre yüksek

olduğu görülmektedir. Cl miktarının fazla oluşu bizi, ATY numunesi içerisinde Cl oluşumuna sebep olan, PVC parçaları, plastik, kağıt ve gıda atıklarının daha fazla mevcut olduğu sonucuna vardırmıştır. Kirlilik oranının da yüksek çıkması nedeniyle, ATY numunelerinin bu tür önemli faktörlerinin iyileştirilmesi gerektiğini söyleyebiliriz.

- TGA analizi bütün numuneler ve karışımlar için yapılmış olup, elde edilen sonuçlardan karışım halinde olmayan numunelerin, TGA eğrilerinden elde edilen verilerin, diğer analizlerin sonuçlarını desteklediği görülmektedir. Karışım olan numunelerde ise en iyi yanmanın %10 büyükbaş hayvan gübresi katkılı ATY1 numunesinin olduğu hatta ATY1'den bile daha iyi yandığı gözlemlenmiştir. Bu sonuç da, içerisinde belirli bir değere kadar büyükbaş hayvan gübresi bulunan yakıt örneklerinin, ATY numunelerinin yakıt verimliliğini arttırabileceğini göstermiştir.
- DSC analiz sonuçlarında numunelerin ilk tutuşma sıcaklıkları ve diğer analiz sonuçlarının desteklenip desteklenmediği kontrol edilmiştir. Bütün numunelerin ilk tutuşma sıcaklıkları neredeyse aynı çıkmış olup ilerleyen zamanda ise yanma sıcaklıklarının değiştiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, DSC analiz sonuçları diğer deney sonuçlarını desteklemiş ve bu sonuç da numunelerimizin olabildiğince homojen hale getirildiğinin ve deney sonuçlarımızın doğruluğunun bir göstergesidir.

5. ÖNERİLER

Çalışma neticesinde elde edilen bulgularla ileriye dönük analizler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Yapılan karışımlara yakıt değeri analizleri de yapılarak net bir sonuca varılabilir.
- Elde edilen karışımlar bir yatak içerisinde daha fazla kütle ile yakılarak daha detaylı bir şekilde incelenebilir.
- Analizlerde kullanılan yüzdelerden örnek alınarak, ayarlanan oranların aralığı daha daraltılarak yüksek verimli yakıtlar elde edilebilir.
- Bazı bölgeler için sorun haline gelen (arıtma çamuru vb.) ürünler, bu şekilde karışımlarla denenip olumlu etki görülmesi durumunda bölge sorunu halinden çıkartılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Bölükbaş, A.**, 2015. Kentsel katı atıktan ATY üretiminin değerlendirilmesi: İzmir kenti-Türkiye için bir çalışma, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [2] **Daniel, H., Perinaz, B.**, 2012. What a Waste : A Global Review of Solid Waste Management, Washington.
- [3] **Twardowska, I., Allen, H.E., Kettrup, A.F., Lacy, W.J.**, 2004. In solid waste: Assessment, monitoring and remediation, London.
- [4] Türkiye İstatistik Kurumu, Belediye katı atık istatistikleri (Sayı: 24876), ziyaret tarihi: 29.5.2017.
- [5] **Akdoğan, A., Güleş, S.**, 2005. Belediyelerde katı atık yönetimi ve il belediyelerinde gerçekleştirilen ampirik bir araştırma.
- [6] **Akdağ, A.S.**, 2014. Investigation of fuel values and combustion characteristics of rdf samples, *Yüksek Lisans Tezi*, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [7] Türkiye Belediyeler Birliği, 2015. Katı atık geri dönüşüm ve arıtma teknolojileri el kitabı, Ankara.
- [8] **Paola, M., Paola, M.**, 2015. RDF: from waste to resource – the Italian case, *Energy Procedia*, **81**, 569-584.
- [9] **U.S. EPA.** 2012. Municipal Solid Waste Generation , Recycling , and Disposal in the United States : Facts and Figures for ,1–14.
- [10] **Managing Municipal Solid Waste**, 2013. European Environment Agency Report, Copenhagen.
- [11] **Hoornweg, D., and Tata, P.B.**, 2012 . What a waste: a global review of solid waste Management, The World Bank: Urban Development Series Knowledge Papers.
- [12] **Bosmans, A., De Dobbelaere, C., & Helsen, L.**, 2014. Pyrolysis characteristics of excavated waste material processed into refuse derived fuel, *Fuel*, **122**. 198–205.
- [13] **Chang, Y.H., Chen, W.C., Chang, N.B.**, 1998. Comparative evaluation of RDF and MSW incineration, *Journal of Hazardous Materials*, **58**. 33–45.
- [14] **Hou, S., Chen, M.C., Lin, T.**, 2014. Experimental study of the combustion characteristics of densified refuse derived fuel (RDF-5) produced from oil sludge, *Fuel*, **116**, 201-207.

- [15] **Prechthai, T., Visvanathan, C., Chiemchaisri, C.,** 2006. “Sustainable Energy and Environment”, *2nd Joint International Conference*, Thailand.
- [16] **Dong, T. T., Lee, B-K.,** 2009. Analysis of potential RDF resources from solid waste and their energy values in the largest industrial city of Korea, *Waste Management*, **29**, 1725–1731.
- [17] http://www.tehlikeliatik.com/public/dosyalar/Sunumlar/tehlikeli_atiklar/aty-rdf.pdf, ziyaret tarihi: 30.05.2017.
- [18] https://www.google.com.tr/search?q=belediye+kat%C4%B1+at%C4%B1%C4%9F%C4%B1&tbm=isch&source=lnms&sa=X&ved=0ahUKEwjmt_3UqPjbAhXK mLQKHeD2D1MQ_AUIDCgD&biw=2133&bih=1027&dpr=0.9#imgsrc=3DIuyHgO5jFtxM ziyaret tarihi: 29.06.2018.
- [19] https://www.google.com.tr/search?q=at%C4%B1ktan+t%C3%BCretilmi%C5%9F+yak%C4%B1t&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjo0pKLqfjbAhWHr6QKHTE4Dk0Q_AUIDCgD&biw=2133&bih=1027#imgdii=VKtbEqnCl oQx_M:&imgsrc=SM3ODtXNZDY2OM ziyaret tarihi: 09.07.2018.
- [20] **Manya, J. J., García-Ceballos, F., Azuara, M., Latorre, N., & Royo, C.,** 2015. Pyrolysis and char reactivity of a poor-quality refuse-derived fuel (RDF) from municipal solid waste. *Fuel Processi.*
- [21] **Dou, B., Park, S., Lim, S., Yu, T-U., Hwang, J.,** 2007. Pyrolysis characteristics of refuse derived fuel in a pilot-scale unit. *Energy and Fuels*, **21**, 3730-3734.
- [22] **Buah, W., Cunliffe, A.,** 2007. Characterization of Products from the Pyrolysis of Municipal Solid Waste, *Process Safety and Environmental Protection*, **85**. 450-457.
- [23] **Genç, G.,** 2013. Atıktan Türetilmiş Yakıta Uygulanabilecek Ön İşlemlerin Piroliz Ve Yanma Karakteristiğine Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yalova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova.
- [24] **Barba, D., Prisciandaro, M., Salladini, A., Mazziotti di Celso, G.,** 2011. The Gibbs Free Energy Gradient Method for RDF gasification modelling, *Fuel*, **90**. 1402-1407.
- [25] **Akpınar, N.,** 2006: Kentsel katı atıklardan enerji üretimi, *Yüksek Lisans Tezi*, i.T.Ü. Enerji Enstitüsü, İstanbul.

- [26] **Edo, M., Budarin, V., Aracil, I., Persson, P.E., Jansson, S.,** 2016. The combined effect of plastics and food waste accelerates the thermal decomposition of refuse-derived fuels and fuel blends, *Fuel*, **180**. 424-432.
- [27] **Akdag, A.S., Atımtay, A., Sanin, F.D.,** 2016. Comparison of fuel value and combustion characteristics of two different RDF samples, *Waste Management*, **47**. 217-224.
- [28] **Costa, M., Massarotti, N., Mauro, A., Arpino, F., & Rocco, V.,** 2016. CFD modelling of a RDF incineration plant, *Applied Thermal Engineering*, **101**. 710-719.
- [29] **Toraman, Ö. Y., Topal, H.,** 2003. Katı atık ve arıtma çamurlarının değerlendirilmesinde alternatif termal teknolojiler ve uygulamaları, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19-34.
- [30] **Krüger, B., Mrotzek, A., Wirtz, S.,** 2014. Separation of harmful impurities from refuse derived fuels (RDF) by a fluidized bed, *Waste Management*, **34**. 390-401.
- [31] **Zhao, L., Giannis, A., Lam, W.Y., Lim, S., Yuan, G., Wang, S.,** 2016. Characterization of Singapore RDF resources and analysis of their heating value, *Sustainable Environment Research*, **26**. 51-54.
- [32] **Reza, B., Soltani, A., Ruparathna, R., Sadiq, R., Hewage, K.,** 2013. Environmental and economic aspects of production and utilization of RDF as alternative fuel in cement plants: A case study of Metro Vancouver Waste Management, *Resources, Conservation and Recycling*, **81**. 105– 114.
- [33] **Santos, R.G., Bordado, J.M.,** 2018. Design of simplified models for the estimation of higher heating value of refused derived fuels, *Fuel*, **212**. 431-436.
- [34] **Yasuhara, A., Amano, Y., Shibamoto T.,** 2010. Investigation of the self-heating and spontaneous ignition of refuse-derived fuel (RDF) during storage, *Waste Management*, **30**. 1161-1164.
- [35] **Robinson, T., Bronson, B., Gogolek, P., Mehrani, P.,** 2016. Sample preparation for thermo-gravimetric determination and thermo-gravimetric characterization of refuse derived fuel, *Waste Management*, **48**. 265-274.
- [36] **Aracil, I., Font, R., Conesa, J. A.,** 2005. Semivolatile and volatile compounds from the pyrolysis and combustion of polyvinyl chloride, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **74**, 465–478.

- [37] **Myrin, E.S., Persson, P., Jansson, S.**, 2014. The influence of food waste on dioxin formation during incineration of refuse-derived fuels, *Fuel*, **132**. 165-169.
- [38] **Yıldız Ş., Enç V., Saltabaş F., Kara M., Günay E.**, 2009. Evsel katı atıkların çimento fırınlarında ek yakıt olarak kullanımının araştırılması, *Türkiye’de Katı Atık Yönetimi Sempozyumu*, İstanbul, 15-17 Haziran.
- [39] **Dalai, A. K., Batta, N., Eswaramoorthi, I., Schoenau, G. J.**, 2009. Gasification of refuse derived fuel in a fixed bed reactor for syngas production, *Waste Management*, **29**. 252–258.
- [40] **Ma, W., Hoffmann, G., Schirmer, M., Chen, G., Rotter, V.S.**, 2010. Chlorine characterization and thermal behavior in MSW and RDF, *Journal of Hazardous Materials*, **178**. 489-498.
- [41] **Marsh, R., Griffiths, A.J., Williams, P., Wilcox, S.J.**, 2007. Physical and thermal properties of extruded refuse derived fuel, *Fuel Processing Technology*, **88**. 701-706.
- [42] **Zhou, X., Liu, w., Zhang, P., Wu, W.**, 2016. Study on Heavy Metals Conversion Characteristics During Refused Derived Fuel Gasification Process, *Procedia Environmental Sciences*, **31**. 514-519.
- [43] **Gallardo, A., Carlos, M., Bovea, M.D., Colomer, F., Alborron, F.S.**, 2014. Analysis of refuse-derived fuel from the municipal solid waste reject fraction and its compliance with quality standards, *Journal of Cleaner Production*, **83**. 118-125.
- [44] **Fu, Z., Li, X., Koseki, H.**, 2005. Heat generation of refuse derived fuel with water, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, **18**. 27-33.
- [45] **Weber, R., Kupka, T., Zajac, K.**, 2009. Jet flames of a refuse derived fuel, *Combustion and Flame*, **156**. 922-927.
- [46] **Grammelis, P., Basinas, P., Malliopoulou, A., Sakellaropoulos, G.**, 2009. Pyrolysis kinetics and combustion characteristics of waste recovered fuels, *Fuel*, **88**. 195–205.
- [47] **Blijderveen, M.v., Bramer, E. A., Brem, G.**, 2013. Modelling spontaneous ignition of wood, char and RDF in a lab-scale packed bed, *Fuel*, **108**. 190-196.
- [48] **Piao, G., Aono S., Kondoh, M., Yamazaki, R., Mari, S.**, 2000. Combustion test of refuse derived fuel in a fluidized bed, *Waste Management*, **20**. 443-447.
- [49] **Rocca, S., van Zomeren, A., Costa, G., Dijkstra, J. J., Comans, R. N, J.**, 2012.

Characterisation of major component liç and buffering capacity of RDF incineration and gasification bottom ash in relation to reuse or disposal scenarios, *Waste Management*, **32**.759–768.

- [50] **Salmenoja, K.**, 2000. Field And Laboratory Studies On Chlorine-Induced Superheater Corrosion In Boilers Fired with Biofuels, *Abo Akademi, Process Chemistry Group*.
- [51] **Sarc, R., Lorber, K.E.**, 2013. Production, quality and quality assurance of Refuse Derived Fuels (RDFs), *Waste Management*, **33**.1825-1834.
- [52] **Duan, F., Liu, J., Chyang, C.S., Hub, C.H., Tso, J.**, 2013. Combustion behavior and pollutant emission characteristics of RDF (refuse derived fuel) and sawdust in a vortexing fluidized bed combustor, *Energy*, **57**.421-426.
- [53] **Kungkajit, G., Prateepchaikul, G., Kaosol, T.**, 2015. Influence of Plastic Waste for Refuse-Derived Fuel on Downdraft Gasification, *Energy Procedia*, **73**. 528-535.
- [54] **Beşergil, B.**, 2015. Enstrümantal Analiz Temel İlkeler, Gazi Kitabevi, Ankara.
- [55] **Kök, M.V., Varfolomeev, M.A., Nurgaliev, D.K.**, 2017. Crude oil characterization using TGA-DTA, TGA-FTIR and TGA-MS techniques, *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **154**. 537-542.
- [56] **Morin, M., Pecate, S., Masi, E., Hematie, M.**, 2017. Kinetic study and modelling of char combustion in TGA in isothermal conditions, *Fuel*, **203**. 522-536.
- [57] **Miao, M., Xu, J., Jiang, S., Liu, X.N., Shang, S.**, 2018. Crystallization temperature investigation of Cu₂ZnSnS₄ by using Differential scanning calorimetry (DSC), *Ceramics International*, **44**. 4256-4261.
- [58] **Müsellim, E., Tahir, M.H., Ahmad, M.S., Ceylan, S.**, 2018. Thermokinetic and TG/DSC-FTIR study of pea waste biomass pyrolysis , *Applied Thermal Engineering*, **137**. 54-61.
- [59] **Niessen, W. R.**, 2002. Combustion and Incineration Processes. USA.
- [60] **Bialowiec, A., Pulka, J., Pien, P., Manczarski, P., Golaszewski, J.**, 2017. The RDF/SRF torrefaction: An effect of temperature on characterization of the product – Carbonized Refuse Derived Fuel, *Waste Management*, **70**. 91-100.
- [61] **Kara, M.**, 2012. Environmental and economic advantages associated with the use of RDF in cement kilns, *Resources, Conservation and Recycling*, **68**. 21-28.

- [62] **Hwang, İ.H., Kobayashi, J., Kawamoto, K.,** 2014. Characterization of products obtained from pyrolysis and steam gasification of wood waste, RDF and RPF, *Waste Management*, **34**. 402-420.
- [63] **Saltabaş, F., Soysal, Y., Yıldız, Ş., Balahorli, V.,** 2009. Evsel Katı Atık Termal Bertaraf Yöntemleri ve İstanbul'a Uygulanabilirliği, *Türkiye Katı Atık Yönetimi Sempozyumu*, İstanbul.
- [64] Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration, 2006. *European Comission Integrated Pollution Prevention and Control*, Brüksel.
- [65] **Ariyaratne, W., Asgausta, O., Malaaen, M., Eine, K.,** 2012. Tokheim, L., Determination of fossil fraction of Refuse Derived Fuel by the Selective Dissolution Method in Calorific value basis: Development of simplified method, *Fuel*, **98**. 41-47.
- [66] **Duranay, N., Pehlivan, D.,** 2003. Linyitlerin Uçucu Madde Yanması Sırasında NOx Emisyonunun İncelenmesi, *Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü vi. Ulusal Sempozyumu*, İzmir.
- [67] **Teixeira, P., Lopes, H., Gulyurtlu, I., Lapa, N., Abelha, P.,** 2012. Evaluation of slagging and fouling tendency during biomass co-firing with coal in a fluidized bed, *Biomass and Bioenergy*, **39**. 192-203.
- [68] T.C. Resmi Gazete ATY Tesisine Kabul Edilecek Atıklar ve Özellikleri, (20140620-8-1 mükerrer).

ÖZGEÇMİŞ

Gizem AYAS, 30 Ağustos 1994 yılında Malatya’da doğmuştur. İlköğrenimini Malatya Şehit Astsubay Birol Akın İlköğretim Okulu’nda yapmıştır. Lise öğrenimini Malatya Lisesi’nde gördükten sonra, 2012 yılında Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümüne kayıt yaptırmış olup bu bölümden 2016 yılında mezun olmuştur. 2016 yılı Eylül ayında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Teknolojileri Anabilim Dalı’nda lisansüstü eğitimine başlamıştır.

