

**ŞEKER PANCARI, HAŞHAŞ KŐSPESİ VE  
PİRİNÇ KABUĞU BİYOKŐTLELERİNDEN  
PİRROLİZ VE KOPİRROLİZ YÖNTEMLERİ İLE  
BİYOAĞ ELDESİ**

**YŐKSEK LİSANS TEZİ**

Gamze ARABACI

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Tunçer MUTLU

KİMYA MŐHENDİSLİĐİ ANABİLİM DALI

Ocak, 2018

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ŞEKER PANCARI, HAŞHAŞ KÜSPESİ VE PİRİNÇ KABUĞU  
BİYOKÜTLELERİNDEN PİROLİZ VE KOPİROLİZ  
YÖNTEMLERİ İLE BİYOYAĞ ELDESİ**

**Gamze ARABACI**

**DANIŞMAN  
Yrd. Doç. Dr. Tunçer MUTLU**

**KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**OCAK 2018**

## TEZ ONAY SAYFASI

Gamze ARABACI tarafından hazırlanan “Şeker Pancarı, Haşhaş Küşpesi ve Pirinç Kabuğu Biyokütlelerinden Piroliz ve Kopioliz Yöntemleri İle Biyoyağ Eldesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 17/01/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Yrd. Doç. Dr. Tunçer MUTLU

**Başkan** : Yrd. Doç. Dr. Ahmet AYDIN  
Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Edebiyat  
Fakültesi


**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Tunçer MUTLU  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik  
Fakültesi

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan ALAGÖZ  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik  
Fakültesi

**İmza**

.....  


.....  


.....  


Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun  
...../...../..... tarih ve  
.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

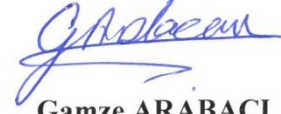
Prof. Dr. İbrahim Erol  
Enstitü Müdürü

**BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**  
**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**17/01/2018**  
  
**Gamze ARABACI**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ŞEKER PANCARI, HAŞHAŞ KÜSPESİ VE PİRİNÇ KABUĞU BİYOKÜTLELERİNDEN PİROLİZ VE KOPİROLİZ YÖNTEMLERİ İLE BİYOYAĞ ELDESİ

Gamze ARABACI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. Tunçer MUTLU

Enerji, ülkelerin kendilerini geliştirerek birbirleri ile rekabetlerini kuvvetlendirici en önemli unsurlardan bir tanesidir. Petrol vb. birincil enerji kaynaklarının çevreye ve insanlığa olan zararları ve miktar bakımından tükenebilir olmalarından dolayı yenilenebilir enerji kaynakları insanlığın her bakımdan kurtuluşu olacaktır.

Dünya’da yenilenebilir enerji kaynakları önemini her geçen gün artırmaktadır. Özellikle gelişmiş ülkeler yenilenebilir kaynaklara oldukça fazla yatırım yapmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütle hammadde konusunda diğer alternatif enerji kaynaklarına oranla daha avantajlıdır. Araştırmalarda seçilen biyokütlelere farklı termokimyasal yöntemler uygulanarak çeşitli ürünler elde edilebilmektedir. Piroliz en çok uygulanan termokimyasal yöntemlerden biridir. Piroliz sonucu elde edilen ürünlerin verimleri ısıtma hızı, piroliz ortamı, piroliz sıcaklığı, sürükleyici gaz, parçacık boyutu ve alıkonma süresi gibi parametrelere bağlı olarak farklılıklar göstermektedir.

Kopiroliz, birden fazla biyokütle kaynağının bir arada piroliz işlemine tabi tutulmasına denir. Kopiroliz yöntemi pirolize oranla daha fazla tercih edilmektedir. Bunun sebeplerinden biri kullanılan hammaddelere bağlı olarak ürünlerden daha fazla verim elde edilebilmesidir.

Bu tez çalışmasında pirinç kabuğu, haşhaş küspesi ve şeker pancarı küspesi hammadde olarak seçildi. Bu hammaddelere ilk olarak nem, kül, uçucu madde, hemiselüloz, selüloz, lignin ve yağ tayinleri yapıldı.

Hammaddelerin ayrı ayrı pirolizleri ile ikili ve üçlü karışımlarının kopirolizleri 550 °C sıcaklık, 10 °C/dk ısıtma hızında gerçekleştirildi. Hammaddelerden elde edilen biyoyağların verimleri arasında karşılaştırmalar yapıldı. En fazla biyoyağ verimi şeker pancarı pirolizinden (%27,6) ve şeker pancarı ile pirinç kabuğu karışımının kopirolizden (%28,4) elde edildi. Üçlü karışımın biyoyağ verimi ise %22,9 olarak bulundu. Kalorimetre bombası ile tespit edilen kalorifik değer en fazla haşhaş küspesine ait biyoyağdan elde edildi (31,27 MJ/kg). Üçlü karışıma ait kalorifik değer ise 25,79 MJ/kg olarak bulundu. GC-MS sonucuna göre üçlü karışıma ait biyoyağın %44,10 aromatik hidrokarbon, %34,26 alifatik hidrokarbon, %14,97 ester ve %7 keton oluştuğu tespit edildi. Hammaddelere ait katı ürünler ile piroliz ve kopiroliz işlemleri sonucu elde edilen katı ürünlerin (çar) yüzeylerinin Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile görüntüleri alındı. Katı hammaddeler daha düz ve pürüzsüz yüzeye sahipken, piroliz ve kopiroliz sonucu elde edilen çarların daha fazla gözenek yapısına sahip olduğu gözlemlendi. Biyoyağın yapısında alkol, fenol, keton vb. bileşiklere ait fonksiyonel grupların varlığı Fourier Transform Infrared (FTIR) spektroskopisi ile tespit edildi.

**2018, xii + 66 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Enerji Kaynakları, Piroliz, Kopiroliz, Şeker Pancarı, Haşhaş Küspesi, Pirinç Kabuğu

## **ABSTRACT**

M.Sc. Thesis

### **BIOOIL PRODUCTION FROM SUGAR BEET, RICE HUSK AND POPPY CAPSULE PULP BY USING PYROLYSIS AND COPYROLYSIS METHODS**

Gamze ARABACI

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Chemical Engineering

**Supervisor:** Asst. Prof. Tunçer MUTLU

The energy is main component for developing and increasing competition between the countries. The petroleum and primer energy sources like them gives damages to the environment and humanity and because they are with limited stocks, than the renewable energy sources will be the independence for the humanity.

Every past day the renewable energy sources increases their importance. Especially developed country makes much more investigations on renewable sources. The one from the renewable energy sources is biomass and he has advantage than other alternative energy sources. In these researches by applications at the different thermochemical methods on selected biomass it can be obtained different products. The yields of the products from the pyrolysis has been change on relation with heating speed, pyrolysis media, the pyrolysis temperature, the carrier gas, the particles sizes and the retention time parameters are effective.

The copyrolysis is the pyrolysis of the two and more biomass component materials together. The copyrolysis method is much preferable instead the pyrolysis. This is because on relation with utilized raw materials there was better yield of the products. In this these works the rice husk, the poppy pulp and sugar beet pulp were selected like raw materials. These raw materials were analyzed for the humidity, the ash, the volatile compounds, the hemicellulose, the cellulose, the lignin and the oil containing.

The apart pyrolysis of the raw materials and binary and ternary mixtures copyrolysis was performed at 550 °C temperature and 10 °C/min heating ratio. There is a comparison between the bio oils obtained from the raw materials. The best yield of the bio oils was from the sugar beet (%27,6) and from the copyrolysis of the sugar beet and the rice husk mixture (%28,4). The bio oil from the ternary mixture was with %22,9 yield. With the calorimeter bomb was in sighted the greatest calorific value for the poppy pulp bio oil (31,27 MJ/kg). The result for ternary mixture was 27,79 MJ/kg. By utilizing GC-MS analysis the ternary mixture bio oils composition containing is %44,10 aromatic hydrocarbons, %34,26 aliphatic hydrocarbons, %14,97 esters and %7 ketones are determined. There are taken the Scanning Electron Microscope (SEM) photos for the raw materials and for pyrolysis and copyrolysis solid products (char). The solid surface of the raw materials is more flat and with low porosity, the pyrolysis and the copyrolysis chars are in sighted with much more porosity. The determination of the alcohol, the phenols and the ketones etc. functional groups at the bio oil composition was performed with Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopic methods.

**2018, xii + 66 pages**

**Keywords:** Energy Resources, Pyrolysis, Copyrolysis, Sugar Beet, Poppy Pulp, Rice Husk



## TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Tunçer MUTLU' ya araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Meltem DİLEK, Yrd. Doç. Dr. Oğuzhan ALAGÖZ, Yrd. Doç. Dr. Derya Yeşim HOPA, Arş Gör. Dr. Nazan YILMAZ ve Tekniker İbrahim YALÇINKAYA' ya her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm Kimya Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyelerine teşekkür ederim.

Her daim yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen canım aileme ve sevgili nişanlım Mustafa GÜLAYDIN' a teşekkürü bir borç bilirim.

Gamze ARABACI  
AFYONKARAHİSAR, 2018

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET .....	ii
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	viii
KISALTMALAR DİZİNİ .....	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
RESİMLER DİZİNİ .....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....	4
2.1 Enerji .....	4
2.2 Enerji Kaynakları .....	4
2.2.1 Birincil Enerji Kaynakları.....	5
2.2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	5
2.3 Dünya ve Türkiye’de Enerji Kaynaklarının Durumu.....	6
2.4 Biyokütle .....	9
2.4.1 Biyokütle Kaynakları.....	10
2.4.2 Biyokütle Kullanımının Sağladığı Avantajlar .....	11
2.4.3 Biyokütlenin Yapısı .....	11
2.4.3.1 Selüloz .....	12
2.4.3.2 Hemiselüloz.....	13
2.4.3.3 Lignin .....	14
2.4.3.4 Organik Ekstraktifler .....	15
2.4.3.5 İnorganik Mineraller.....	15
2.4.4 Biyokütleyle Uygulanan Dönüşüm Süreçleri .....	15
2.4.4.1 Yanma.....	17
2.4.4.2 Gazlaştırma.....	17
2.4.4.3 Sıvılaştırma.....	18
2.4.4.4 Piroliz .....	18

2.5 Araştırmada Kullanılan Yöntemler: Piroliz ve Kopyoliz .....	18
2.5.1 Piroliz İşleminde Ürün Verimini Etkileyen Parametreler.....	20
2.5.1.1 Piroliz Sıcaklığının Etkisi.....	20
2.5.1.2 Isıtma Hızı .....	21
2.5.1.3 Sürükleyici Gaz Akış Hızı.....	21
2.5.1.4 Parçacık Boyutu.....	21
2.5.1.5 Alıkonma Süresi .....	21
2.5.1.6 Basınç .....	22
2.6 Haşhaş Bitkisi.....	22
2.7 Şeker Pancarı Bitkisi .....	23
2.8 Pirinç Bitkisi.....	25
2.9 Literatür Araştırması .....	26
3. MATERYAL ve METOT .....	30
3.1 Piroliz İşlemi İçin Seçilen Hammaddeler ve Hazırlanması .....	31
3.2 Biyokütlelere Uygulanan Ön Analizler.....	31
3.2.1 Elek Analizi .....	32
3.2.2 Nem Miktarı Tayini .....	32
3.2.3 Kül Miktarı Tayini .....	33
3.2.4 Uçucu Madde Miktarı Tayini .....	33
3.2.5 Sabit Karbon Tayini.....	34
3.2.6 Yağ Miktarı Tayini .....	34
3.2.7 Selüloz Miktar Tayini .....	35
3.2.8 Lignin Miktarı Tayini .....	35
3.2.9 Hammaddelerin SEM görüntüleri.....	36
3.2.10 Hammaddelerin Termogravimetrik Analizleri .....	36
3.3 Piroliz İşlemi .....	36
3.4 Biyoyağa Uygulanan Analizler .....	40
3.4.1 Gaz Kromatografisi - Kütle Spektrometresi (GC-MS).....	40
3.4.2 FT-IR Spektrometresi .....	41
3.4.3 Biyoyağın Kalorimetrik Analizi .....	41
4. BULGULAR .....	42
4.1 Hammaddelerin Ön Analiz Sonuçları .....	42

4.1.1 Hammaddelere Ait Termogravimetrik Analiz Değerleri.....	43
4.1.2 Hammaddelere Ait SEM Görüntüleri .....	46
4.2 Piroлиз ve Kopyroliz Verimleri.....	47
4.3 Biyoyağa Uygulanan Analizler .....	51
4.3.1 Biyoyağ Örneklerine Ait Kalorifik Değer Sonuçları .....	51
4.3.2 Biyoyağa Ait GC-MS Analiz Sonuçları .....	51
4.3.3 Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spektroskopisi Sonuçları .....	53
4.4 Katı Ürönlere Ait Sem Görüntüleri .....	54
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	58
6. KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	66

## KISALTMALAR DİZİNİ

### Kısaltmalar

---

TGA	Termogravimetrik Analiz
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
GC-MS	Gaz Kromatografisi-Kütle Spektroskopisi
FT-IR	Fourier Transform Infrared Spektroskopisi
ASTM	American Society for Testing and Materials
TUAM	Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi
AKÜ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
AUBİBAM	Bitki, İlaç ve Bilimsel Araştırmalar Merkezi
TS	Türk Standardı
TP	Türkiye Petrolleri
DEKTMK	Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 2015 Yılı Türkiye Birincil Enerji Talebi.....	7
Şekil 2.2 2016 yılı Dünya Birincil Enerji Tüketim Oranları.....	8
Şekil 2.3 Selülozun Kimyasal Yapısı.....	12
Şekil 2.4 Zincir İçindeki ve Dışındaki Hidrojen Bağları.....	13
Şekil 2.5 Hemiselülozu Oluşturan Monosakkaritler .....	14
Şekil 2.6 Biyokütleyle Uygulanan Termokimyasal Yöntemler ve Oluşan Ürünler .....	16
Şekil 2.7 Piroliz Sonucu Elde Edilen Ürünler.....	20
Şekil 3.1 Hammaddelere Uygulanacak Olan Analizlerin Sınıflandırılması.....	31
Şekil 3.2 Piroliz Reaktörüne Ait Deney Düzenegi.....	37
Şekil 4.1 Pirinç Kabuğuna Ait TG ve DTA Verileri.....	44
Şekil 4.2 Şeker Pancarı Küspesine Ait TG ve DTA Verileri .....	44
Şekil 4.3 Haşhaş Küspesine Ait TG ve DTA Verileri.....	45
Şekil 4.4 Her Bir Hammaddenin Piroliz Ürünleri Verimleri .....	49
Şekil 4.5 İkili Karışımların ve Üçlü Karışımın Kopyoliz Verimleri .....	49
Şekil 4.6 Kül İçeriğinin Biyokütle Karışımlarının Piroliz Sonuçlarına Etkileri .....	50
Şekil 4.7 Uçuşu Madde İçeriğinin Piroliz Sonuçlarına Etkileri .....	50
Şekil 4.8 Biyoyağın Bileşen İçeriği Yüzdeleri.....	53
Şekil 4.9 Üç biyokütlenin kopyolizinden elde edilen biyoyağın FT-IR spektrumu .....	53

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2.1</b> Enerji Kaynaklarına Göre Elektrik Enerjisi Üretim Payları. ....	9
<b>Çizelge 2.2</b> Biyokütle Kaynakları. ....	10
<b>Çizelge 2.3</b> Lignoselülozik Materyallerden Bazılarının Kimyasal Bileşimleri. ....	15
<b>Çizelge 2.4</b> Biyokütle Dönüşüm Süreçleri. ....	16
<b>Çizelge 3.1</b> Piroliz ve Kopyoliz İşlemleri için Kullanılacak Hammadde Miktarları.....	37
<b>Çizelge 3.2</b> GC-MS Cihaz Özellikleri.....	40
<b>Çizelge 4.1</b> Biyokütlelere Uygulanan Ön Analiz Sonuçları.....	42
<b>Çizelge 4.2</b> Piroliz İşlemi Sonucunda Elde Edilen Ürünlerin Yüzde (%) Cinsinden Değerleri. ....	48
<b>Çizelge 4.3</b> Numunelerin Piroliz ve Kopyolizleri Sonucu Elde Edilen Kalorifik Değerleri .....	51
<b>Çizelge 4.4</b> GC-MS Analizi Sonucu Biyoyağda Varsayılan Bileşikler. ....	52
<b>Çizelge 4.5</b> FT-IR Spektrum Verileri .....	54

## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 2.1</b> Haşhaş Bitkisi Görseli.....	23
<b>Resim 2.2</b> Şeker Pancarı Görseli.....	24
<b>Resim 2.3</b> Pirinç Bitkisi Görseli.....	25
<b>Resim 2.4</b> Pirinç Kabuğu Resimleri.....	25
<b>Resim 3.1</b> Piroliz ve Kopyroliz İşlemi İçin Hazırlanan Numunelerin Tartımı .....	36
<b>Resim 3.2</b> Piroliz Reaktörü Görseli .....	38
<b>Resim 3.3</b> Heidolph Marka Rotary Evaporatörü ile Biyoyağdan Çözücünün Uzaklaştırılmasına Ait Görsel.....	38
<b>Resim 3.4</b> Biyoyağa Ait Görsel .....	39
<b>Resim 3.5</b> Katı Ürün (Çar) Görseli .....	39
<b>Resim 4.1</b> Şeker Pancarı Küspesine Ait SEM Görüntüleri.....	46
<b>Resim 4.2</b> Haşhaş Küspesine Ait SEM Görüntüleri .....	46
<b>Resim 4.3</b> Pirinç Kabuğu Ait SEM Görüntüleri .....	47
<b>Resim 4.4</b> Haşhaş Küspesinin Pirolizi Sonucu Oluşan Çarın Sem Görüntüsü. ....	55
<b>Resim 4.5</b> Pirinç Kabuğunun Pirolizi Sonucu Oluşan Çarın Sem Görüntüsü .....	55
<b>Resim 4.6</b> Şeker Pancarının Pirolizi Sonucu Oluşan Çarın Sem Görüntüsü .....	55
<b>Resim 4.7</b> Pirinç Kabuğu ve Haşhaş Küspesi Karışımı Çarına Ait Sem Görüntüsü. ....	56
<b>Resim 4.8</b> Şeker Pancarı ve Haşhaş Küspesi Karışımının Çarına Ait Sem Görüntüsü. ....	56
<b>Resim 4.9</b> Şeker Pancarı Küspesi ve Pirinç Kabuğu Karışımının Çarına Ait Sem Görüntüsü .....	56
<b>Resim 4.10</b> Üçlü Karışımın Çarına Sem Görüntüsü. ....	57



## 1. GİRİŞ

Enerji, ülkelerin birbirleri üzerinde rekabet üstünlüğü sağlamada yararlandıkları en önemli unsurlardan birisidir. Enerji, üretimi ve tüketimi açısından ülkelerin gelişmişlik düzeyleri arasında bir karşılaştırma unsuru haline gelip, ülkeler arasındaki rekabeti artırarak bir güç göstergesi unsuru oluşturmaktadır. Enerji günümüz dünyasının vazgeçilemeyecek bir parçası halindedir ve gelişmiş ülkelerdeki enerji talebi gelişmemiş ülkelere nazaran daha fazladır.

Enerji ihtiyacı günümüzde yenilenebilir ve yenilenemez kaynaklardan sağlanmaktadır. Dünya'da en büyük paya sahip birincil enerji kaynakları olan yenilenemez enerji kaynakları halen en önemli ve en büyük paya sahip konumdadır. Dünyadaki birincil enerji tüketim oranlarının kaynak bazındaki dağılımları şu şekildedir; %33,3 petrol, %28,1 kömür, %24,1 doğalgaz, %3,2 yenilenebilir enerji, %4,5 nükleer enerji ve %6,9 hidroelektrik enerjidir (TP 2017). Yıllar geçtikçe daha da hızlı gelişen sanayileşme, kentleşme, nüfus artışı ve yaşam düzeylerinin yükselmesi gibi etkenler dünya üzerinde enerji ihtiyacını ve tüketimini artırmıştır. Bu sebeplerden dolayı dünyanın neredeyse tümüyle bağımlı olduğu petrol ve petrol ürünlerine olan ihtiyaç devamlı artış göstermektedir.

İki binli yıllarda dünyadaki enerji talebinin yaklaşık olarak %50 civarında artması ve daha sonraki yıllarda bu ihtiyacın 2 veya 3 katına çıkması beklenmektedir. Enerjinin yıllık büyüme hızı yaklaşık %4 olarak kabul edilmektedir. Enerji kaynaklarından olan fosil esaslı yakıt rezervlerinin yaklaşık 90 yıllık ömürlerinin kaldığı düşünülmektedir (Kaygusuz ve Keleş 2009).

Hızla tükenmekte olan bu kaynakların çevre ve canlı sağlığı açısından büyük risk oluşturması, sınırlı olması ve belli bir zaman sonra petrol rezervlerinin ihtiyaçları karşılayamaz hale geleceği hatta büyük ölçüde tükeneceği düşünülmektedir. Aynı zamanda fosil kaynaklar küresel ısınmanın nedenleri arasında sayıldığından insanlar yenilenebilir, kaynağını güneşten alan ve çevreye zararsız alternatif enerji kaynakları

olan hidrolik, biyokütle, rüzgâr, güneş, jeotermal enerji gibi doğal kaynaklara yönelmişlerdir.

Bu alternatif kaynaklar arasında en önemlisi ve hammaddesi en kolay temin edilebilecek olan biyokütle enerjisidir. Biyokütle enerjisi tükenmez bir kaynak olması, her yerde yetişmesi ve kolay elde edilebilmesi, özellikle kırsal alanlar için sosyo-ekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeniyle uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir.

Biyokütle için ormanlar, mısır, buğday gibi özel olarak yetiştirilen bitkiler, otlar, yosunlar, denizdeki algler, hayvan dışkıları, gübre ve sanayi atıkları, evlerden atılan tüm organik çöpler (meyve ve sebze artıkları) kaynak oluşturmaktadır. Petrol, kömür, doğal gaz gibi tükenmekte olan enerji kaynaklarının kısıtlı olması, ayrıca bunların çevre kirliliği oluşturması nedeni ile biyokütle kullanımı enerji sorununu çözmek için giderek önem kazanmaktadır (İnt. Kyn. 1).

Biyokütleyle yakma, gazlaştırma, sıvılaştırma ve piroliz olmak üzere çeşitli termokimyasal prosesler uygulanmaktadır. Bunlar arasında en çok kullanılanı pirolizdir. Biyokütle piroliz yöntemiyle katı, sıvı, gaz ürünlere dönüştürülebilmektedir (Üçgül ve Akgül 2010).

Piroliz (Pyrolysis) kelimesi yunanca bir kelime olup pyr: ateş; olysis: ortaya çıkmak anlamına gelmektedir. Piroliz, biyokütleden oksijensiz ortamda organik moleküllerin parçalanmasıyla gaz elde etme işlemidir (Üçgül ve Akgül 2010). Pirolizde hammadde cinsi, piroliz sıcaklığı, reaktör tipi, ısıtma hızı, sürükleyici gaz akış hızı gibi faktörler elde edilen katı, sıvı ve gaz ürünlerinin verimleri üzerinde etkilidir (Bridgwater *et al.* 2002).

Yapmış olduğum bu tez çalışmasında ülkemizde üretimi yapılan şeker pancarı, haşhaş ve pirinç bitkilerinin işlenmesi sonucu arta kalan artıklarından olan şekerpancarı küspesi, haşhaş küspesi ve pirinç kabuğunu biyokütle kaynağı olarak kullanarak pirolizleri ile ikili ve üçlü karışımlarının kopirolizleri gerçekleştirilmiştir. Haşhaş

küspesi Afyon Alkoloidleri fabrikasından, şeker pancarı küspesi Afyon Şeker fabrikasından pirinç kabukları ise Erdoğanlar Gıda Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. İpsala/Edirne' den temin edilmiştir. Çalışmanın ilk basamağında biyokütlelerimizin ön analizleri olan nem, kül, uçucu madde, lignin, selüloz, hemiselüloz miktarları tespit edilmiş ve ayrıca hammaddelerin TGA ve SEM analizleri yapılmıştır. Piroliz işlemi sabit yataklı piroliz reaktörde, azot atmosferinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler sırasında ısıtma hızı ve piroliz sıcaklığı PID kontrol elemanı ile ölçülmüştür. Piroliz işlemi sonucunda elde edilen biyoyağın karakterizasyonu FT-IR ve GC-MS ile kalorifik değeri de kalorimetre bombası ile tespit edilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlar incelenerek piroliz sıvı ürünün yakıt katkı maddesi olarak kullanılıp kullanılmayacağı araştırılmıştır.

## **2. LİTERATÜR BİLGİLERİ**

### **2.1 Enerji**

Enerji, ülkelerin ekonomik ve sosyal gelişiminin en temel ve sürükleyici gereksinimlerindedir. Bu bakımdan, “enerji güvenliği” olgusu, ekonomik güvenliğin ve ulusal güvenliğin yaşamsal unsurlarından sayılmaktadır. Enerji, toplumsal yaşamlarımızı sürdürebilmemiz için gerekli olan neredeyse tüm süreçler için vazgeçilmez bir girdi olup; sanayi, ulaştırma, konut ve ticarethane alt sektörlerinde kullanılmaktadır. Bugün dünyada tüketilen enerji, çok sayıda enerji kaynağından elde edilirken; petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil kaynaklar, bu kaynaklar içinde halen en büyük payı oluşturmaktadır (TP 2017).

Günümüzde toplam enerji arzının %2’lik kısmı yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır (Akkuş 2010). Enerji geçmişten günümüze dünyada süregelen rekabetin en önemli unsurlarından olup, gelişmişliğin bir simgesi olarak enerjiyi üreten, işleyen ve ticaretini yapan ülkelerinde bu gücü elinde bulundurarak dünyada söz hakkına sahip olduğu görülmektedir.

### **2.2 Enerji Kaynakları**

Herhangi bir yolla enerji elde edilmesini sağlayan kaynaklar, enerji kaynakları olarak tanımlanmaktadır. Enerji kaynakları farklı şekillerde sınıflandırmak mümkündür. Ancak yenilenebilir olması açısından yapılan sınıflandırma daha geneldir. Enerji kaynaklarını bu sınıflandırmaya göre “Birincil (Konvansiyonel) Enerji Kaynakları” ve “İkincil (Dönüştürülmüş) Enerji Kaynakları” olarak ayırabiliriz. Aynı zamanda üretim durumu dikkate alınarak yenilenebilen ve yenilenemeyen enerji kaynakları olarak da sınıflandırılabilir. Bu sınıflandırmada, kömür, petrol, doğal gaz ve nükleer gibi kaynaklar “Yenilenemeyen” kategorisindeyken, güneş, rüzgâr, biokütle ve hidroelektrik vb. kaynaklar “Yenilenebilir” kaynaklar kategorisindedir (Birlikbaş 2001, Adıyaman 2012).

### **2.2.1 Birincil Enerji Kaynakları**

Birincil enerji veyahut primer enerji, enerjinin direkt olarak elde edildiği herhangi bir işleme ve dönüşüme uğratılmamış halidir. Katı yakıtlar (kömür, linyit), petrol ve petrol ürünleri, doğalgaz, nükleer enerji, hidrolik enerji, yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgâr, jeotermal vb.), bitki, hayvan ve odun artıkları birincil enerji kaynaklarına örnek olarak verilebilir. Birincil enerji kaynaklarının dönüşümüyle ikincil enerji kaynakları (sekonder enerji) elde edilir. İkincil enerji kaynaklarına örnek olarak elektrik verilebilir (Keskin 2006).

Birincil enerji kaynaklarından olan fosil yakıtlar (petrol, doğalgaz, kömür) 2040 yılına kadar paylarında bir azalış gerçekleşse dahi baskın kaynaklar olmayı sürdürecektir. Mevcut enerji politikalarına göre Dünya birincil enerji tüketiminin yüzde 81'ini oluşturan fosil yakıtların 2040 yılındaki payı, mevcut enerji politikaları ile devam senaryosuna göre yüzde 79'a, yeni politikalar senaryosuna göre yüzde 74'e ve 450 ppm senaryosuna göre yüzde 58'e düşeceği öngörülmektedir (Anonim 2016).

### **2.2.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları**

Yenilenebilir enerji kaynakları; güneş, biyolojik atıklar, biokütle, gelgit, dalga, rüzgâr, su ve jeotermal enerjilerdir. Yenilenebilir enerji kaynakları 3 guruba ayrılır;

- Bir ısı yenilenmesi sonucu türeyen enerjiler; jeotermal, güneş enerjisi, denizlerin yüzeyi ile dibinin sıcaklıkları farkından oluşan okyanusların ısı gücüdür.
- Bir hareket yenilenmesi sonucu türeyen enerjiler; rüzgâr enerjisi, hidrolik enerji, gelgit enerjisi (med-cezir), dalgalar ve akımlar enerjisidir.
- Bir madde yenilenmesi sonucu türeyen enerji; kütle gurubu yani fotosentez yoluyla türeyen bitkisel maddelerden elde edilen enerjidir (Keleş 2009).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının sağlayacağı avantajlar (Anonim 2012):

- İthal edilen yakıtlara olan bağımlılık azalacak,
- Yerli öz kaynaklara öncelik verilmesi sağlanacak,
- Yerli üretim sonucu istihdam artacak,

- Sürdürülebilir ekonomik büyüme ve gelişmeye imkân sağlayacak,
- Enerji talebini karşılamada sağlanan güvenlik ile enerjiyi kullanan sektörleri olumlu yönde etkileyecek ve yatırım yapmalarını teşvik edecek,
- Üretimde ve tüketimde sağlanan güven ortamı ile istikrar artacak,
- Sosyal ekonomik hayatta refah, istikrar da artacaktır.

### **2.3 Dünya ve Türkiye’de Enerji Kaynaklarının Durumu**

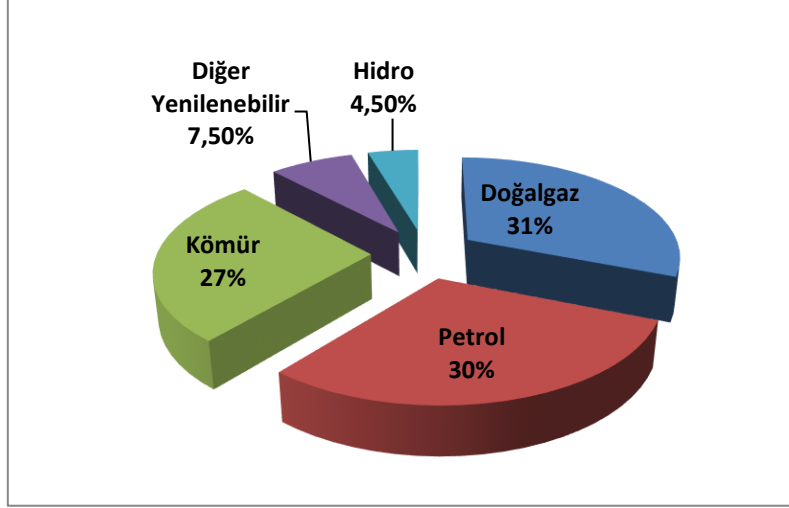
Yenilenebilir enerji kaynakları, birincil enerji kaynaklarının kullanımı ve üretim yolları açısından, insanların doğaya gereken özeni göstermemelerinden ve diğer etkenlerin doğal dengeyi bozmaları sebebiyle dünyamızın daha yaşanabilir bir gezegen olması açısından temiz ve var olan kaynaklardan üretilecek olan bu enerji büyük bir umut vaat etmektedir.

Önümüzdeki 20 yıl içinde gelişmekte olan ülkelerin enerji üretimlerinden kaynaklı sera gazı miktarının %50 oranında artması söz konusudur. Uluslararası Enerji Ajansına göre 2010-2035 yılları arasındaki enerji talebindeki artışın %93’ü gelişmiş ülkelere kaynaklanmaktadır. Bu artışta 30 trilyon dolarlık bir bütçeye denk geldiği ifade edilmektedir (Buntaine and Pizer 2015).

Dünyamızın en büyük sorunlarından biri olan küresel ısınmanın bir nedeninin de fosil kökenli yakıtlar olmasından dolayı enerjinin, çevreye olan zararının minimum düzeyde olacak şekilde üretimi, tüketimi ve iletiminin sağlanması konusuna yoğunlaşmıştır. Günümüzde dünyadaki elektrik üretimindeki en fazla payı % 60 oranla doğalgaz ve kömür birlikte karşılamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ise her geçen yıl daha da artış göstermekle birlikte henüz birincil kaynakların payına erişemeyeceği görülmektedir (Bedeloğlu vd. 2010).

Gelişen ekonomisi ile Türkiye dünyanın önemli enerji tüketicileri arasında yer almaktadır. Şekil 2.1’de görüldüğü üzere 2015 yılında, Türkiye’nin birincil enerji talebinde ilk sırada %31 ile doğal gaz yer almıştır. Doğalgazı %30 ile petrol, %27 ile kömür takip etmiştir. Türkiye’deki birincil enerji talebinin sektörlere göre dağılımı incelendiğinde; tüketimin %23’ü çevrim sektöründe (elektrik üretiminde), %25’i konut

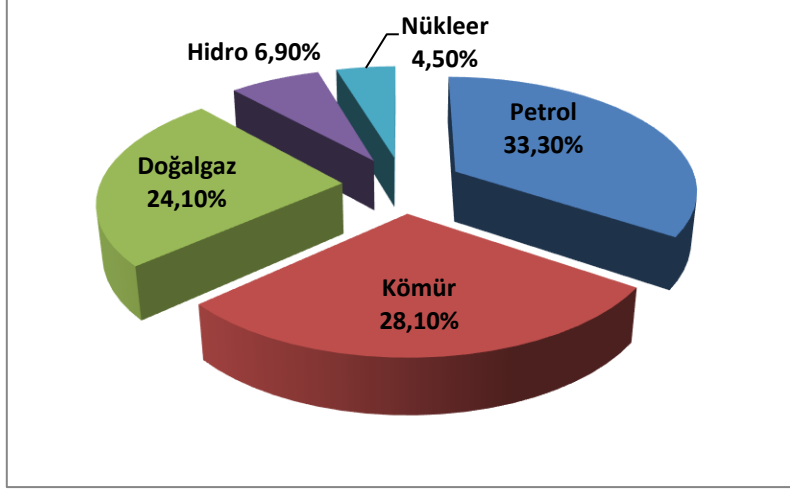
ve hizmet sektöründe, %25'i sanayide ve %19'u ulaştırma sektöründe kullanılmaktadır (TP 2017).



Şekil 2.1 2015 Yılı Türkiye Birincil Enerji Talebi (TP 2017).

Türkiye 2014-2018 yılları arasında uygulanacak olan Onuncu Kalkınma Planında enerjide dışa bağımlılığı azaltmak ve temiz enerji üretimi için yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik iyileştirme ve geliştirmeler planlanmaktadır. Türkiye'nin hedefi 2018 yılı itibariyle enerji üretimindeki payın %29'unu yenilenebilir kaynaklardan sağlamasıdır (Özer 2016).

Dünya birincil enerji tüketiminde en büyük paya sahip olan petrol özellikle ulaştırma sektörünün temel enerji kaynaklarındandır. Petrolü takip eden doğal gaz ve kömür ise büyük ölçüde elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Şekil 2.2'de görüldüğü üzere 2016 yılı ilk verileri itibariyle petrol, dünya enerji talebinin %33,3'ünü, doğal gaz ise %24,1'ini karşılamaktadır. Günümüze kadar çeşitli uluslararası kurum ve kuruluşlar tarafından (Uluslararası Enerji Ajansı, ABD Enerji Enformasyon İdaresi, BP, Exxon Mobil vb.) yapılan çeşitli araştırmalara göre, petrol ve doğal gazın birincil enerji tüketimi içindeki paylarını uzun dönemde de koruyacakları öngörülmektedir (TP 2017).



**Şekil 2.2** 2016 yılı Dünya Birincil Enerji Tüketim Oranları (TP 2017).

2016 yılında Dünya enerji tüketiminin %85'i birincil enerji kaynakları olan fosil kaynaklardan karşılanmaktadır. 2016 yılındaki birincil enerji kaynakları tüketiminde ülkeler bazında Çin birinci ABD ikinci sırada gelmektedir. Türkiye ise Dünya enerjisinin %1'lik kısmını kullanmaktadır. 2016 yılında Türkiye'de doğalgaz tüketimi azalış gösterirken, kömür, petrol ve yenilenebilir enerji tüketimlerinde artış meydana gelmiştir (İnt. Kyn. 3).

Çizelge 2.1'deki verilere göre kömür 1970-2015 yılları arasında sürekli artış ve azalış yaşamaktadır. 2015 verilerine göre kömürün elektrik enerjisi üretimindeki payı azalmıştır. Buna nazaran sıvı yakıtlar 1970-1980 yılları arasında kendi içindeki en yüksek payına sahipken yıllar içerisinde azalış göstermiştir. Doğalgazın payında ise 1990-2009 yılları arasında artış yaşanırken 2012 den itibaren azalış meydana gelmiştir. Hidrolik enerji kaynakları 1980 yılında %48,8'lik değeriyle kendi içerisindeki en yüksek paya sahipken 2015 yılında bu değer %25,6'lara gerilemiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına bakıldığında diğer kaynaklara göre 2015 yılına kadar olan süre zarfında sürekli bir artış içerisinde olduğu görülmektedir. Yenilenebilir kaynaklardaki bu düzenli artış, doğal ve yenilenebilir kaynaklara yönelim olduğunun bir göstergesidir.



**Çizelge 2.1** Enerji Kaynaklarına Göre Elektrik Enerjisi Üretim Payları (İnt. Kyn. 8).

Yıllar	Toplam (GWh)	Kömür	Sıvı Yakıtlar	Doğal gaz %	Hidrolik	Yenilenebilir Enerji ve Atıklar
1970	8 623	32,8	30,2	-	35,2	1,9
1980	23 275	25,6	25,1	-	48,8	0,6
1990	57 543	35,1	6,9	17,7	40,2	0,1
2000	124 922	30,6	7,5	37,0	24,7	0,3
2003	140 581	22,9	6,6	45,2	25,1	0,2
2006	176 300	26,5	2,5	45,8	25,1	0,2
2009	194 813	28,6	2,5	49,3	18,5	1,2
2012	239 497	28,4	0,7	43,6	24,2	3,1
2013	240 154	26,6	0,7	43,8	24,7	4,2
2014	251 963	30,2	0,9	47,9	16,1	4,9
2015	261 783	29,1	0,9	37,9	25,6	6,5

## 2.4 Biyokütle

Biyokütle 100 yıllık periyottan daha kısa bir sürede yenilenebilen, karada ve suda yetişen bitkiler, hayvan atıkları, gıda endüstrisi ve orman yan ürünleri ile kentsel atıkları içeren tüm organik maddeler olarak tanımlanmıştır (DEKTMK 2007).

Biyokütle, yeşil bitkilerin fotosentez yoluyla güneş enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürüp depolaması sonucu oluşan ve canlı organizmaların kökeni olarak ortaya çıkan organik madde kaynaklarıdır. Doğada yaygın olarak mevcut tarımsal kökenli ürünlerden değişik fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle üretilen, ticari özelliğe sahip, temel ve belirli özellikleri standartlaştırılmış olan katı, sıvı ve gaz haldeki bitkisel enerji kaynaklarıdır. Diğer bir tanımla da biyolojik kökenli fosil olmayan organik maddelere biyokütle denir (Kaplukan 2014).

Biyokütle katı (ağaç, pelet vb.), sıvı (etanol, biyodizel vb.) ve gaz (biyogaz, hidrojen vb.) olmak üzere modern enerji formları olarak gruplara ayrılabilir. Termal, biyolojik ve

fiziksel proseslerle biyokütlenin; hidrojen, etanol, metanol ya da metan gibi farklı enerji kaynaklarına çok çeşitli yöntemlerle dönüşümü sağlanabilir (Üçgül ve Akgül 2010).

#### 2.4.1 Biyokütle Kaynakları

Enerjiyi yenilenebilir ve doğal kaynaklardan elde etmede kullanılan biyokütle kaynakları; bitkisel kaynaklar, orman kaynakları, kentsel ve endüstriyel kaynaklar olarak sınıflara ayrılır (Demirtaş 2010).

Çizelge 2.2’de biyokütle kaynakları ve bunların elde edildiği yerler verilmiştir. Görüldüğü üzere biyokütleden enerji elde etmek diğer enerji kaynaklarına oranla hammadde bulması açısından en kolay yöntemlerden bir tanesidir.

**Çizelge 2.2** Biyokütle Kaynakları (Demirtaş 2010).

---

BİYOKÜTLE KAYNAKLARI	
	<u>Hayvansal Kaynaklar</u>
	• Hayvan Dışkıları
	• Hayvan Atıkları
Tarımsal Kaynaklar	<u>Bitkisel Kaynaklar</u>
	• Bitki Atıkları
	• Enerji Tarımı
	<u>Su Kaynakları</u>
	• Su Bitkisi
	• Deniz Bitkisi
Orman Kaynakları	• Odunsu Kaynaklar
Kentsel ve Endüstriyel Kaynaklar	• Belediye Çöpleri
	• Kanalizasyon Atıkları
	• Endüstriyel Atıklar

---

#### **2.4.2 Biyokütle Kullanımının Sağladığı Avantajlar**

Biyokütle enerjisi diğer alternatif kaynaklar gibi kesikli olmayıp sürekli enerji sağlayabilir olmasından dolayı önemli bir enerji kaynağı potansiyeli oluşturmaktadır. Biyokütle enerjisi kullanımı bakımından aynı zamanda fosil yakıtlarla belirli oranlarda karışımı sağlanarak (%2-25) hava kirliliği oluşumunu azaltarak çevre ve hava kirliliğine olumlu yönde katkı sağlamaktadır (Anonim 2012).

Dünya'da biyoyakıt kullanımı hızla artmaktadır. Biyoyakıt kullanımının faydaları şöyledir (Anonim 2012):

- Petrol ithalatının azalmasını sağlar,
- Sürdürülebilir enerjiye destek olur,
- Enerji tarımının gelişmesini sağlar,
- Kırsal kesimin sosyo-ekonomik yapısının iyileşmesini sağlar,
- Yerel iş imkânı yaratır ve imalat sanayinin gelişmesine katkıda bulunur,
- Doğal enerji kaynaklarının ve çevrenin korunmasını sağlar.
- Biyodizel yağlayıcı özelliğinden dolayı motoru korur.
- Yüksek parlama noktası sıcaklığına sahip olduğu için kullanımı, taşınımı ve depolanması güvenli bir yakıt olup, dizelin depolanma koşullarında depolanabilir ve dizele göre daha temiz yanar.
- Biyokütlenin bölgesel ve modern işletilmesi ile özellikle enerji hatlarından uzak bölgelerde, kendi kendine yeterli enerji sağlayan bölgeler yaratmak olanaklıdır. Özellikle de tarım işçiliğine gereksinim doğurduğundan biyokütleden enerji üretimi kırsal kesimde istihdam olanakları da yaratabilecektir.

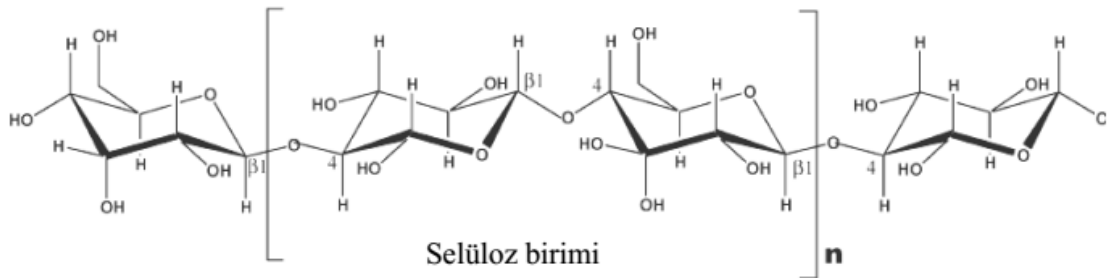
#### **2.4.3 Biyokütlenin Yapısı**

Biyokütle kimyasal bileşimleri bakımından petrol ve kömüre göre farklılıklar göstermektedir. Ana bileşenleri, karbo-hidrat bileşikleri olan bitkisel veya hayvansal kökenli tüm doğal maddeler biyokütle enerji kaynağıdır. Biyokütle türüne bağlı olarak bu bileşenler biyokütlenin yapısında farklı oranlarda bulunmaktadır. Biyokütleler farklı bileşim ve yapılardan oluştuklarından dolayı hemiselüloz, selüloz ve ligninin

temel ayrışma özellikleri de farklı olmaktadır. Hemiselüloz 200-260 °C arasında ayrışır. Selüloza oranla düşük sıcaklıklarda ayrışarak daha az katran ve kireç içeren uçucu bileşenler üretir. Selüloz glikoz monomerinden türetilen büyük molekül ağırlıklı bir polimerdir. Selüloz 320-380 °C arasında ayrışır. Lignin aromatik bir polimer olduğundan dolayı bozunması daha geç gerçekleşir. 200-500 °C arasında ayrışır (Kapluhan 2014, Hassan *et al.* 2016).

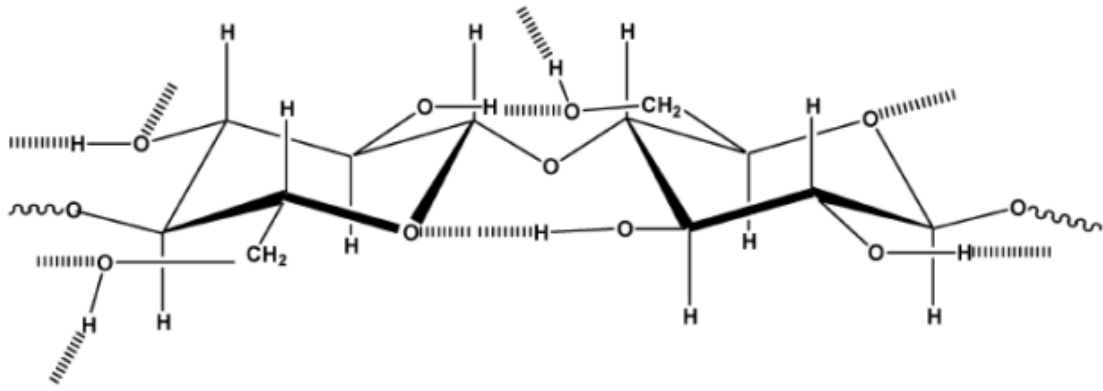
### 2.4.3.1 Selüloz

Oduun ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> molekül formülüne sahip, kimyasal bileşeni selüloz olan bir polisakkarittir. Elementel bileşimi %44,4 C, %6,2 H, %49,4 O şeklindedir. Ortalama molekül ağırlığı 300,000-500,000 aralığındadır. Kuru odunun %40-50'sini oluşturan selüloz fiberleri odunun dayanıklılığını sağlamaktadır. Glikoz birimlerinden su uzaklaştırılarak anhidro glikoz elde edilir. Anhidro glikozda polimerleşerek selüloz birimlerini meydana getirir. Selüloz birimleri 5000-10000 arasında anhidro glikozdan oluşmaktadır (Tiftik 2006, Mohan *et al.* 2006).



Şekil 2.3 Selülozun Kimyasal Yapısı (Mohan *et al.* 2006).

Her bir glikoz birimi hidrojen bağları vasıtasıyla birbirleri ile bağlanması sonucu selüloz oluşur (Şekil 2.3). Selüloz zincirleri mikrofibril tabakaları oluşturmak üzere eşleşerek 3 boyutlu borusal bir yapı oluşturur. Bu yapı termal bozunmalara hemiselülozdan daha dayanıklıdır.

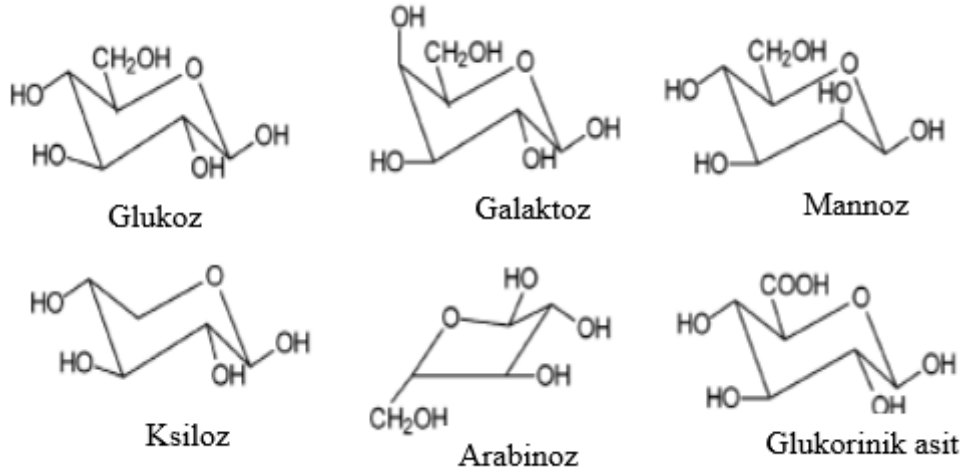


Şekil 2.4 Zincir İçindeki ve Dışındaki Hidrojen Bağları (Mohan *et al.* 2006).

240-350 °C arasında selüloz bozunarak anhidroselüloz ve levoglukosan meydana gelir. Bu bozunma Şekil 2.4'de gösterilmektedir.

### 2.4.3.2 Hemiselüloz

Polyos olarak da bilinen odunun ikinci büyük kimyasal bileşeni olan hemiselüloz ( $C_5H_8O_4$ )<sub>n</sub> genel formülüne sahiptir. Hemiselüloz genellikle kütlece %25-35 oranlarında kuru odunun yapısını oluşturmaktadır. Hemiselüloz sert odunda %35 oranlarına ulaşırken yumuşak odunlarda bu değer %28 civarındadır. Şekil 2.5'da hemiselülozu oluşturan monosakkaritler yer almaktadır. Hemiselüloz glikoz, mannoz, galaktoz, ksiloz, arabinoz, 4-o-metil glukuronik asit ve galakturonik asit gibi polişerleşmiş monosakkaritlerin karışımıdır. Hemiselülozun molekül ağırlığı selülozdan daha düşüktür. Selülozda tekrarlanan sakkaritlerin sayısı 5000-10000 arasında iken hemiselülozda 150 civarındadır. 200-260 °C sıcaklık aralıklarında parçalanan hemiselüloz, selülozdan daha fazla uçucu madde oluştururken daha az sıvı ürün ve çar vermektedir. Hemiselülozun ısıl bozunması selüloza nazaran daha düşük sıcaklıklarda gerçekleşmektedir. Selülozdan daha kısa bir zincir yapısına sahiptir. Yavaş pirolizde hemiselüloz kaybının gerçekleştiği sıcaklık aralığı 130-194 °C'lardır. En fazla kaybın yaşandığı sıcaklık 180 °C üzerindedir (Mohan *et al.* 2006, Tiftik 2006).



Şekil 2.5 Hemiselülozu Oluşturan Monosakkaritler (Mohan *et al.* 2006).

### 2.4.3.3 Lignin

Odunun üçüncü ana bileşenlerinden olan lignin yumuşak odunun %23-33'ünü sert odunun ise %16-25'ini oluşturmaktadır. Sert ve yumuşak odun ligninleri farklı yapılarla sahiptirler. Amorf bir yapıya sahip olan lignin bireysel birimleri arasında sayısız bağlanmalar bulunur. Lignin 280-500 °C sıcaklıkları arasında bozunur. Eter ve karbon-karbon bağlarının kırılması sonucu oluşan fenoller ligninin piroliz ürünleridir. Ligninin pirolizinde selülozdan daha çok çar elde edilir. Odun içerisinde bulunan ligninin bozunmaya başladığı sıcaklık 280 °C'dir. 450-500 °C'e kadar sıcaklık değeri devam eder. Bozunmanın en çok yaşandığı sıcaklık aralığı 350-450 °C aralığındadır (Mohan *et al.* 2006).

Lignoselülozik materyallerden bazılarının selüloz, hemiselüloz ve lignin oranları Çizelge 2.3'de verilmiştir. Bu değerler kuru temel üzerinden ekstarakte edilen maddeler haricindeki yüzdeler ifade etmektedir. Çizelge 2.3'de görüldüğü gibi lignoselülozik maddelerden selüloz yüzdesi en fazla kayın ağacı, ladin ağacı, mısır koçanı ve çiğit kabuğunun yapısında, hemiselüloz yüzdesi soya sapı ve fıstık sapında ve Lignin yüzdesi en çok zeytin, çay atığı ve fındık kabuğunda görülmektedir (Tiftik 2006).

**Çizelge 2.3** Lignoselülozik Materyallerden Bazılarının Kimyasal Bileşimleri.

Lignoselülozik Materyal	Selüloz (%)	Hemiselüloz (%)	Lignin (%)
Buğday sapı	28.8	39.1	18.6
Çay atığı	30.2	19.9	40.0
Çiğit Kabuğu	59.0	17.0	24.0
Fındık Kabuğu	25.9	29.9	42.5
Fıstık Sapı	36.0	43.0	21.0
Kayın Ağacı	45.8	31.8	21.9
Ladin Ağacı	50.8	21.2	27.5
Mısır Koçanı	52.0	32.0	15.0
Soya Sapı	33.0	53.0	14.0
Tütün Sapı	42.4	28.2	27.0
Tütün Yaprağı	36.3	34.4	12.1
Zeytin Kabuğu	24.0	23.6	48.4

#### 2.4.3.4 Organik Ekstraktifler

Organik ekstraktiflere örnek olarak yağlar, balmumları, alkaloidler, proteinler, fenolikler, basit şekerler, pektinler, zamklar, sakızlar, reçineler, terpenler, nişastalar, glikosidler ve saponinler verilebilir. Organik ekstraktifler, böceklere karşı ve enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır (Mohan *et al.* 2006).

#### 2.4.3.5 İnorganik Mineraller

Biyokütle az miktarda da olsa mineral içerir ve bu minerallerde piroliz işlemi sonucunda kül de kalır (Keleş 2009).

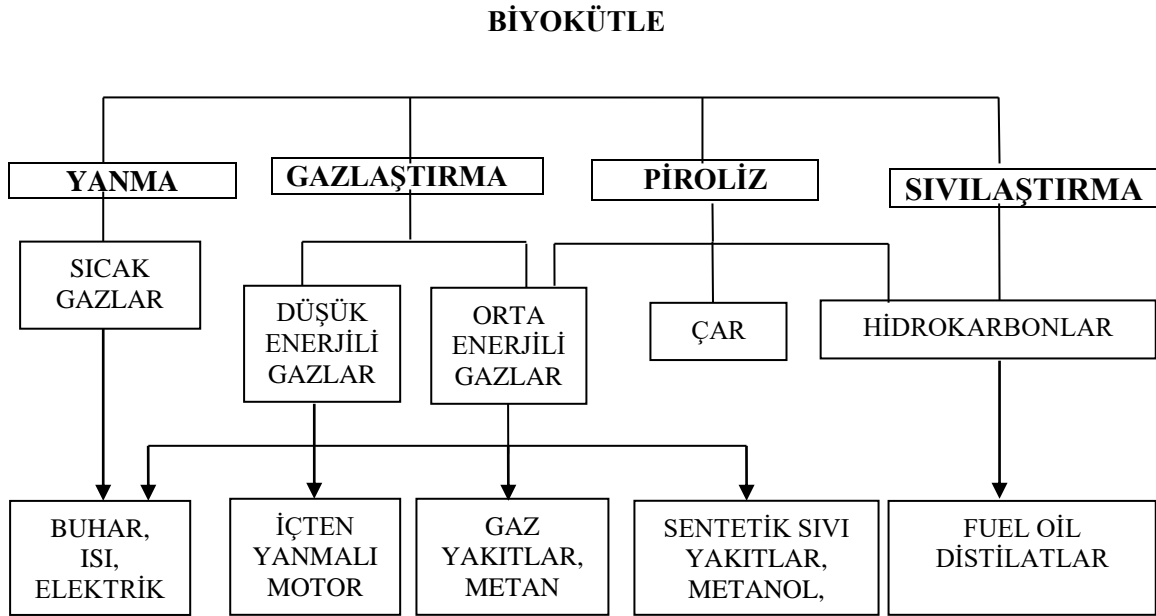
#### 2.4.4 Biyokütleyle Uygulanan Dönüşüm Süreçleri

Biyokütleyle uygulanan dönüşüm proseslerini fiziksel, biyolojik-kimyasal, termokimyasal süreçler olmak üzere sınıflandırmak mümkündür (Bridgwater and Bridge 1991). Çizelge 2.4'de biyokütle dönüşüm süreçlerinin sınıflandırılması yer almaktadır.

**Çizelge 2.4** Biyokütle Dönüşüm Süreçleri.

<b>Fiziksel</b>	<b>Biyolojik-kimyasal</b>	<b>Termokimyasal</b>
▪ Kurutma	▪ Biyolojik Süreçler	▪ Yanma
▪ Parçacık Boyutu Küçültme	▪ Fermantasyonla Alkol Eldesi	▪ Gazlaştırma
▪ Özütleme	▪ Biyofotoliz	▪ Sıvılaştırma
▪ Süzme		▪ Piroliz
▪ Yoğunlaştırma		
▪ Fraksiyon		

Termokimyasal yöntemler, fiziksel yöntemler ve biyolojik-kimyasal yöntemler biyokütlelere uygulanan dönüşüm süreçlerindedir. Biyokütlerden katı, sıvı ve gaz yakıt elde edebilmek için yanma, gazlaştırma, sıvılaştırma ve piroliz olmak üzere farklı termokimyasal dönüşüm prosesleri uygulanmaktadır. Bu proseslerin her birinden farklı ürünler oluşmaktadır. Bu ürünler Şekil 2.6’de gösterilmektedir.



**Şekil 2.6** Biyokütle Uygulanan Termokimyasal Yöntemler ve Oluşan Ürünler (McKendry 2002).



#### **2.4.4.1 Yanma**

Biyokütlenin hava ile yanarak biyokütle içerisinde depolanan kimyasal enerjiyi ısı, mekanik güç veya elektrik gibi çeşitli proses ekipman öğelerine dönüştürmek için ocaklar, buhar kazanları, buhar türbinleri, turbo jeneratörler, vb. ekipmanlardan yararlanılmaktadır. Biyokütlenin yanması ile 800-1000 °C sıcaklık aralıklarında sıcak gazlar üretilir. Her türdeki biyokütlelerin yakılması işlemi mümkündür ancak, biyokütle önceden kurutulmuş olmadıkça nem içeriği %50'den küçük olan biyokütlelerde yanma işlemi uygulanırken, yüksek nem içeriğine sahip biyokütlelere biyokimyasal yöntemlerin uygulanması daha uygundur (McKendry 2002).

Enerji üretimi yanma tesislerinde 100-3000 MW aralığında çok küçük ölçeklerden (örneğin evdeki ısıtma için) büyük ölçekli endüstriyel tesislere kadar değişmektedir. Kömürle çalışan elektrik santrallerinde verimin yüksek olmasından dolayı biyokütle ile kömürün birlikte yanması cazip bir seçenek haline gelmiştir (McKendry 2002).

#### **2.4.4.2 Gazlaştırma**

Biyokütlenin 800-900 °C gibi yüksek sıcaklıklarda bozunması sonucu ile yanıcı bir gaz karışımına dönüştürülmesidir. Üretilen düşük kalorifik değere sahip gaz (yaklaşık 4-6 MJ/Nm<sup>3</sup>) doğrudan yakılabilir ya da gaz motorları ve gaz türbinlerinde yakıt olarak veya üretimi yapılan gaz kimyasal üretiminde (methanol) sentez gazı olarak kullanılabilir (McKendry 2002).

Gazlaştırıcılara genellikle 800-1500K'de işlem uygulanır. Hareketli yatak gazlaştırıcısında ilk olarak yükselen sıcak gaz ile gazlaştırıcıya giren hammadde ısıtılır ve kurutulur. Fazla ısıtmada piroliz reaksiyonları gerçekleşerek katı, sıvı ve gaz ürünler elde edilir. Ardından hava veya oksijen, gazlaştırıcı ile elde edilen katı üründen ısı elde edilirken, sıvı ürün ve metandan ikincil tepkimelerle, düşük molekül ağırlıklı gazların dönüşümü sağlanır. Gazlaştırıcıya beslenen madde direkt olarak reaksiyona girmez. Piroliz ürünü olan çar gazlaştırma reaksiyonuna girer (Keçeci 2006).

### **2.4.4.3 Sıvılaştırma**

Sıvılaştırma, düşük sıcaklıkta, yüksek basınçta ve katalizör varlığında gerçekleştirilmektedir. Sıvılaştırma ile yüksek sıvı ürün verimleri elde edilebilmektedir. Hammaddenin kurutulmasına gerek olmayan sıvılaştırmada elde edilen ürün, fiziksel ve kimyasal olarak piroliz sıvı ürünlerinden daha kararlı olup, hidrokarbon üretimi için saflaştırma işlemine ihtiyaç duyulmamaktadır.

Sıvılaştırma genellikle yüksek kısmi basınçlı hidrojen ortamında yapılmakta ve piroliz işleminden elde edilen sıvı üründen daha az oksijen içermektedir. Yüksek basıncın maliyeti arttırması ve biyokütleyi besleme zorluğu, kullanılan çözücü, katı ve sıvı ürünün ayrılmasındaki zorluk bu yöntemin olumsuz yönleridir (Uzun 2005).

### **2.4.4.4 Piroliz**

Termokimyasal süreçlerden olan piroliz alternatif enerji kaynağı olarak kullanabileceğimiz hammaddelerin katı, sıvı ve gaz ürünlere dönüşümü sağlanarak bunlardan ne gibi verimler elde edilebileceği ile ilgili verilerin sağlanmasında aynı zamanda verimleri etkileyen parametrelere yönelik değerlendirmeler yapılarak yorumlanabilmesinde kullanılan bir kimyasal süreçtir.

## **2.5 Araştırmada Kullanılan Yöntemler: Piroliz ve Kopyroliz**

Piroliz, oksijen yokluğunda biyokütlenin termal bozunması olayına denir. Piroliz işlemi sonucu katı, sıvı ve uçucu gaz bileşenleri olmak üzere üç tür ürün oluşur (Aysu vd. 2016). Piroliz sonucu elde edilen sıvı ürün, biyoyağ olarak adlandırılır. Biyoyağ organik yapıya sahip koyu kahverengi bir sıvıdır. Bu ürün yakıtlar, mevcut petrol rafinerileri ve gelecekteki biyo-rafinerilere hidrokarbon üretmek için hammadde olarak potansiyel oluşturmaktadır (Aysu ve Sanna 2015).

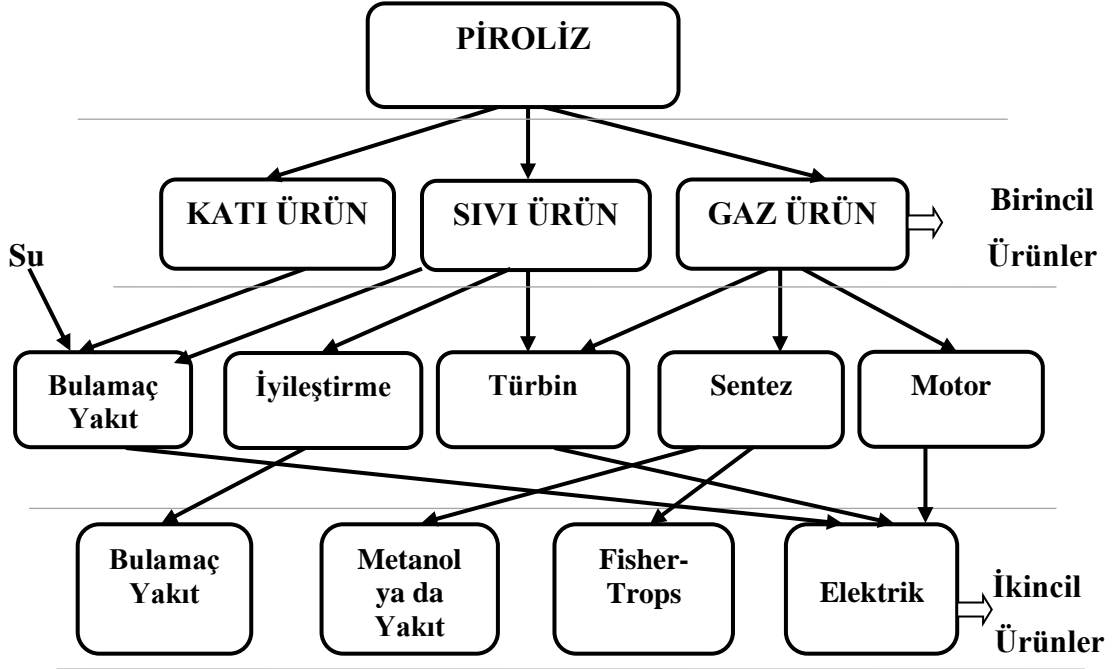
Piroliz sonucu oluşan ürünlerin (katı (çar), organik sıvı, gaz, su) verimleri biyokütlenin türüne, piroliz sıcaklığı, ısıtma hızı, reaksiyon süresi, parçacık boyutu, piroliz ortamı, sürükleyici gaz akış hızı vb. parametrelere bağlı olarak değişiklikler gösterir. Bu yüzden

piroliz yöntemi kendi içerisinde yavaş (geleneksel) piroliz ve hızlı (flash) piroliz olarak gruplandırabilir (Uzun 2005, Keçeci 2006, Keleş 2009, Üçgül ve Akgül 2010).

Hızlı piroliz dakikada 500-1000 °C arasında bir ısıtma hızına sahip olan prosesde odun kömürü oluşumu gözlenmeksizin %60-70 oranlarından daha fazla değerlerde sıvı ürün verimi elde edilmesi işlemidir. Kullanılan biyokütle türü ve verime etki eden parametrelere bağlı olarak hızlı piroliz prosesinde %60-75 sıvı ürün, %25 odun kömürü ve %10-20 oranları arasında da gaz ürün oluşumu meydana gelmektedir. Hızlı pirolizde hızlı bir ısıtma hızı, yüksek piroliz sıcaklığı, kısa alıkonma süresi ve yoğunlaşması mümkün gazların hızlı şekilde soğutulması ile sıvı ürün verimi en iyi şekilde kontrol altında tutulur. Hızlı piroliz prosesinde ısıtma hızlı şekilde yapıldığından kömürleşme olmasına izin verilmez. Yavaş pirolizde düşük ısıtma hızı, yüksek olmayan sıcaklıklar ve uzun alıkonma süresi ile maksimum katı ürün verimi elde edilmektedir (Keçeci 2006, Keleş 2009, Üçgül 2010).

İki veya daha fazla biyokütle kaynağı olan hammaddelerin birlikte piroliz olması durumuna ise kopiroliz denir. Kopiroliz yöntemi herhangi bir çözücü veya katalizör gerektirmeyen normal piroliz işlemlerine benzer bir çalışmadır. Kopirolizden elde edilen verim kullanılan maddelere bağlı olarak normal pirolize oranla %1,42 ile %22 arasında değişiklik göstermektedir. Aynı zamanda kopiroliz, elde edilen biyoyağın kalitesi ve miktarı bakımından pirolize göre daha avantajlıdır. Kopirolizde kullanılan biyokütlelerin birbirleri ile olan sinerjik etkileri elde edilen yağ miktarı ve kalitede artışa sebep olan ana etkenlerdendir (Hassan *et al.* 2016).

Piroliz işlemi sonunda biyokütleden elde edilen ürünleri Birincil ve İkincil ürünler olmak üzere genel bir sınıflandırma altında toplamak mümkündür. Uygulanan termokimyasal yöntemler sonucu oluşan birincil piroliz ürünleri katı, sıvı ve gaz olarak sınıflandırılır. İkincil ürünler bazı ön işlemler sonucu elde edilir (Bridgwater and Cottom 1992). Piroliz ürünleri Şekil 2.7'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 Piroliz Sonucu Elde Edilen Ürünler (Bridgwater and Cottom 1992).

## 2.5.1 Piroliz İşleminde Ürün Verimini Etkileyen Parametreler

Piroliz sıcaklığı, ısıtma hızı, sürükleyici gaz akış hızı, parçacık boyutu, alıkonma süresi, basınç gibi parametreler piroliz işlemi sırasında oluşan ürün verimlerine etki etmektedirler (Uzun 2005, Keçeci 2006, Keleş 2009).

### 2.5.1.1 Piroliz Sıcaklığının Etkisi

Piroliz sıcaklığı elde edilecek ana ürün verimlerini etkileyen en önemli piroliz parametrelerindedir. Piroliz sonucu oluşacak katı, sıvı veya gaz ürünün verimlerinden birinin diğerlerinden daha fazla olması isteniyorsa piroliz işlemi sırasında 400-650 °C arasında bir sıcaklık uygulanarak sıvı ürün, bu sıcaklıkların altında katı ürün, bu sıcaklık değerlerinin üzerinde ise gaz ürünlerin eldesi sağlanır. Yani sıcaklığın artmasıyla katı ve sıvı ürün veriminin azaldığı gaz ürün veriminin arttığı gözlemlenir (Zansi *et al.* 1996, Keleş 2009).

### **2.5.1.2 Isıtma Hızı**

Pirolizde oluşan ürünlerin verimleri arasındaki dağılımı ve kimyasal yapılarını etkileyen önemli parametrelerden biri de ısıtma hızıdır. Tek başına piroliz üzerine etkisi az olduğundan sıcaklık ve alıkonma süresi ile birlikte ele alınır. Biyokütleyle uygulanan sıcaklığın hızının artırılmasıyla kısa alıkonma süresi ile paralel olarak piroliz işleminde oluşan 3 ana üründen biri olan gaz ürünün veriminde artış görülür. Bu olayın tersi durumunda ise katı ve sıvı ürün veriminde artış gözlenir (Bridgwater *et al.* 2002, Uzun 2005, Keleş 2009).

### **2.5.1.3 Sürükleyici Gaz Akış Hızı**

Piroliz işlemi sırasında sürükleyici gaz olarak N<sub>2</sub>, He, Ar gazlarından biri kullanılmaktadır. Sürükleyici gaz olarak bunlardan en çok kullanılanı azot gazıdır (N<sub>2</sub>).

Piroliz sırasında önemli olan diğer bir husus da sürükleyici gaz hızının uygun şekilde ayarlanmış olmasıdır. Sürükleyici gazın akış hızı fazla olduğunda ikincil reaksiyonlar gerçekleşmeden piroliz buharları ortamdan uzaklaşır ve bu durum sıvı ürün verimini arttırır (Uzun 2005, Keçeci 2006, Keleş 2009).

### **2.5.1.4 Parçacık Boyutu**

Biyokütlenin parça boyutuna bağlı olarak, sıvı ve katı ürün verimleri değişkenlik göstermektedir. Biyokütlenin parça boyutu küçük ise sıvı, büyük ise de katı ürün verimleri yüksek seviyede olmaktadır (Keçeci 2006).

### **2.5.1.5 Alıkonma Süresi**

Biyokütlenin reaktörde kalma sürelerine bağlı olarak biyokütlenin ürün verimleri değişkenlik göstermektedir. Biyokütle piroliz işlemi sırasında reaktörde kısa kalacaksa sıvı ürün, uzun kalacaksa da katı ürün verimi maksimum düzeyde olur (Bay 2006).

### 2.5.1.6 Basınç

Basınç parametresi pirolizdeki uçucu madde verimini etkilemektedir. Basınç arttığında parçalanma reaksiyonları da artış gösterdiğinden katı ürün verimi daha yüksek olur fakat düşük basınçta ise sıvı ürün verimi artar (Bridgwater 1994).

### 2.6 Haşhaş Bitkisi

Haşhaş tek yıllık Papaver cinsi *Papaver somniferum* L. Türü olan bir kültür bitkisi olarak tanımlanmak mümkündür. Anavatanı ve kültür kaynağı Anadolu'dur (Küçük 1996). Haşhaş ülkemiz için büyük bir öneme sahiptir. Anadolu'da çok uzun yıllar öncesinden beri haşhaş tarımı yapılmaktadır. Yazlık ve kışlık olarak farklı zamanlarda haşhaş ekimleri yapılabilmektedir. Haşhaş ekim ve üretimi Dünya çapında öneme sahip olup çeşitli kısıtlamalara da tabi tutulabilmektedir. Haşhaş bu denli önemli kılan özelliği içerdiği morfin ve diğer çeşitli alkaloidlerin tıbbi nitelikte olması ve bu yüzden de çeşitli amaçlarda kullanılabilir olmasıdır. Haşhaş alkaloidlerinden en önemlileri morfin, kodein, papaverin, tebainin ve noskapindir. Bunların dışında farklı 30 çeşit alkaloid içerdiği bilinmektedir. Haşhaş tohumları gri-mavi, sarı, beyaz, çığ kahve ve pembe renklerde olabilmektedir. Türkiye'de en fazla yetiştirilen haşhaşlar sırasıyla beyaz, mavi ve sarı tohumlu çeşitlerdir (Anonim 2015).

Haşhaş, tohumlarından elde edilen yağlar yemek vb. yerlerde, yapısında bulunan alkaloidler tıp alanında, küspelerinden hayvan yemi ve saplarından yakacak olarak farklı şekillerde yararlanılabilen kullanım alanlarına sahiptir. Bu nedenle insanlık için büyük anlam ve değer ifade etmektedir. Resim 2.1'de haşhaş bitkisi görüntüsü yer almaktadır.



**Resim 2.1** Haşhaş Bitkisi Görseli (İnt. Kyn. 5).

Türkiye’de 1933 yılına kadar haşhaş ekimi, afyon üretimi ve ticareti serbest olarak yapılırken, 1933 yılında sınırlandırılmıştır. 1970 yılında 7 ilde üretimine devam edilmiş ve 1971 yılında ise haşhaş ekimi yasaklanmıştır. 1974 yılında 7 ilde (Afyon, Burdur, Isparta, Denizli, Kütahya ve Uşak illerinin tamamı ile Konya ilinin Akşehir, Beyşehir, Doğanhisar ve Ilgın ilçelerinde) tekrar üretimine devam kararı alınmıştır. Ülkemizde haşhaş tarımına 2013 yılı sonbaharından sonra Afyonkarahisar, Amasya, Balıkesir, Burdur, Çorum, Denizli, Eskişehir, Isparta, Konya, Kütahya, Manisa, Tokat ve Uşak olmak üzere toplam 13 ilde izin verilmiştir. Üretilen haşhaşın değerlendirilmesi ve piyasanın yasal alkaloid gereksiniminin karşılanması amacıyla Afyon ilinin Bolvadin ilçesinde 1981 yılında Afyon Alkaloidleri Fabrikası üretime başlamıştır. Alanında dünyanın en büyük fabrikası olan işletme, bugün ortalama yıllık 25 bin ton kuru haşhaş işleyip 100 ton morfin üretme kapasitesine sahiptir (Anonim 2015).

## **2.7 Şeker Pancarı Bitkisi**

Şeker pancarı, 2 yıllık Beta cinsi *B. vulgaris* türü etli kökünden şeker elde edilen, ıspanakgiller familyasından bir tarım bitkisidir (Resim 2.2). Birinci yıl vejetatif organları, ikinci yıl ise generatif organları gelişir. Tohumları birleşik halde bulunur (İnt. Kyn. 2).

Dünyada şeker üretiminin %75’ini şeker pancarı %25’ini kamış şekeri oluşturmaktadır. Kamış şekerinin maliyeti işleme prosesinin kolaylığı ve şeker kamışının yılda birkaç

hasat edilebilmesi nedeniyle pancar şekerine göre %40-50 daha ucuzdur. Bu nedenle dünyadaki şeker fiyatları kamış şekerine göre belirlenmektedir. AB ülkelerinin tamamına yakınında yani %95 oranında pancar şekeri üretimi yapılmaktadır. Bu Ülkeler daha ucuza kamış şekeri temin edebilecekleri halde pancar şekeri üretiminden vazgeçmemektedirler. Bunun nedeni pancar ziraatının ve sanayisinin üreticilere sağladığı katma değerdir. Avrupa Birliği Ülkelerinden Almanya ve Fransa dâhili tüketiminin iki katı daha fazla şeker üretmektedir (İnt. Kyn. 4).



**Resim 2.2** Şeker Pancarı Görseli (İnt. Kyn. 4).

Şeker pancarı küspesi, şeker üretiminin bir yan ürünü olup, üretim sırasında pancarın kıyılmasından ve şekerin özütlenmesinden sonra geriye kalan posa kısmıdır. Pancardan şeker üretimi sırasında 1 ton şeker pancarından ortalama 193,5 gram yaş küspe çıkmaktadır ve bunun da %25'lik kısmı kuru kütledir. Şeker pancarı küspesi yaklaşık olarak %28 hemiselüloz, %21 selüloz, %21 pektin, %19 kül, mineral, lignin, sakkaroz ve %11 protein içermektedir. Şeker pancarının hemiselüloz miktarının yüksek, kül miktarının ise düşük olması biyokütle olarak kullanılmasının başlıca nedenlerindedir (Yücel 2011).



## 2.8 Pirinç Bitkisi

Pirinç *Oryza sativa* L. Cinsi buğdaygiller familyasından bir tarım bitkisidir (Resim 2.3 ve Resim 2.4). Ülkemizde en fazla pirinç Marmara ve Karadeniz Bölgelerinde yetiştirilmektedir. Ülkemiz çeltik tarımına uygun yapıya sahip olmamıza rağmen yeterli üretim gerçekleştirilemediğinden pirinç ithal edilmektedir. Pirinç koruyucu bir kabuk içerisinde olup, hasat edilen pirincin %18-20'sini kabuğu oluşturur. Pirinç kabuğu %20 oranlarında silisyum dioksit( $\text{SiO}_2$ ) içerir. Kabukta selüloz, hemiselüloz ve ham lif olmak üzere önemli karbonhidratlar bulunmaktadır (Atukeren 2011).



**Resim 2.3** Pirinç Bitkisi Görseli (İnt. Kyn. 6).



**Resim 2.4** Pirinç Kabuğu Resimleri (İnt. Kyn. 7).

## 2.9 Literatür Araştırması

Yılgin vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada çevreye zararsız enerji üretebilmek için alternatif yakıtlar bulma yolunda biyokütle olarak seçilen şeker pancarı ile linyitin ağırlıkça %50 oranında karışımları piroliz koşullarında termal davranışlarının incelenerek kopyoliz bozunma ürün verimleri değerlendirilmiştir. Karışımın uçucu madde ve kül içerikleri başlangıç maddelerine oranla farklı bulundu. Şeker pancarı küspesinin linyite göre daha dar sıcaklık aralığında daha hızlı ayrıştığı saptanmıştır.

Hopa vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada Afyon ilinde bulunan Alkoloid Fabrikasından temin edilen haşhaş kapsüllerine üzerinde piroliz işlemi uygulanmıştır. Piroliz işlemi N<sub>2</sub> sürükleyici gaz varlığında 400-550 °C sıcaklık aralıklarında 20 dk alıkona süresi ve 18 °C/dk ısıtma hızı değerlerinde gerçekleştirilmiştir. Piroliz sıcaklığını biyoyağın verimine ve kalorifik değerine etkileri incelenmiştir. 500 °C'deki maksimum biyoyağ verimi %23,6 ve kalorifik değeri 31,6 MJ/kg olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen kalorifik değer petrol fraksiyonuna yakın bulunmuştur. Haşhaş kapsülünün temiz bir alternatif enerji kaynağı olarak yakıt elde etmek için kullanılabilceği tespit edilmiştir.

ZhengJi-lu (2007) tarafından yapılan bu çalışmada pirinç kabuğuna 420 °C-540 °C sıcaklık aralıklarında akışkan yataklı proste hızlı piroliz işlemi uygulanmıştır. Pirinç kabuğundan en yüksek biyoyağ verimi (%56) 465 °C de elde edilmiştir. Elde edilen biyoyağın kimyasal bileşimi GC-MS analizi ile belirlenmiştir. Aynı zamanda biyoyağın ısı değeri, stabilitesi ve korozyon özellikleri içinde incelemeler yapılmıştır. Elde edilen bu sonuçlar doğrultusunda herhangi bir iyileştirme işlemi yapılmaksızın biyoyağın doğrudan yakıt yağı olarak kullanılabilirliği tespit edilmiştir. Elde edilen biyoyağın alternatif olarak araçlarda kullanılabilmesi için rafine edilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Hossain vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada lastik atıkları ile pirinç kabuğunun sabit yataklı reaktörde kopyoliz yöntemi ile biyoyakıt ve kimyasallara dönüşümü incelenmiştir. İlk olarak katı lastik atığı ve pirinç kabuğunun hammadde açısından uygunluğunun tespiti için ön analizler yapılmıştır. Piroliz işlemi %50 katı lastik atığı ve

%50 pirinç kabuğu karışımı ile 450 °C de N<sub>2</sub> gazı varlığında gerçekleştirilmiştir. Lastik atığının karışımdaki oranına bağlı olarak ürün verimi, besleme stoku ve yağ verimliliği değişiklik göstermiştir. Lastik oranı karışımda azaldığında gaz ürünler ile karbondioksit artarken sıvı ürün veriminin azaldığı bulunmuştur. Yağ verimliliği karışımdaki pirinç kabuğu miktarı artmasına bağlı olarak azalışa geçtiği gözlemlenmiştir. %50 oranında hazırlanan lastik atığı ve pirinç karışımının sıvı ürün verimi ağırlıkça %52 olarak belirlenmiştir. Uygulanan piroliz koşullarında seçilen atıklardan petrol yakıtlarına kıyasla daha fazla sıvı ürün ve değerli kimyasal elde edilebileceği ortaya konulmuştur.

Biswas vd. (2017) tarafından yapılan araştırmada piroliz sıcaklığı ve seçilen biyokütle türünün, piroliz ürünlerinin verimi ve bileşimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Biyokütle kaynağı olarak mısır koçanı, buğday samanı, pirinç samanı ve pirinç kabuğu seçilmiştir. Çalışmada 300, 350, 400, 450 °C sıcaklık değerleri ile sabit yataklı reaktörde geleneksel piroliz yöntemi uygulanmıştır. Mısır koçanı, buğday samanı, pirinç samanı ve pirinç kabuğunun sırasıyla optimum sıcaklıkları 450, 400, 400, 450 °C ve biyoyağ verimleri %47,3, %36,7, %28,4, %38,1 bulunmuştur.

Balasundram vd. (2017) yapmış olduğu çalışmanın amacı Hindistan cevizi koprası ve pirinç kabuğunun pirolizinde kullanılan Nikel-Seryum/Alümina (Ni-Ce/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) çok fonksiyonlu katalizörünün termogravimetrik analiz yoluyla etkisinin incelenmesidir. Numune 150 mL/dk hızında akan nitrojen varlığında 10 °C/dk sabit ısıtma hızıyla 30 °C den 700 °C sıcaklığa kadar yükselen bir piroliz işlemine tabi tutulmuştur. TD-DTG eğrisine bakılarak biyokütlenin devolatizasyon oranının katalizör varlığı ile etkilendiği görülmüştür. Biyokütlenin kinetik özellikleri Coats-Redfern integral metodu ile incelenerek hesaplanmıştır.

Soğancıoğlu vd. (2017) yapmış olduğu çalışmada yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) atık plastiklerinin 300 ile 700 °C arasında pirolizi gerçekleştirilmiştir. Piroliz sonucu oluşan katı ürün epoksi kompozitlerinin üretiminde katkı maddesi olarak kullanmışlardır. HDPE ve LDPE plastik atıklarının sıvı verimleri sırasıyla %97,86 ve %93,56 olarak bulunmuştur. Piroliz sıcaklığı arttıkça, LDPE ve HDPE piroliz gazı ürün miktarı artarken, çar ürün miktarı azalmıştır. Bu

çalışma, HDPE ve LDPE plastik atıklarının geri kazanılması için alternatif bir yöntem sağlamıştır. Pirolizin katı kalıntısı olan çar, epoksi kompozit malzemelerin üretiminde katkı maddesi olarak kullanılarak yeni bir ürün haline getirilmiştir.

Sellin vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada akışkan yataklı piroliz reaktörü kullanılarak kurumuş muz ağacı yapraklarının pirolizi gerçekleştirilmiştir. Hammaddeye ilk olarak elementel analiz ve TG-DTA analizleri uygulanmıştır. Hammaddelerin pirolizi sonucu katı, sıvı ve gaz ürünler elde edilmiştir ve elde edilen gaz ürün de piroliz reaktörünü ısıtmak üzere sisteme geri beslenmiştir. Piroliz sonucu %23,3 katı, %27 sıvı (biyoyağ) ve %49,6 gaz verimleri elde edilmiştir. Biyoyağın kalorifik değeri 25 MJ/kg olarak tespit edilmiştir.

Demiral (2014) yapmış olduğu çalışmada şeker pancarı küspesi sabit yataklı bir reaktörde piroliz işlemine tabi tutulmuştur. Piroliz sıcaklığı 350-550 °C, ısıtma hızı 10-30 °C/dk ve gazı akış hızı 100-200 cm<sup>3</sup>/dk aralıklarında seçilmiştir. En yüksek yağ verimi 500 °C sıcaklıkta ve 30 °C dakika ısıtma hızı ve 100 cm<sup>3</sup>/dk sürükleyici gaz akış hızında %26.71 olarak elde edilmiştir.

Önal ve Pütün (2009) yapmış oldukları bu çalışmada, tütün tarla atığı hammadde olarak seçilerek yapay yakıt üretimi için bu hammaddenin hızlı pirolizi gerçekleştirilmiştir. Hızlı piroliz çalışmalarında hammaddenin parçacık boyutu 0,425<D<sub>p</sub><0,850 mm aralıklarında seçilmiştir. Piroliz işlemi için 500 °C/dk yüksek ısıtma hızı, 400, 500, 550, 700 °C piroliz sıcaklıkları; 50, 100, 200, 400 cm<sup>3</sup>/dk sürükleyici gaz (N<sub>2</sub>) akış hızları seçilmiştir. Piroliz sıcaklığı ve azot akış hızının piroliz ürünlerinin verimleri üzerine etkisi incelenmiştir. En yüksek sıvı ürün verimi 500 °C/dk ısıtma hızı, 550 °C piroliz sıcaklığında, 200 cm<sup>3</sup>/dk azot akış hızında kütlece %32,63 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sıvı ürünlerin spektroskopik ve kromatografik incelemeleri yapılarak, sentetik yakıt ve kimyasal hammadde kaynağı kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Erşen ve Pehlivan (2011) yapmış oldukları çalışmada evsel plastik atıklar arasından seçilen yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) ile çam odunu tozunun birlikte pirolizi gerçekleştirilmiştir. Sabit yataklı reaktörde gerçekleştirilen piroliz sonucu oluşan

ürünlerin verimlerine farklı piroliz parametrelerinin (ısıtma hızı, son sıcaklık, süpürme hızı, karışım oranı) etkileri incelendi. Eşit oranda YYPE ve çam odunu içeren pelletler ile en yüksek katı ürün verimi (%10,3) 500 °C sıcaklıkta, 1 °C/dk ısıtma hızında, 10 mL/dk azot akışı altında elde edildi. En yüksek sıvı ürün verimi (%73,7) ise 700 °C sıcaklıkta 5 °C/dk'lık ısıtma hızında, azotsuz ortamda (azot sürükleyici gazının kullanılmadığı ve 0 mL/dk ile ifade edilen ortam) elde edilmiştir. Karışım oranının piroliz ürün verimi üzerine etkisine bakılmıştır YYPE içeriğinin artmasıyla sıvı üründe belirgin bir artış gerçekleşirken katı üründe azalma olduğu gözlenmiştir.

Demiral ve Çemrek Kul (2015) yapmış oldukları bu çalışmada kestane kabuğu biyokütle kaynağı olarak seçilmiş ve piroliz işlemi sabit yataklı reaktörde gerçekleştirilmiştir. Piroliz sıcaklığı, ısıtma hızı ve sürükleyici gaz akış hızının piroliz ürün verimleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Piroliz işleminde en yüksek katı verimi 400 °C sıcaklık, 50 °C/dk ısıtma hızı ve 150 cm<sup>3</sup>/dk sürükleyici gaz akış hızında %18,70 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen katı ürünün FTIR spektrumu alınmış, ısıl değeri belirlenmiş, elementel analizi gerçekleştirilmiştir. Katran sütun kromatografisinde hidrokarbon ve polar bileşiklerine ayrılmış ve alifatik alt fraksiyon GC-MS ile karakterize edilmiştir. Hammaddenin ve katı ürünün BET yüzey alanları belirlenmiştir. Katı ürünün SEM görüntüsü alınmıştır.

Okay vd. (2014) yapmış oldukları çalışmada sabit yataklı reaktörde kavak ve çam ağacı odunlarından hazırlanan peletlere ani piroliz işlemi uygulanarak, odun türü, sıcaklık etkisi ve pelet boyutunun pirolize etkileri incelenmiştir. 550 °C'de iki odun türünde de sıvı ürün verimi maksimum değere ulaşmış, sıcaklık artışı ile gaz ürün verimi artış göstermiş ancak katı ürün verimi azalmıştır. Pelet boyutu sıvı ürün verimini etkilemiş fakat katı ürün verimine etkisi olmamıştır. Pelet boyutu küçüldüçe sıvı ürün verimi düşmüştür. Odun türünün pirolize etkisi olmamıştır. Bu çalışmada piroliz için en etkili parametre sıcaklık olmuştur.

### 3. MATERYAL ve METOT

Araştırmada kullanmış olduğumuz hammaddelerimizden şeker pancarı küspesi Afyon Şeker fabrikasından, haşhaş küspesi Afyon Alkoloidleri fabrikasından pirinç kabukları ise Erdoğanlar Gıda Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. İpsala/Edirne' den temin edilmişlerdir. Şeker pancarı küspesi, haşhaş küspesi ve pirinç kabuğu piroliz ve kopiroliz işlemleri için Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği laboratuvarı imkânlarından faydalanılmıştır.

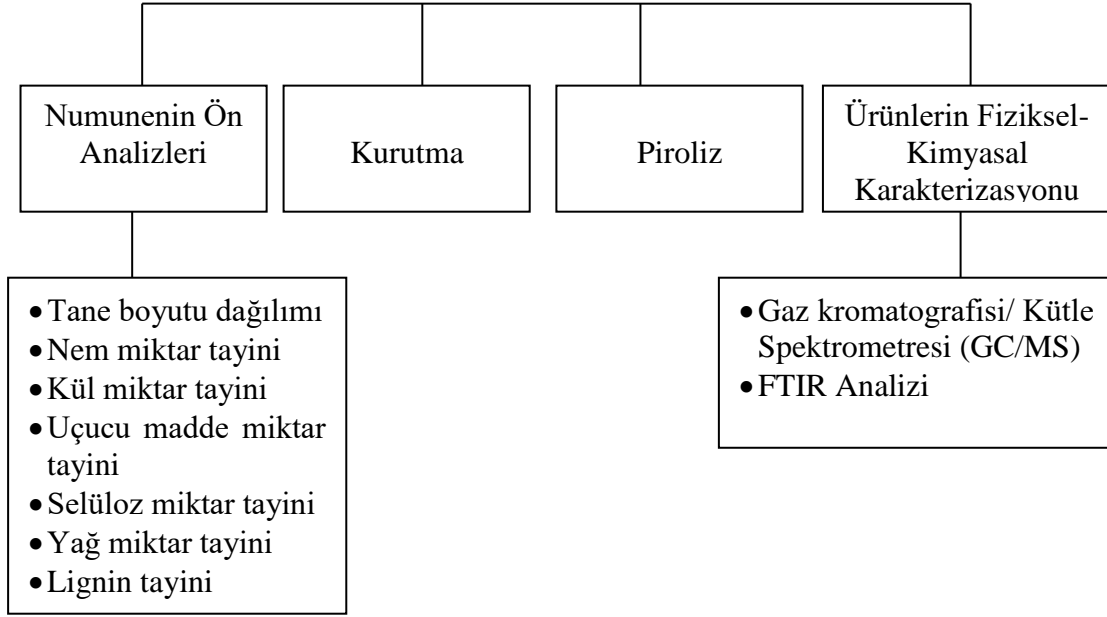
Çalışmada kullanılan ekipmanlar aşağıda yer almaktadır.

- a. Muhtelif Cam ve Porselen Laboratuvar Malzemeleri
- b. Magnetik Karıştırıcı Isıtıcı (Heidolph Rotary Evaporator)
- c. Elektronik Hassas Terazi (OHAUS)
- d. Fırın (PROTHERM/PLF 110/8)
- e. Desikatör
- f. Etüv (JEIO TECH/OF-11E)
- g. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM/ Jeol JSM-5600 LV)
- h. Elek Seti (Zara)
- i. Termogravimetrik Analiz Cihazı (Linseis Thermowaage L 81)
- j. Gaz Kromatografisi Cihazı (Agilent HP-5MS)
- k. FT-IR Spektrometresi (BRUKER Tensor 27)
- l. Piroliz Reaktörü (Defne Mühendislik)

Çalışmada kullanılan kimyasal maddeler aşağıda yer almaktadır.

- a. Etanol (teknik)
- b. n- hekzan (teknik)
- c. Etil alkol (teknik)
- d. NaOH (Merck)
- e. H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Merck)
- f. Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Merck)
- g. CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> (Merck)

## Piroliz ve Kopyroliz İşlemi Yapılacak Maddelerin Her Birine Uygulanacak Analizler



Şekil 3.1 Hammaddelere Uygulanacak Olan Analizlerin Sınıflandırılması.

### 3.1 Piroliz İşlemi İçin Seçilen Hammaddeler ve Hazırlanması

Bu çalışmada temin edilen hammadde kaynaklarına piroliz ve kopyroliz işlemleri uygulanarak biyoyağ eldesi amaçlanmıştır. Hammaddelerimiz ilk olarak oda sıcaklığında 3 gün bekletildi. Daha sonra hammaddelerimize ön analiz işlemleri uygulanarak piroliz ve kopyroliz işlemlerine hazır hale getirildi.

### 3.2 Biyokütlelere Uygulanan Ön Analizler

İlk olarak şeker pancarı küspesi, haşhaş küspesi ve pirinç kabuğu hammaddelerinin nem, kül, uçucu madde, sabit karbon, selüloz, lignin ve yağ miktarları tespit edilmiştir. Elek analizi yapılarak hammaddelerimizin boyut dağılımları incelenmiştir. Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (TUAM) laboratuvarında hammaddelerimizin termal davranışlarını incelemek üzere Termogravimetrik Analiz (TGA), gözenek boyutunu incelenmesi ve yüzey yapısının belirlenmesi amacıyla da Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) kullanılmıştır. Hammaddelere uygulanan işlemler aşağıda sıralanmıştır:

- Elek analizi
- Nem miktarı analizi
- Uçucu madde miktarı analizi
- Kül miktarı analizi
- Yağ miktarı analizi
- Selüloz miktarı analizi
- Lignin miktarı analizi
- Sabit karbon analizi
- Hammaddelerin SEM görüntüleri
- Hammaddelerin Termogravimetrik Analizleri

### 3.2.1 Elek Analizi

Analiz Afyon Kocatepe Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Laboratuvarına yer alan Zara marka elek seti kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde kullanılacak olan hammaddelerimiz önce sanayi tipi rondoda öğütülerek küçük parçalara ayrılması sağlanmıştır. Hammaddelerimizin parçacık boyutu;  $D_p < 6,25$  mm olarak belirlenmiştir.

### 3.2.2 Nem Miktarı Tayini

Nem miktarı tayini hesabı için kurutulan haşhaş küspesi, pirinç kabuğu ve şeker pancarı numunelerinden alınarak saat camı üzerinde tartımları yapıldı. Numuneler  $105$  °C sıcaklığa ayarlanan etüve koyuldu. 2 saat sonunda etüvden çıkarılan numuneler desikatörde soğutulularak tartıldı ve değerleri kaydedildi. Bu işlemlere iki tartım arasındaki fark eşitleninceye kadar devam edildi. Nem miktarı %'si aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplandı.

$$Nem (\%) = \left[ \frac{g_1 - g_2}{g_2} \right] \times 100 \quad (3.1)$$

Burada;

$g_1$  = Örneğin başlangıç ağırlığı, (g)

$g_2$  = Fırında kurutulduktan sonraki ağırlığı (g)'dir.



### 3.2.3 Kül Miktarı Tayini

Kül miktarı tayini için öncelikle tayinde kullanılan kroze ve kroze kapakları sıcaklığı 600 °C'e hazırlanan fırın içerisinde sabit tartıma getirilmiştir. Sabit tartıma gelen krozeler içerisine kurutulmuş olan hammaddelerden 2'şer gram alınarak sıcaklığı 100-105 °C olan etüvde 1 saat kurutma işlemi yapıldı. İki tartım arasındaki fark 0,1 mg olana kadar kurutma işlemine devam edildi. Neminden arındırılan numuneler kroze kapağı açık halde kül fırınına alınarak içerisindeki karbon yok olana kadar yakıldı. Numunelerin alev almasını önlemek için ısıtma işlemi yavaş yapıldı. Fırındaki sıcaklık 580-600 °C arasında tutuldu. Yakma işlemi bittikten sonra kroze kapağı kapalı şekilde desikatöre alınarak soğumaya bırakıldı. Desikatörden alınan kroze tartıldı ve işlemlere iki tartım arasındaki fark 0,2 mg olana kadar 30 dk'lık aralıklarla devam edildi. Elde edilen değerler aşağıdaki eşitlikte kullanılarak kül miktarı hesaplandı (ASTM D 1102-84).

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

Bu eşitlikte;

$g_1$  = Kül ağırlığı, (g)

$g_2$  = Fırındaki kuru örneğin ağırlığı, (g)

### 3.2.4 Uçucu Madde Miktarı Tayini

Uçucu madde miktarının tespitinde kullanılacak kroze önceden sabit tartıma getirilerek kroze içerisine kurutulmuş numuneden yaklaşık 1g alınarak konuldu. Kroze kapağı kapatılarak sıcaklığı 950±20 °C olan fırına yerleştirildi. Örneklerin yanmamasına dikkat edildi. Örnekler 7dk fırında bekledikten sonra çıkarılarak soğuması için desikatöre alındı. Sonuçların güvenilirliği için soğutma periyotlarının aralıkları sabit tutuldu. Uçucu madde miktarları aşağıdaki eşitlikten yararlanarak hesaplandı (ASTM E 897-82).

$$Uçucu madde miktarı (\%) = \left[ \frac{(g_1 - g_2)}{g_2} \right] - M \times 100 \quad (3.3)$$

Burada;

$g_1$  = Kullanılan örneğin ağırlığı, (g)

$g_2$  = Örneğin ısıtmadan sonraki ağırlığı, (g)

M = Kullanılan örneğin nem yüzdesi

### 3.2.5 Sabit Karbon Tayini

Biyokütle numunelerimizin nem, kül ve uçucu madde miktarları tespit edilerek aşağıda verilen eşitlik kullanılarak sabit karbon yüzdesi bulundu.

$$\% Sabit karbon = 100 - (nem + kül + uçucu madde) \quad (3.4)$$

### 3.2.6 Yağ Miktarı Tayini

Pirolizi yapılacak hammaddelerin yağ miktarları tespiti için ilk olarak hammaddeler mekanik öğütücüde öğütülerek numunelerden 10'ar gramlık tartımlar alındı. Numuneler kartuş içine yerleştirildi. Çözücü olarak gerekli miktarda n-hekzan (teknik) koyuldu. Ekstraksiyon işlemi yaklaşık dört saat sürdü. Ekstraksiyon işlemi sonrasında balonda biriken çözücü ve yağ karışımı alınarak evaporatör ile çözücü uzaklaştırıldı. Numunedeki yağ miktarları aşağıdaki formül kullanılarak hesaplandı (Analitik Metod).

$$Yağ miktarı = \frac{m_1 \times 100}{m_0} \quad (3.5)$$

Eşitlikte;

$m_1$  = Çözücünden uzaklaştırılmış yağ miktarı (g)

$m_0$  = Örneğin başlangıçtaki ağırlığı (g)

### 3.2.7 Selüloz Miktar Tayini

Hammaddelerin selüloz miktarının belirlenmesi için ilk olarak 3'er gram 0,001 g hassasiyette biyokütleler tartıldı ve 0,51 M 200 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi ile kaynatma işlemine geçildi. Kaynama işlemi tamamlandıktan sonra süzme gerçekleştirildi ve süzgeçte kalan numune saf su ile yıkandı. Yıkanan numuneler 0,313 M 200 mL NaOH çözeltisi ile tekrar kaynatıldı. Kaynatmadan sonra süzme ve saf su ile yıkama işlemleri tekrarlandı. Son olarak süzgeçte kalan numune 0,51 M 25 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> çözeltisi ile yıkandı ve daha sonra etanolle muamele edilerek susuzlaştırma işlemi yapıldı. Etüvde kurutma işlemi için sıcaklık 105 °C ye ayarlandı ve daha önceden sabit tartıma getirilmiş krozelere süzgeç kâğıdındaki örnekler koyularak etüvde sabiti tartıma gelinceye kadar kurutma işlemi gerçekleştirildi. Kurutma işlemi sonrası sabit tartıma gelinceye kadar 550±15°C de yakma işlemi gerçekleştirildi Bu işlemler sonunda selüloz miktarı ağırlıkça aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak hesaplandı (TS324).

$$\text{Selüloz miktarı (\%)} = \left[ \frac{(g_1 - g_2)}{g_0} \right] \times 100 \quad (3.6)$$

Eşitlikte;

$g_0$  = Örneğin ağırlığı, (g)

$g_1$  = Kurutma işleminden sonra kroze ve külün toplam ağırlığı, (g)

$g_2$  = Yakma işleminden sonra kroze ve külün toplam ağırlığı, (g)

### 3.2.8 Lignin Miktarı Tayini

Hammaddelerimizin nem oranları belirlendikten sonra her bir numunedan 1'er gram tartılarak %95'lik etil alkol ile 4 saat muamele edildi. Ardından alkol-benzen (alkol oranı 1/2) karışımı ile 6-8 saat aralığında özütlendikten sonra 50 mL alkol ile yıkama işlemi yapıp behere koyuldu. Behere 400 mL sıcak su ilave ederek 100 °C'daki sıcak su banyosunda 3 saat bekletildi. Bekleme işlemi sonlandıktan sonra ilk olarak 100 mL sıcak su ile ardından 50 mL alkolle yıkama işlemi yapılarak oda sıcaklığında kurumaya bırakıldı. Manyetik karıştırıcıda kuruyan numunelere %72'lik 15 mL soğuk H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> eklenerek 2 saat boyunca karıştırıldı. 1L'lik balona 560 mL saf su ve numuneler koyularak 4 saat boyunca kaynama işlemi gerçekleştirildi. Kaynama işlemi sonunda

süzüldü ve 500 mL sıcak su ile yıkanıp sabit tartıma getirilmiş krozeye konularak 105 °C’de sabit tartıma gelinceye kadar kurumaya bırakıldı. Sabit tartıma gelen krozeler tartılarak lignin miktarı tespit edildi.

### 3.2.9 Hammaddelerin SEM görüntüleri

Afyon Kocatepe Üniversitesi, TUAM laboratuvarındaki “Jeol, JSM-5600 LV Scanning Electron Microscope” cihazı kullanılarak kurutulan hammaddelerimizin yüzey yapısının belirlenmesi için SEM görüntüleri alındı.

### 3.2.10 Hammaddelerin Termogravimetrik Analizleri

Afyon Kocatepe Üniversitesi TUAM laboratuvarındaki Linseis Thermowaage L 81 cihazı ile hammaddelerin termal davranışları ve bozunma sıcaklıkları belirlendi. Biyokütlelerin TG ve DTA verileri incelendi.

## 3.3 Piroliz İşlemi

Biyokütle kaynağı olarak seçmiş olduğumuz hammaddelerimiz (şeker pancarı küspesi, pirinç kabuğu ve haşhaş küspesi) kurutularak pirolize hazır hale getirilmişlerdir. İlk olarak hammaddelerin her birinden 90’ar gram numune hassas terazide tartılarak piroliz işlemi için hazırlandı. Her bir hammaddenin piroliz işlemleri yapıldı.



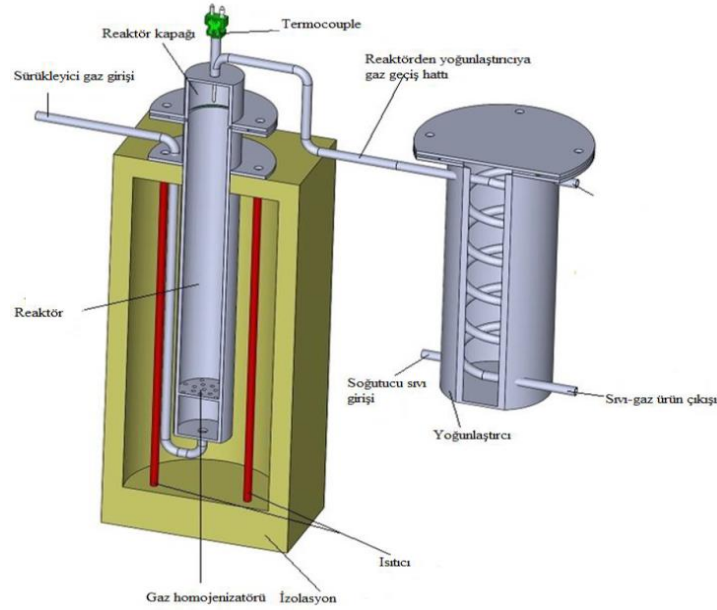
**Resim 3.1** Piroliz ve Kopyroliz İşlemi İçin Hazırlanan Numunelerin Tartımı.

İkili ve üçlü karışımların kopyoliz işlemleri için toplam numune ağırlığı 90 gram olacak şekilde hammaddelerden karışımlar hazırlandı (Çizelge 3.1).

**Çizelge 3.1** Piroлиз ve Kopyoliz İşlemleri için Kullanılacak Hammadde Miktarları.

Piroлиз ve Kopyoliz İçin Gerekli Miktarlar	Şeker Pancarı Küspesi (g)	Haşhaş Küspesi (g)	Pirinç Kabuğu (g)
Piroлиз İşlemi	90	90	90
İkili Kopyoliz İşlemi	45	45	45
Üçlü Kopyoliz İşlemi	30	30	30

Her bir piroliz ve kopyoliz işlemi 2 kez tekrarlanarak sonuçların güvenilirliği için bunların ortalamaları alındı. Çalışmada kullanılan piroliz deney düzeneğinin şeması Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.2** Piroлиз Reaktörüne Ait Deney Düzeneği.

Afyon Kocatepe Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği’ne ait laboratuvarında bulunan sabit yataklı piroliz reaktörüne ait resim aşağıda verilmektedir. Piroлиз işleminde sürükleyici gaz olarak azot gazı kullanıldı. Gaz akış hızı rotametre tipi akış ölçer ile ayarlandı. PID kontrol elemanı ile ısıtma hızı ve piroliz sıcaklığının set değerleri seçildi. Değerler kontrol panosundan okundu.



**Resim 3.2** Piroliz Reaktörü Görseli.

Hazırlanan numuneler piroliz cihazının içeri kısmına yerleştirildi. Sürükleyici gaz azot akışı rotametreten 1 L/dk olacak şekilde ayarlandı. Sıcaklık değerinin 10 °C/dk ısıtma hızıyla 55 dakikada 550 °C'e çıkması ve 550 °C'e ulaştıktan sonra 40 dk bu sıcaklık değerinde yakılmak üzere set değerleri ayarlandı. Piroliz işlemi tamamlandığında sıvı ürün (organik faz + su) sıvı toplama kaplarından diklorometan ile muamele edilerek alındı. Alınan sıvı ürün ayırma hunisine koyularak su ile organik faz birbirinden ayrıldı.



**Resim 3.3** Heidolph Marka Rotary Evaporatörü ile Biyoyağdan Çözücünün Uzaklaştırılmasına Ait Görsel.

Ayrılan organik sıvı fazdan çözücücü (diklorometan) evaporatör kullanılarak uzaklaştırıldı (Resim 3.3). Sıvı ürünün (biyoyağ) verimi hesaplandı (Resim 3.4). Katı ürünün (çar) verimi için piroliz reaktöründen katı ürün direkt alınarak tartıldı ve verim hesaplandı (Resim 3.5). Gaz ürün verimi ise reaktörde gaz ürün toplama sisteminin bulunmamasından dolayı toplam kütle denkliğinden yararlanılarak hesaplandı.



**Resim 3.4** Biyoyağa Ait Görsel.



**Resim 3.5** Katı Ürün (Çar) Görseli.

Verim hesabı için kullanılan eşitlikler aşağıda verilmektedir:

$$M_{\text{toplam}} = M_{\text{biyoyağ}} + M_{\text{katı}} + M_{\text{sulufaz}} + M_{\text{gaz}} \quad (3.7)$$

$$\%Biyoyağ = \frac{M_{\text{biyoyağ}}}{M_{\text{toplam}}} * 100 \quad (3.8)$$

$$\%Katı = \frac{M_{\text{katı}}}{M_{\text{toplam}}} * 100 \quad (3.9)$$

$$\%Sulufaz = \frac{Msulufaz}{Mtoplam} * 100 \quad (3.10)$$

$$\%Gaz = \frac{Mgaz}{Mtoplam} * 100 \quad (3.11)$$

### 3.4 Biyoyağa Uygulanan Analizler

Piroliz işlemleri sonucu elde edilen biyoyağların yapılarının incelenmesi için GC-MS cihazı, FT-IR Spektrometresi ve kalorimetre bombası kullanılmıştır.

#### 3.4.1 Gaz Kromatografisi - Kütle Spektrometresi (GC-MS)

Yağdaki alifatik ve aromatik hidrokarbon yapılarının belirlenmesi için piroliz sıvı ürününün gaz kromatografisi analizi AUBİBAM laboratuvarında yapıldı. Biyoyağın bileşenleri Database\Wiley7Nist05.L veri kütüphanesi yardımıyla karakterize edildi. Çizelge 3.2’de GC-MS’e ait cihaz özellikleri yer almaktadır.

**Çizelge 3.2** GC-MS Cihaz Özellikleri (Çoban 2016).

Cihaz		Agilent HP-5MS
<b>GC koşulları</b>		
<b>Kolon sıcaklığı</b>		45 °C
<b>Enjeksiyon modu</b>		Splitless
<b>Enjeksiyon sıcaklığı</b>		250 °C
<b>Akış kontrol modu</b>		Basınç
<b>Kolon akışı</b>		1.03 mL/dk
<b>Taşıyıcı gaz</b>		He 99.99% saflıkta
<b>Kolon sıcaklık koşulları</b>		
<b>Hız</b>	<b>Sıcaklık (°C)</b>	<b>Bekleme Süresi (dk)</b>
	45	4
3	280	30



### **3.4.2 FT-IR Spektrometresi**

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü Laboratuvarında bulunan BRUKER Tensor 27 Fourier Transform Infrared Spectrometer cihazı kullanılarak biyoyağın yapısındaki fonksiyonel grupları incelendi. Spektrum alınırken her bir numunenin KBr ile diskleri hazırlandı.

### **3.4.3 Biyoyağın Kalorimetrik Analizi**

Afyon Kocatepe Üniversitesi TUAM laboratuvarında yer alan IKA WERKE markalı kalorimetre bombası kullanılarak biyoyağın kalorimetrik analizi tespit edildi.

## 4. BULGULAR

Bu araştırmada; haşhaş küspesi, şeker pancarı küspesi ve pirinç kabuğu biyokütlelerinin bir arada kullanılabilirliğinin araştırılmasında ısıtma hızı, sıcaklık, sürükleyici gaz akış hızı, alıkonma süreleri ve madde miktarları gibi piroliz verimini etkileyen parametreler sabit tutulmuştur. Biyokütlelerin piroliz ve kopirolizleri sonucu oluşan ürünlerin verimlerinin karşılaştırılması, hammaddelerin bu verimlere olan katkılarının incelenmesi ve kalorifik değeri yüksek olan sıvıların elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda biyokütlelere ilk olarak n analizler yapılarak yapıları incelenmiş, daha sonra da bu hammaddelerin piroliz ve kopirolizleri sonucu elde edilen ürünler inceleme altına alınmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmaktadır.

### 4.1 Hammaddelerin n Analiz Sonuçları

şeker pancarı küspesi, haşhaş küspesi ve pirinç kabuklarının nem, kül, uçucu madde, hemiselüloz, selüloz, ekstraktif madde, yağ ve lignin tayini sonuçları izelge 4.1’de yer almaktadır.

**Çizelge 4.1** Biyokütlelere Uygulanan n Analiz Sonuçları.

Yapılan Analizler	Pirinç kabuğu	Pancar Küspesi	Haşhaş Kapsülü Küspesi
Nem Miktar Tayini	5,47%	6,83%	5,20%
Kül Miktar Tayini	16,77%	4,01%	12,80%
Uçucu Madde Tayini	27,49%	10,64%	76,07%
Yağ Miktar Tayini	4,61%	4,24%	4,0%
Selüloz Miktar Tayini	50,78%	22,17%	90,0%
Lignin Tayini	33,43%	31,03%	4,17%
Ekstraktif Miktar Tayini	13,35%	9,75%	-
Hemiselüloz Tayini	76,82%	71,94%	10,2%

Nem içerikleri bakımından üç biyokütlenin nem değerlerinin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Nem içeriğinin yüksek olması hammaddelerin dönüşümü ve yakıt kalitesi üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır (Agrawalla vd. 2011). Kül içerikleri karşılaştırıldığında şeker pancarı küspesinin en az pirinç kabuğunun ise en fazla kül miktarına sahip olduğu görülmüştür. Kül içeriğinin yüksek olması pirolizden sonra yakıtlara dönüştürülmeden kalmış olan kalıntı anlamına gelir. Aynı zamanda yüksek kül içeriği piroliz sırasında geriye kalmakta olan yüksek miktardaki inorganik bileşiklerden kaynaklanmaktadır (Biswas vd. 2017).

Biyokütle numuneleri arasından haşhaş küspesinin, şeker pancarı küspesi ve pirinç kabuğuna göre daha fazla uçucu madde içerdiği görülmüştür. Uçucu maddenin yüksek miktarlarda olması piroliz sırasında daha fazla uçucu maddenin oluşumunu sağlayacağı için piroliz için olumlu bir özelliktir (Prasad and Mohanty 2014). Yağ miktarları bakımından hammaddelerde birbirine çok yakın değerler elde edilmiştir. Hammaddelerin selüloz miktarı karşılaştırıldığında haşhaştaki selüloz içeriği diğer hammaddelere göre oldukça fazladır. Pirinç kabuğu ve şeker pancarı küspesinin lignin ve hemiselüloz miktarları birbirine oldukça yakındır ancak haşhaş da diğerlerine oranla daha az lignin ve hemiselüloz bulunmaktadır.

#### **4.1.1 Hammaddelere Ait Termogravimetrik Analiz Değerleri**

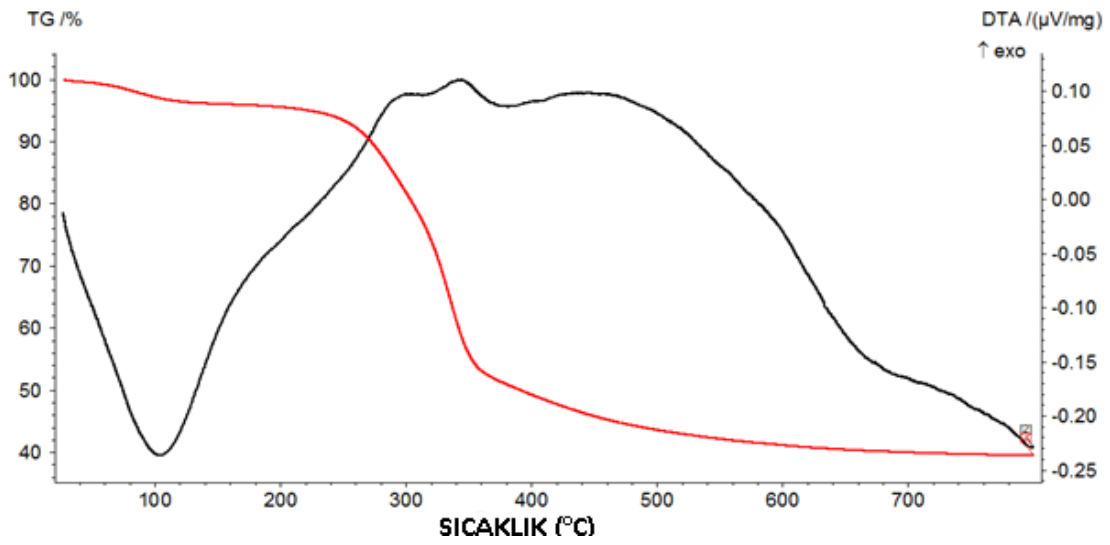
Termogravimetrik Analiz (TGA), bir numunenin kütle kaybını ölçmek ve piroliz sırasında organik materyallerin termal davranış ve ayrışma kinetiklerini incelemek için kullanılır.

TGA sonuçlarına dayanarak, biyokütlenin pirolizi genel olarak üç ana aşamada gerçekleşir (Hassan *et al.* 2016):

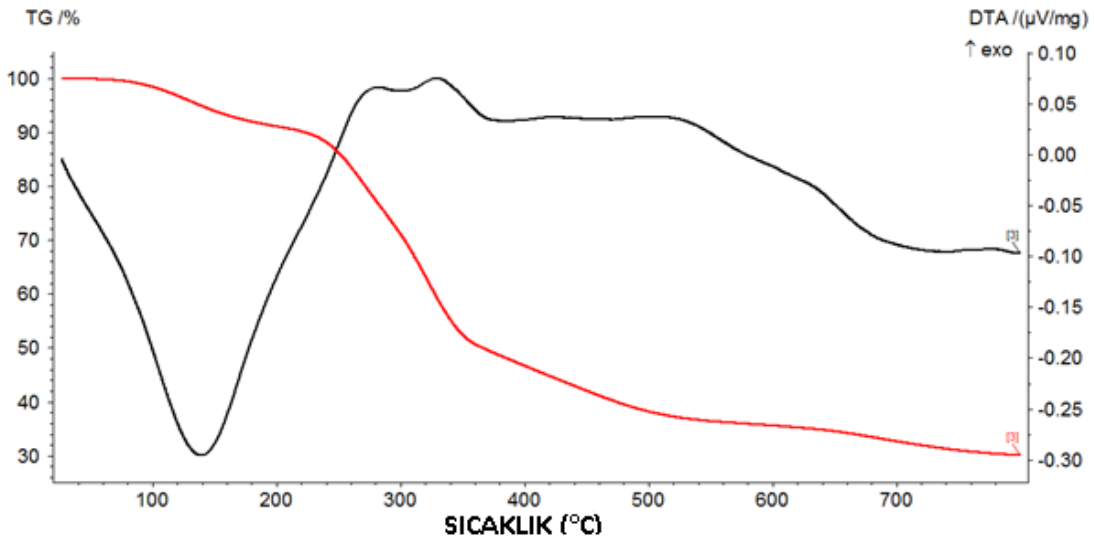
- (i) Birinci aşama 200 °C'nin altında gerçekleşir. Bu aşamada, karbon dioksit, karbon monoksit ve su biyopolimer matristen uzaklaştırılır.
- (ii) İkinci aşamada ayrışma 475 °C ile 655 °C arasında gerçekleşir;

- (iii) Üçüncü aşamada ise 600 °C'yi aşan sıcaklıklarda bozunma tepkimesinde azalma gerçekleşir.
- (iv) Selüloz ve hemiselülozların ayrışması ikinci aşamada, lignin ayrışması ise 455 °C - 1175 °C arasındaki sıcaklıklarda gerçekleşir.

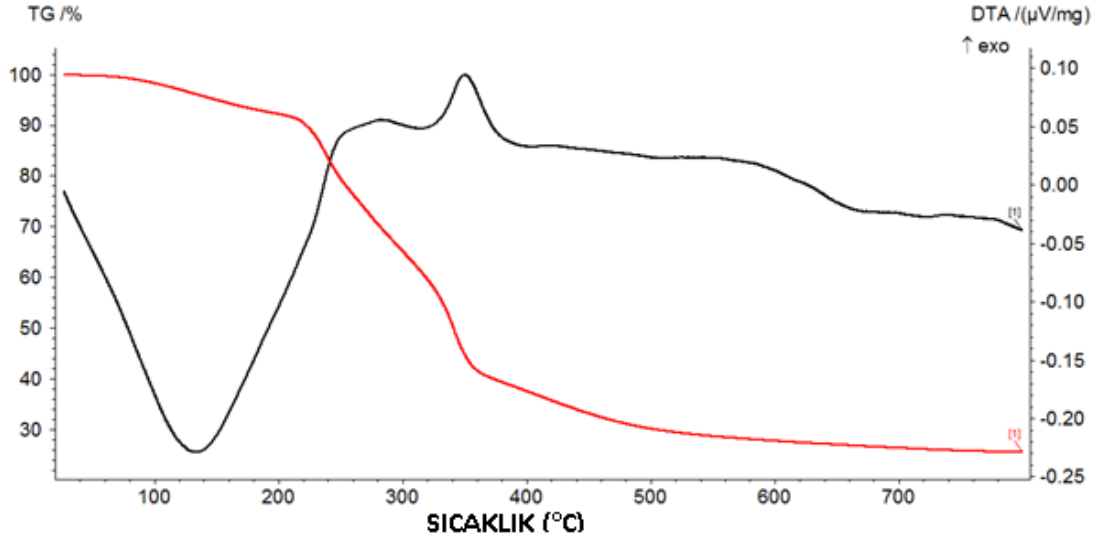
Şeker pancarı küspesi, haşhaş küspesi ve pirinç kabuğunun termal bozunmaları sonucu oluşan ağırlık kayıpları sırasıyla %74, %70 ve %60'dir. Biyokütlelerin TG ve DTA verileri aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir.



Şekil 4.1 Pirinç Kabuğuna Ait TG ve DTA Verileri.



Şekil 4.2 Şeker Pancarı Küspesine Ait TG ve DTA Verileri.



**Şekil 4.3** Haşhaş Küspesine Ait TG ve DTA Verileri

Pirinç kabuğunun termal bozunması sonucunda oluşan yüksek miktardaki kül ile en fazla kalıntı, pirinç kabuğunda meydana gelmiştir (Şekil 4.1). En düşük kül miktarına sahip şeker pancarı küspesi en yüksek termal bozunma oranına sahiptir (Şekil 4.2) (Zhou vd. 2014).

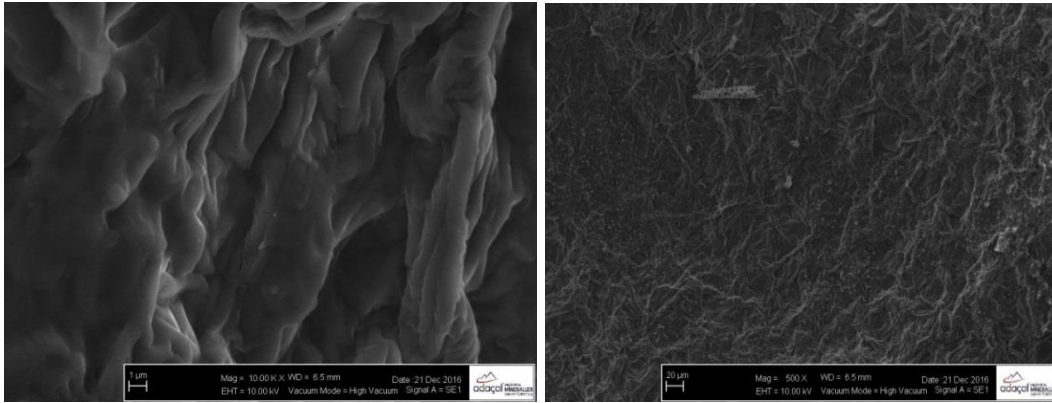
Biyokütlelerin TG eğrileri, sıcaklığa bağlı olarak üç ana aşamada benzer bir davranış göstermektedirler. İlk aşamada 100 °C ile 200 °C arasında, suyun buharlaşmasına ve düşük sıcaklıkta uçucu bileşiklerin ayrışmasına bağlı olarak bir ağırlık kaybı meydana gelmiştir (Kader vd. 2013). İkinci aşamada ise ana dekompozisyonun meydana geldiği sıcaklık aralığı olan 200 °C'den 500 °C'ye kadar devam eden bir ağırlık kaybı gözlenmiştir. Ana pirolitik bölge olan ikinci aşamada hemiselüloz, selüloz ve ligninin termal ayrışması gerçekleşmiştir.

Biyokütlenin diferansiyel termogramlarının 4 ana aşamadan oluştuğu gözlenmiştir. 100 °C civarındaki ilk endotermik zirve, su buharlaşması ile ilişkilendirilmektedir. İkinci ekzotermik zirve 260 °C - 280 °C civarında küçük omuz zirvesidir ve hemiselülozun ayrışmasına bağlıdır. Hemiselüloz, kısa moleküler zincirlerle sabitlenmemiş yapısından dolayı ayrılmaya başlayan ilk bileşendir. 340 °C civarındaki ana zirve, daha yüksek termal stabiliteye sahip olan selülozun ayrışması ile ilişkilendirilmektedir. Lignin aromatik halkalı ve aşırı çapraz bağlı olduğundan parçalanması zordur. Bu nedenle

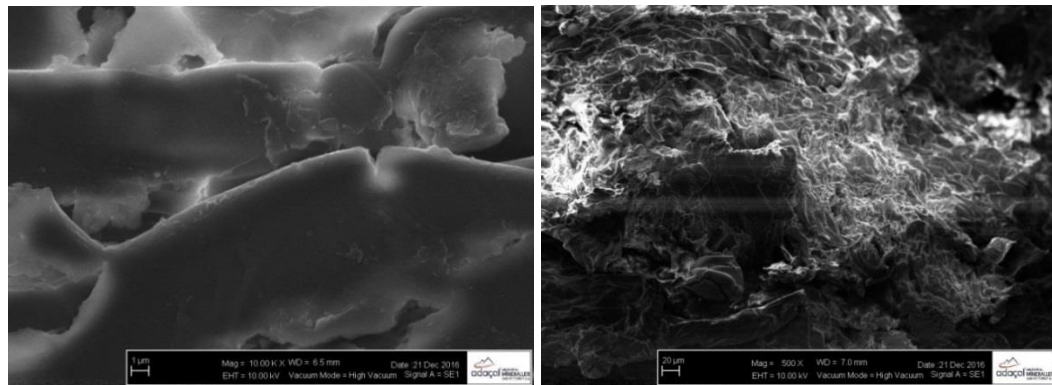
ligninin 280 °C'den 500 °C'ye kadar geniş bir yelpazede ayrıştığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla 400 °C ile 500 °C arasındaki ekzotermik dalgalanmaların, biyokütle numunelerindeki lignin içeriğinin parçalanmasına bağlı olduğu düşünülmektedir. 500 °C ile 800 °C arasındaki son safha ise çar oksidasyonu ve kül oluşumu ile ilgilidir (Chen *et al* 2014; Kim and Agblevor 2014; Boumanchar 2017; Biswas *et al* 2017).

#### 4.1.2 Hammaddelere Ait SEM Görüntüleri

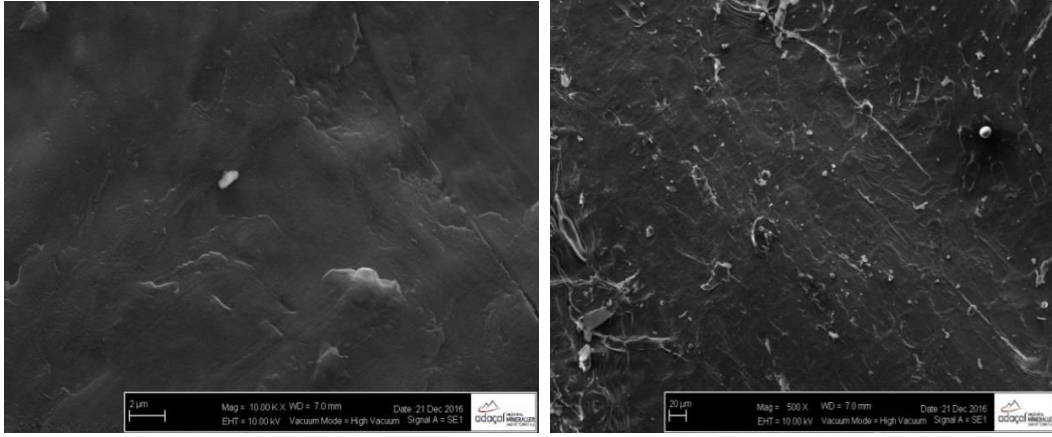
Şeker pancarı küspesi, haşhaş küspesi ve pirinç kabuğu biyokütlelerinin SEM görüntüleri aşağıda yer almaktadır. Hammaddelerin SEM 2 farklı boyutta çekilerek incelendi. Hammaddelerden pirinç kabuğunun yüzey yapısı çok düz bir yapıya sahip iken haşhaşın yüzey yapısı pirince oranla daha dalgalı ve girintili bir yapıya sahiptir. Şeker pancarı küspesinin yüzey yapısı ise diğer hammaddelere oranla daha sarmal bir görüntüye sahip olduğu gözlemlendi.



**Resim 4.1** Şeker Pancarı Küspesine Ait SEM Görüntüleri.



**Resim 4.2** Haşhaş Küspesine Ait SEM Görüntüleri.



**Resim 4.3** Pirinç Kabuğu Ait SEM Görüntüleri.

## 4.2 Piroliz ve Kopyoliz Verimleri

Piroliz ve kopyoliz deneyleri biyokütelerin tekli, ikili ve üçlü karışımları için 550 °C sıcaklık, 10 °C/dk ısıtma hızı ve 40 dk'lık bekleme süresinde 2 kez tekrarlanarak gerçekleştirilmiştir. Pirolizi ve kopyolizi yapılmış biyokütelerin toplam miktarı 90 gramdır. İkili karışımlarda her bir biyokütleden 45 gram, üçlü karışımlarda da 30 gram alınarak eşit miktarlarda karıştırılmıştır. Piroliz sonucu elde edilen katı, sıvı ve gaz ürünlerin verimleri belirlenmiştir. Ayrıca piroliz işlemi uygulanan malzemelerin kül ve uçucu madde içeriklerinin ürün verimlerine etkileri irdelenmiştir.

Hazırlanan numuneler piroliz reaktörünün 500 mL'lik haznesine, haznenin altına 10 gram cam yünü yerleştirildikten sonra boşaltılmıştır. Reaktörün hava almaması için vidaları dikkatli bir şekilde özenle sıkıldıktan sonra kontrol paneli kullanılarak istenilen parametre değerleri (ısıtma hızı, sıcaklık, bekleme süresi) ayarlanmıştır.

Set değerleri şu şeklide ayarlanmıştır:

**Çıkacağı Sıcaklık Değeri:** 550 °C

**Bekleme sıcaklığı:** 550 °C

**Çıkma süresi:** 55 dk

**Bekleme Süresi:** 40 dk

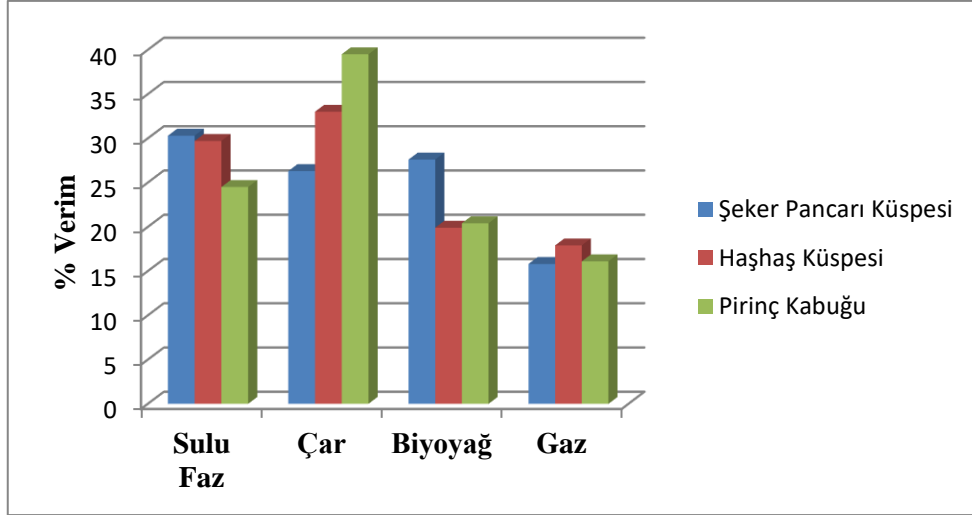
**Isıtma Hızı:** 10 °C/dk

**Çizelge 4.2** Piroliz İşlemi Sonucunda Elde Edilen Ürünlerin Yüzde (%) Cinsinden Değerleri.

<b>Hammadde</b>	<b>Sulu Faz (%)</b>	<b>Katı (Çar) (%)</b>	<b>Biyoyağ (%)</b>	<b>Gaz (%)</b>	<b>Kül (%)</b>	<b>Uçucu Madde (%)</b>
<b>Pirinç Kabuğu</b>	24,5	39,5	20,4	16,1	17,5	60,8
<b>Şeker Pancarı Küspesi</b>	30,3	26,3	27,6	15,8	4,0	71,9
<b>Haşhaş Küspesi</b>	29,7	33,0	19,9	17,9	12,8	76,1
<b>Şeker P. K. + Haşhaş K.</b>	28,1	29,3	20,6	21,7	8,4	74,0
<b>Pirinç K. + Şeker P.K.</b>	22,2	32,7	28,4	17,4	10,8	66,4
<b>Haşhaş K. + Pirinç K.</b>	25,8	35,7	21,5	17,0	15,2	68,4
<b>Pirinç K. + Şeker P.K. + Haşhaş K.</b>	26,6	31,7	22,9	18,8	11,4	69,6

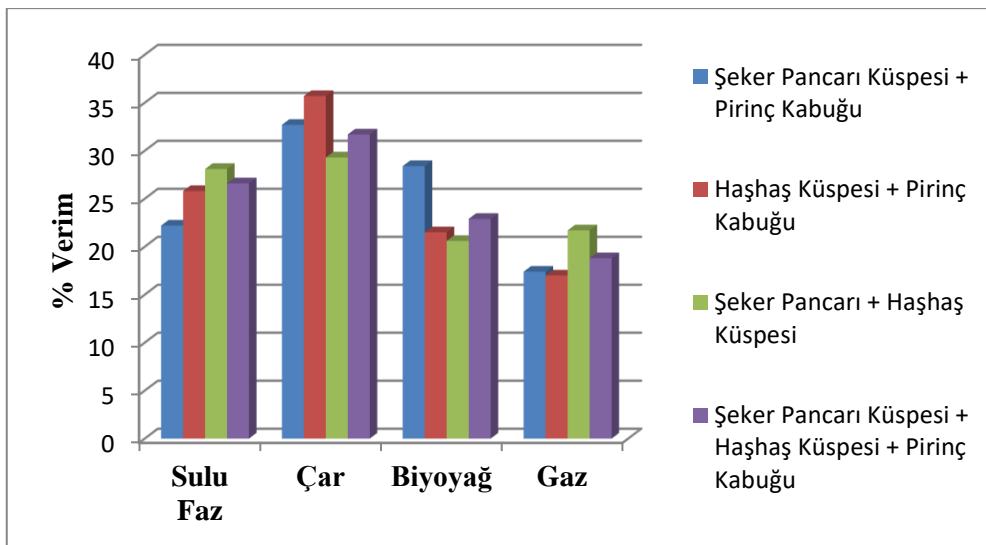
Çizelge 4.2’de şeker pancarı küspesi, haşhaş küspesi ve pirinç kabuğu hammaddelerinin ayrı ayrı piroliz ve kopiroliz ürün verimleri yer almaktadır. Biyokütleler arasında en yüksek biyoyağ verimi şeker pancarı küspesinde elde edilmiştir (%27,6). Pirinç kabuğu ve haşhaş küspesinin biyoyağ verimleri ise sırasıyla %20,4 ve %19,9 olarak tespit edilmiştir. Çar verimi en yüksek pirinç (%39,5), en düşük de şeker pancarı (%26,3) küspesinde elde edilmiştir. Pirinç kabuğu, şeker pancarı küspesi ve haşhaş küspesinin sırasıyla gaz ürün verimleri %16,1, %15,8, %17,9 olarak bulunmuştur. Toplam kütle denklüğünden elde edilen gaz ürün verimleri arasında çok büyük farklılık görülmemiştir.





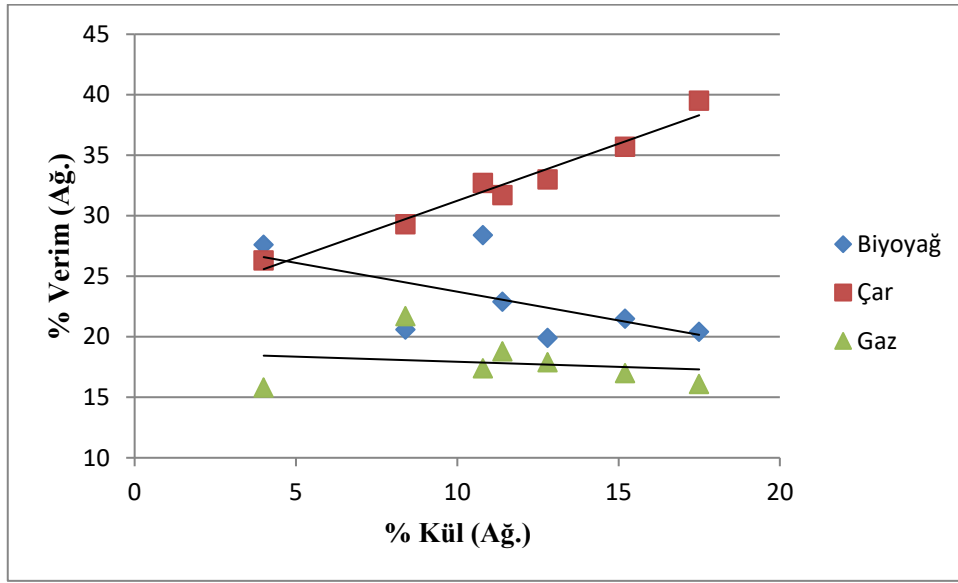
Şekil 4.4 Her Bir Hammaddenin Piroliz Ürünleri Verimleri.

Biyokütle karışımları içerisinde en yüksek biyoyağ verimi şeker pancarı küspesi ve pirinç kabuğu karışımına ait kopiroliz işleminde elde edilmiştir (%28,4). Üçlü karışımdan elde edilen sıvı ürün verimi ise %22,9 olarak bulunmuştur. Pirinç kabuğu ve şeker pancarı küspesi karışımında sinerjik etki görülmüştür. Pirinç kabuğunun %20,4 ve şeker pancarı küspesinin %27,6 olan biyoyağ verimi değerlerinin ortalaması %24 olurken; bu hammaddelerinin birlikte kopirolizleri sonucunda elde edilen biyoyağın verimi %28,4 olarak bulunmuştur. Pirinç kabuğunun yüksek miktardaki kül içeriğinin (%17,5) katalizör etkisi göstererek biyoyağ oluşumunu arttırdığı düşünülmektedir (Boumanchar *et al* 2017).

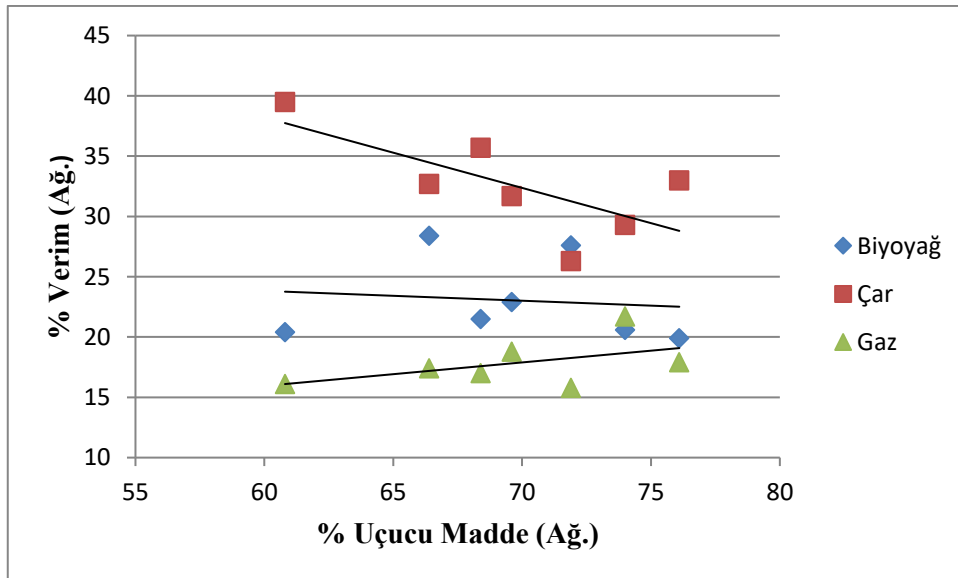


Şekil 4.5 İkili Karışımların ve Üçlü Karışımın Kopiroliz Verimleri

Uçucu madde ve kül miktarları biyokütleler aracılığıyla piroliz reaktörüne girmektedir. Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de biyokütlelerin ve karışımlarının uçucu madde ve kül miktarlarının katı, sıvı ve gaz ürün verimlerine olan etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, uçucu madde miktarının artması gazlaşmayı desteklemektedir ve bu da gaz ürün verimini artırmaktadır (Lim vd. 2016). Yoğuşamayan gazların fraksiyonunun yükselmesiyle birlikte sıvı ürün verimi düşmektedir. Kül miktarının artması ile katı ürün miktarı artış gösterir; bunun sonucunda sıvı ürün verimi düşer (Zhou *et al* 2014).



Şekil 4.6 Kül İçeriğinin Biyokütle Karışımlarının Piroliz Sonuçlarına Etkileri.



Şekil 4.7 Uçucu Madde İçeriğinin Piroliz Sonuçlarına Etkileri.

### 4.3 Biyoyağa Uygulanan Analizler

Piroliz işlemleri sonucunda elde edilmiş biyoyağ örneklerine uygulanmış olan kalorifik değer, GC-MS analizi ve FT-IR analizinin sonuçları sunulmuştur.

#### 4.3.1 Biyoyağ Örneklerine Ait Kalorifik Değer Sonuçları

Yapılan kalorifik değer analizi sonucunda haşhaş küspesi (31,27 MJ/kg), haşhaş küspesi ile şeker pancarı küspesinin ikili karışımında (29,68 MJ/kg) ve üçlü karışımında (25,79 MJ/kg) yüksek ısıl verimlilik sağlanmışır (Çizelge 4.3). Fuel oil ısıl değeri 40,19 MJ/kg'dır. Bu değerler fuel oil ile kıyasladığında ısıl değerin düşük olduğu görülmüştür. Ancak belirli oranlarda yakıtlarla karıştırılarak alternatif bir kaynak olarak kullanılabilir oldukları sonucuna ulaşılmıştır.

**Çizelge 4.3** Numunelerin Piroliz ve Kopyrolizleri Sonucu Elde Edilen Kalorifik Değerleri.

No	Karışım	Hammadde	Kalorifik Değer MJ/kg
1	Tekli Karışım	Haşhaş Küspesi	31,27
2	Tekli Karışım	Pirinç Kabuğu	20,51
3	Tekli Karışım	Şeker Pancarı Küspesi	15,08
4	İkili Karışım	Haşhaş Küspesi+ Şeker Pancarı Küspesi	29,68
5	İkili Karışım	Pirinç Kabuğu+ Şeker Pancarı Küspesi	15,47
6	İkili Karışım	Haşhaş Küspesi+ Pirinç Kabuğu	19,26
7	Üçlü Karışım	Haşhaş+ Şeker Pancarı+ Pirinç Kabuğu	25,79

#### 4.3.2 Biyoyağa Ait GC-MS Analiz Sonuçları

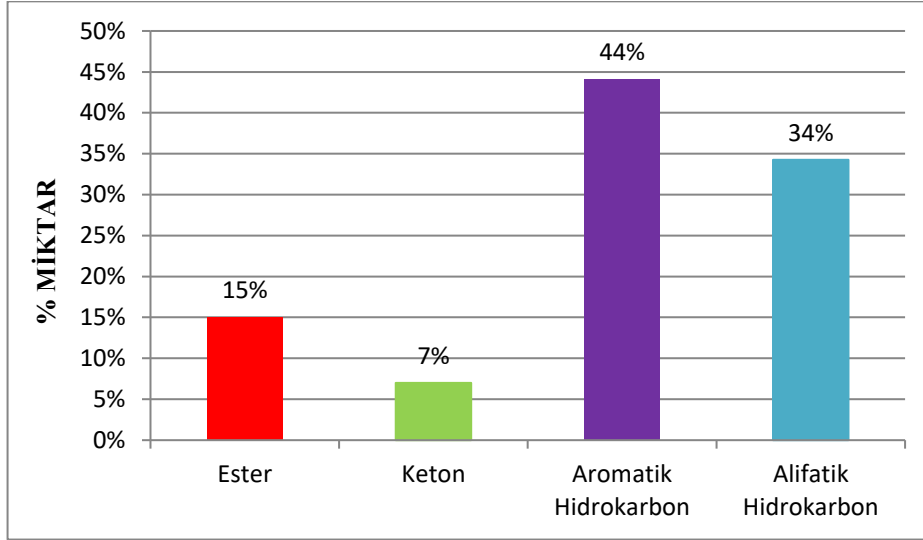
Üç biyokütle kaynağının kopyrolizinden elde edilen biyoyağın 35 farklı bileşenden olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.4). Alan yüzdesi dikkate alınarak, bileşiklerin toplam iyon kromatogramının en yüksek pik alanları trikloroetilen, toluen ve etil

asetattır. Çizelge 4.4’de biyoyağın bileşimine bakıldığında bileşiklerin karbon sayılarının C<sub>2</sub>-C<sub>13</sub> aralığında olduğu gözlenmiştir. Analiz sonucu varsayılan bileşikler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

**Çizelge 4.4** GC-MS Analizi Sonucu Biyoyağda Varsayılan Bileşikler.

Bileşikler	Molekül Formülleri	% Bileşen Değerleri
Etil Asetat	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	6,1
Nonan	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	0,8
Metil Etil Keton	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub> O	0,7
Etil Propiyonat	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	0,5
Trikloretillen	C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub>	22,0
Toluen	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	11,6
Bütülasetat	C <sub>6</sub> H <sub>11</sub> O <sub>2</sub>	2,0
Etilbenzen	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	0,8
p-Ksilen	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	0,7
m-Ksilen	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	2,0
o-Ksilen	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub>	1,7
Siklopentanon	C <sub>5</sub> H <sub>8</sub> O	0,5
α-Metilsiklopentanon	C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O	0,5
m-Etilmetil benzen	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	0,5
1,2,4- Trimetilbenzen	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>	1,3
Tridekan	C <sub>13</sub> H <sub>28</sub>	1,2
2-Metil-2-siklopentenon	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> O	1,5
Tetradekan	C <sub>14</sub> H <sub>30</sub>	1,5
1,2,3,4-Tetrametilbenzen	C <sub>10</sub> H <sub>14</sub>	0,6
Bütül glikol asetat	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>3</sub>	0,6
2,3- Dimetil-2-siklopenten-1 on	C <sub>7</sub> H <sub>10</sub> O	0,8
Metil 2-furoat	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	0,6
Naftalin	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	0,7
Gayakol	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub>	2,6
1-Metil naftalin	C <sub>11</sub> H <sub>10</sub>	0,5
4-Metil gayakol	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	1,4
o-Krizol	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	1,4
Fenol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> O	1,1
4-Etil gayakol	C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> O <sub>2</sub>	1,2
p-Kresil metil eter	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O	0,5
p-Krizol	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	0,8
m-Krizol	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> O	0,6
p-Etilfenol	C <sub>8</sub> H <sub>10</sub> O	1,2
4-Vinil gayakol	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub> O <sub>2</sub>	0,6
Heksil Salisilat	C <sub>13</sub> H <sub>18</sub> O	1,0

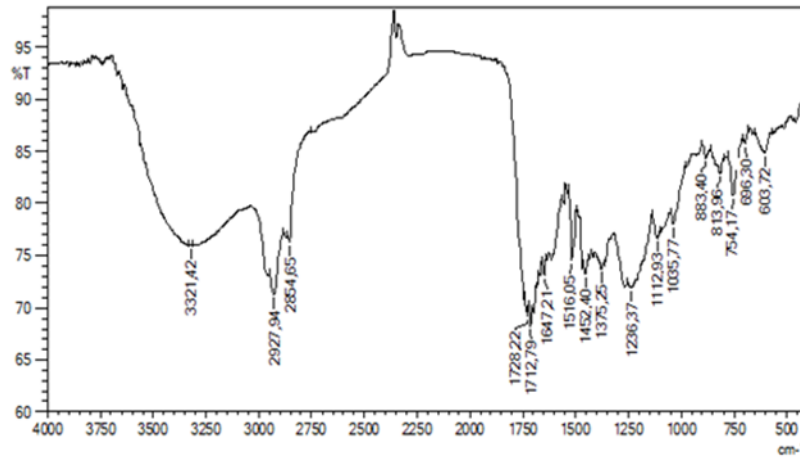
Şekil 4.8'ye göre yapıda en fazla bulunan aromatik hidrokarbondur. Alifatik hidrokarbon, ester ve ketonda yapıda yer almaktadır. Yakıt raf ömrüne olumsuz etki eden aldehitin yapıda yer almaması olumlu bir sonuç oluşturmuştur.



Şekil 4.8 Biyoyağın Bileşen İçeriği Yüzdeleri.

#### 4.3.3 Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spektroskopisi Sonuçları

Şeker pancarı küspesi, haşhaş küspesi ve pirinç kabuğunun üçlü karışımlarının kopyolizasyonu sonucu elde edilen biyoyağın, KBr ile alınan FT-IR spektrumu Şekil 4.9'da verilmiştir. FT-IR spektrumu biyoyağın yapısındaki fonksiyonel grupların belirlenmesi amacıyla çekilmiştir.



Şekil 4.9 Üç biyokütlenin kopyolizinden elde edilen biyoyağın FT-IR spektrumu.

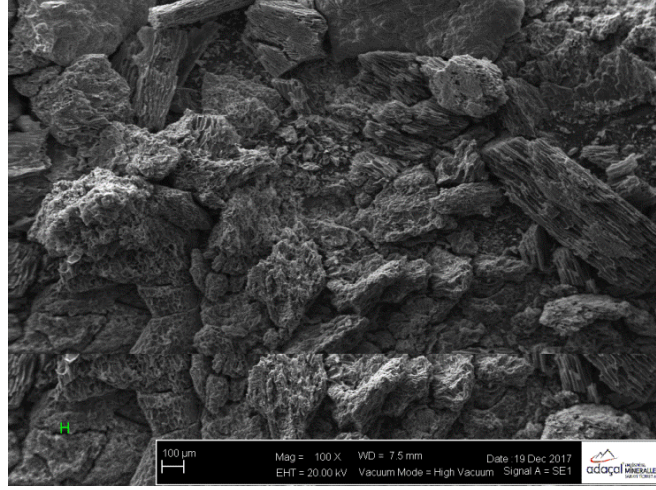
**Çizelge 4.5** FT-IR Spektrum Verileri.

<b>Dalga Boyu (cm<sup>-1</sup>)</b>	<b>Titreşim tipi</b>
3321	O – H gerilme
2927 , 2855	C – H gerilme
1728 , 1712	C = O gerilme
1647	C = C gerilme

Üçlü karışımın kopirolizinden elde edilen biyoyağa ait FT-IR spektrumuna bakıldığında, 3100-3600 cm<sup>-1</sup> geniş bant aralığında O-H gerilme titreşimleri görülmektedir. Bu bize yapıda alkol ve fenolik yapıların bulunduğunu gösterir. 2927-2855 cm<sup>-1</sup> aralığında, alifatik C-H gruplarının gerilme titreşim bantları gözlemlenir. 1728-1712 cm<sup>-1</sup> de görülen C=O gerilme titreşimi, konjüge olmamış ve karbonil yanında elektronegatif atomları bulunmayan keton ve ester gibi oksijenli bileşiklerin yapıda yer aldığını gösterir. 1647 cm<sup>-1</sup> de görülen C=C gerilme titreşimi biyoyağ yapısında alken varlığını gösterir (Çizelge 4.5).

#### **4.4 Katı Ürünlere Ait Sem Görüntüleri**

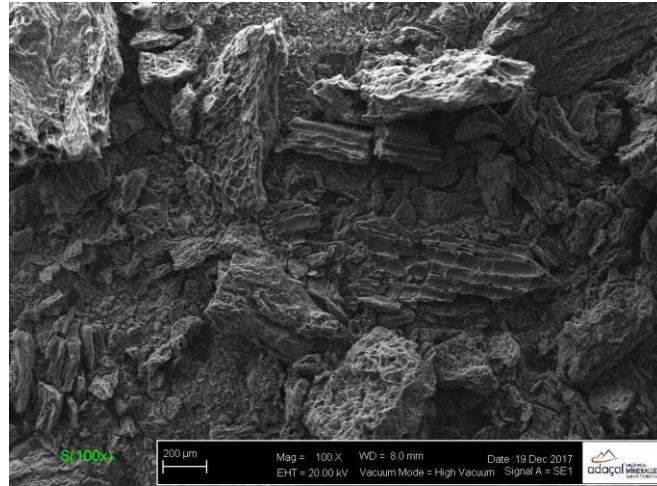
Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ile piroliz ve kopiroliz sonucu elde edilen katı ürünlerin (çar) tümünün yüzey yapısı ve şekillerinin görüntüleri çekilmiştir. Katı ürünlere ait SEM görüntülerinin 100 kez büyütülmüş halleri aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Hammaddelerin SEM görüntüleri ile piroliz ve kopiroliz işlemleri sonucu elde edilen çarlara ait SEM görüntüleri karşılaştırılması yapılmıştır. Piroliz ve kopiroliz sonucu elde edilen çarların SEM görüntüleri, hammaddelerinkine göre daha parçacıklı, gözenekli, girintili ve çıkıntılı yapıda oldukları gözlemlendi.



**Resim 4.4** Haşhaş Küspesinin Pirolyzi Sonucu Oluşan Çarın Sem Görüntüsü.

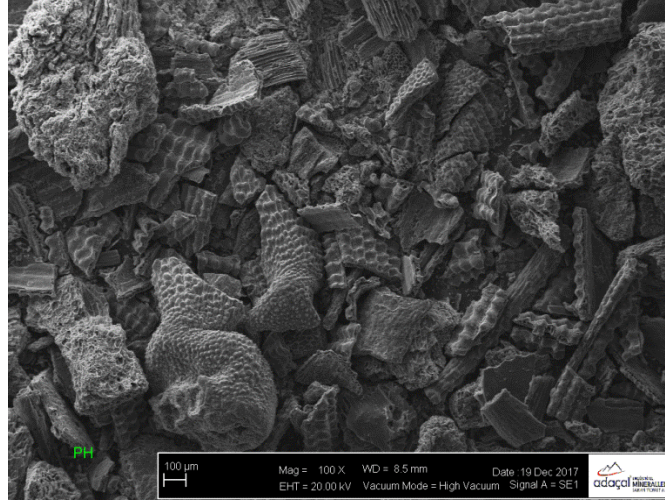


**Resim 4.5** Pirinç Kabağunun Pirolyzi Sonucu Oluşan Çarın Sem Görüntüsü.

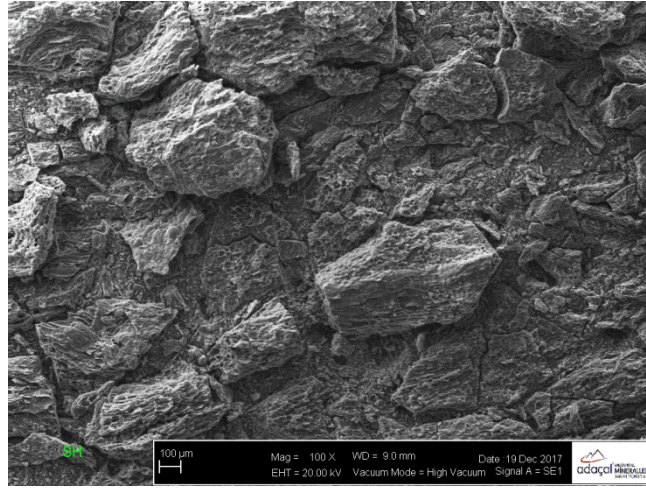


**Resim 4.6** Şeker Pancarının Pirolyzi Sonucu Oluşan Çarın Sem Görüntüsü.

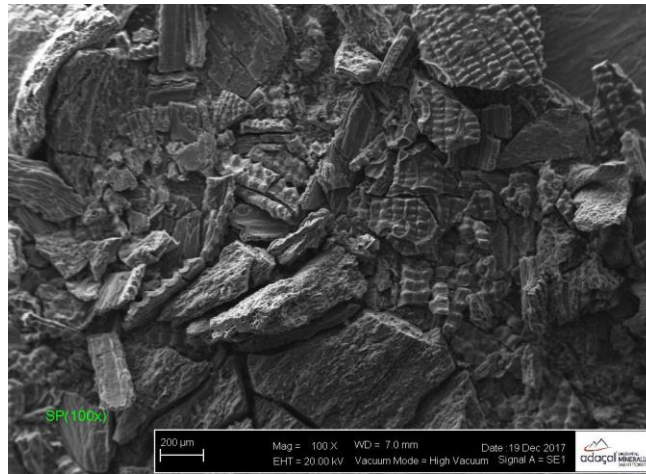




**Resim 4.7** Pirinç Kabuğu ve Haşhaş Küspesi Karışımı Çarına Ait Sem Görüntüsü.

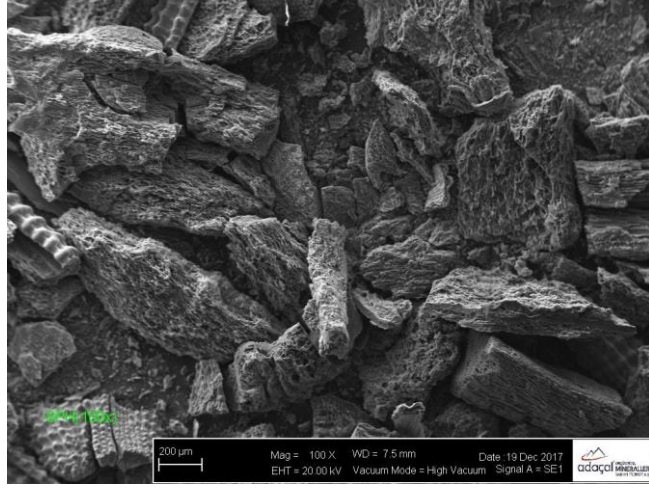


**Resim 4.8** Şeker Pancarı ve Haşhaş Küspesi Karışımının Çarına Ait Sem Görüntüsü.



**Resim 4.9** Şeker Pancarı Küspesi ve Pirinç Kabuğu Karışımının Çarına Ait Sem Görüntüsü.





**Resim 4.10** Üçlü Karışımın Çarına Sem Görüntüsü.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Çalışmada elde edilen sonuçlar;

- Hammadelere uygulanan ön analizlerde şeker pancarı küspesinin %6,83 nem, %4,01 kül, %10,64 uçucu madde içerdiği; haşhaş küspesinin %5,20 nem, %12,80 kül, % 76,07 uçucu madde içerdiği; pirinç kabuğunun ise %5,47 nem, %16,77 kül, %27,49 uçucu madde içerdiği tespit edilmiştir.
- Hammadelere uygulanan bileşen analizinde şeker pancarı küspesinin %31,03 lignin, %22,17 selüloz, %71,94 hemiselüloz, %4,24 yağ içerdiği; haşhaş küspesinin %4,17 lignin, %90,0 selüloz, %10,20 hemiselüloz, %4,0 yağ içerdiği; pirinç kabuğunun ise %33,43 lignin, %50,78 selüloz, %76,82 hemiselüloz, %4,61 yağ içerdiği tespit edilmiştir.
- Araştırma 550 °C' sabit sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon sıcaklığının sıvı ürün verimine etkisini incelenmemiştir.
- Isıtma hızı sabit olarak 10 °C/dk olarak tercih edilmiştir. Isıtma hızının verim üzerine etkisi incelenmemiştir.
- Şeker pancarı küspesi, haşhaş küspesi ve pirinç kabuğunun termal bozunmaları sonucunda sırasıyla %74, %70 ve %60 oranlarında ağırlık kayıpları meydana gelmiştir. Termal bozunma sonucu en yüksek kül miktarı pirinç kabuğunda, en düşük kül miktarı ise şeker pancarı küspesinde oluşmuştur.
- Piroliz ve kopiroliz işlemleri sonucu en yüksek biyoyağ verimi pirinç kabuğu ile şeker pancarı küspesinin karışımının kopirolizinden elde edilmiştir (%28,4). Diğer numunelerin biyoyağ verimleri sırasıyla şeker pancarı küspesi %27,6, üçlü karışım %22,9, haşhaş küspesi ile pirinç kabuğu karışımı %21,5, şeker pancarı küspesi ile haşhaş küspesi karışımı %20,6, pirinç kabuğu %20,4, haşhaş küspesi %19,9 olarak bulunmuştur.
- Şeker pancarı, haşhaş ve pirinç bitkilerinin işlenmesi sonucu arta kalan şeker pancarı küspesi, haşhaş küspesi ve pirinç kabuğundan hazırlanan üçlü karışıma uygulanan kopiroliz işlemi sonucu optimum koşullarda (550 °C - 10 °C/dk) elde edilen biyoyağın ısı değeri 25,79 MJ/kg olarak hesaplanmıştır. Fueloil kalorifik değeri 40,19 MJ/kg'dır. Çalışmada, elde edilen biyoyağ örneklerinden en yüksek

kalorifik değere sahip olanlar sırasıyla haşhaş küspesine ait biyoyağ (31,27 MJ/kg) ve haşhaş küspesinin şeker pancarı küspesi ile kopirolizine ait biyoyağ (29,68 MJ/kg) olarak tespit edilmiştir.

- Hammaddelerin karışımının kopirolizinden elde edilen biyoyağa uygulanan GC/MS analizi ile biyoyağın yapısında en çok aromatik ve alifatik hidrokarbonların bulunduğu, ikinci sıra da ise ester ve ketonların yer aldığı görülmüştür.
- FT-IR analiz sonucuna göre üçlü kopiroliz ürünü olan biyoyağın yapısında aldehit, keton, alkol ve fenol gibi bileşiklere ait fonksiyonel grupların yer aldığı görülmüştür.
- Katı ürünlere ait SEM görüntülerine bakıldığında hammaddelerin piroliz öncesi çekilen SEM görüntülerine oranla daha gözenekli, girintili ve çıkıntılı bir yapıya sahip olduğu gözlemlenmiştir.

## 6. KAYNAKLAR

- Adıyaman, Ç. (2012). Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Politikaları. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, Niğde.
- Agrawalla, A., Kumar, S., Singh, R.K. (2011). Pyrolysis of Groundnut De-Oiled Cake and Characterization of the Liquid Product, *Bioresource Technology*, **102**: 10711–10716.
- Akkuş M.S. (2010). Türkiye'nin Enerji Kaynakları Ve Alternatif Bir Kaynak Olarak Rüzgâr Ve Güneş Enerjisinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Anonim, (2015). 2014 Yılı Haşhaş Sektörü Raporu, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonim, (2012). Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Önemi. Yenilenebilir Enerji Teknolojileri, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- Anonim, (2016). 2017 Yılı Bütçe Sunumu, Strateji Geliştirme Başkanlığı, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.
- ASTM D 1102-84, (1982). Standart Test Method for Ash in Wood. In ASTM Annual Book of Ame. Soc. for Testing and Materials Standarts, Easton, M.D., USA.
- ASTM D 1106-96, (1982). Standart Test Method for Acid-İnsoluble Lignin in Wood. ASTM Annual Book of Ame. Soc. for Testing and Materials Standarts, Easton, M.D., USA.
- ASTM E 897-82, (1982). Standart Test Method for Volatile Matter in Analysis Sample Refuse Derived Fuel-3. In ASTM Annual Book of Ame. Soc. for Testing and Materials Standarts, Easton, M.D., USA.
- Ateş, F. and Işıkdağ, M.A. (2009). Influence of Temperature and Alumina Catalyst on Pyrolysis of Corncob. *Fuel*, **88**: 1991–1997.
- Atukeren E.Z. (2001). Pirinç Kabuğu Külü ve Çamaltı Tuzlası Atık Tuz Çözeltisi Kullanılarak Magnezyum Silikat Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

- Aysu, T. and Sanna, A. (2015). Nannochloropsis Algae Pyrolysis with Ceria-Based Catalysts for Production of High-Quality Bio-Oils. *Bioresour Technology*, **194**: 108–116.
- Aysu, T., Durak, H., Güner, S., Bengü, A.S. and Esim, N. (2016). Bio-Oil Production Via Catalytic Pyrolysis of Anchusa Azurea: Effects of Operating Conditions on Product Yields and Chromatographic Characterization. *Bioresour Technology*, **205**: 7–14.
- Balasundram, V., Ibrahim, N., Kasmani, R.M., Hamid, M.K.A., Isha, R., Hasbullah, H. and Ali, R.R. (2017). Thermogravimetric Catalytic Pyrolysis and Kinetic Studies of Coconut Copra and Rice Husk for Possible Maximum Production of Pyrolysis Oil. *Journal of Cleaner Production*, **167**: 218-228.
- Bay B. (2006). Çeşitli Biyokütle Kaynaklarının Termal Davranımının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Bedeloğlu, A., Demir, A. ve Bozkurt, Y. (2010). Fotovoltaik Teknolojisi: Türkiye ve Dünyadaki Durumu, Genel Uygulama Alanları ve Fotovoltaik Tekstiller. *Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **4**: 43-58.
- Birlikbaş Mu.Bnb. A.İ. (2001). Enerji Darboğazı ve Türkiye'nin Alternatifleri. Tez, Harp Akademileri Komutanlığı, 31-32.
- Biswas, B., Pandey, N., Bisht, Y., Singh, R., Kumar J. and Bhaskar, T. (2017). Pyrolysis of Agricultural Biomass Residues: Comparative Study of Corn Cob, Wheat Straw, Rice Straw and Rice Husk. *Bioresour Technology*, **237**: 57-63.
- Boumanchar, I., Chhiti, Y., M'hamdi Alaoui, F.E., Ouinani, A.E., Sahibed-Dine, A., Bentiss, F., Jama, C., Bensitel, M. (2017). Effect of Materials Mixture on the Higher Heating Value: Case of Biomass, Biochar and Municipal Solid Waste. *Waste Management*, **61**: 78–86.
- Bridgwater, A. V. (1994). Catalysis in Thermal Biomass Conversion. *Applied Catalysis A: General*, **116**: 5-47.
- Bridgwater, A.V. and Bridge, S.A. (1991). A Review of Pyrolysis and Pyrolysis Technologies, Biomass Pyrolysis Liquids Upgrading and Utilisation. *Elsevier Applied Science*, London and New York.

- Bridgwater, A.V. and Cottom, L.M. (1992). Costs and Opportunities for Biomass Pyrolysis Liquids Production and Upgrading, Biomass for Energy. Industry and Environment, 6th E.C. Conference, *Elsevier Applied Science*, London and New York, 679-692.
- Bridgwater, A.V., Toft, A.J. and Brammer, J.G. (2002). A Techno-Economic Comparison of Power Production by Biomass Fast Pyrolysis with Gasification and Combustion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **6**: 181-248.
- Buntaine, M.T. and Pizer W.A. (2015). Encouraging Clean Energy Investment in Developing Countries: What Role For Aid?. *Climate Policy*, **15**: 543-564.
- Chen, D., Zhou, J., Zhang, Q. (2014). Effects of Heating Rate on Slow Pyrolysis Behavior, Kinetic Parameters and Products Properties of Moso Bamboo. *Bioresource Technology*, **169**: 313–319.
- DEKTMK, (2007). Hidrolik Ve Yenilenebilir Enerji Çalışma Grubu Biyokütle Enerjisi Alt Çalışma Grubu, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara.
- Demiral, İ. (2014). Pyrolysis of Sugar Beet Bagasse for Production of Liquid Fuels. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effec.* 2684-2690.
- Demiral, İ. ve Çemrek Kul, Ş. (2015). Kestane Kabuğunun Pirolizi ve Elde Edilen Ürünlerin Karakterizasyonu. *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi A-Uygulamalı Bilimler ve Mühendislik*, **16**: 125-134.
- Demirtaş, S. (2010). Avrupa Birliği ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Bunlardan Biyokütlenin Önemi, 46. Dönem AB Temel Eğitim Kursu. T.C. Ankara Üniversitesi Avrupa Toplulukları Araştırma ve Uygulama Merkezi, Orman Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Erşen, T. ve Pehlivan, D. (2011). Yüksek Yoğunluklu Polietilen-Odun Karışımlarının Birlikte Piroolizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, **26**: 607-612.
- Hassan, H., Lim, J.K. and Hameed, B.H. (2016). Recent Progress On Biomass Co-Pyrolysis Conversion Into Highquality Bio-Oil. *Bioresource Technology*, **221**: 645–655.

- Hopa, D.Y., Yılmaz, N., Alagöz, O., Dilek, M., Helvacı, A. and Durupınar, Ü. (2016). Pyrolysis of Poppy Capsule Pulp for Bio-Oil Production. *Sage Journals*, **34**: 1316-1321.
- Hossain, M.S., Islam, M.R., Rahman M.S., Kader, M.A., Haniu, H. (2017). Biofuel from Co-pyrolysis of Solid Tire Waste and Rice Husk. *Energy Procedia*, **110**: 453-458.
- Hu, S., Xiang, J., Sun, L., Xu, M., Qiu, J. and Fu, P. (2008). Characterization of Char from Rapid Pyrolysis of Rice Husk. *Fuel Processing Technology*, **89**: 1096-1105.
- Huang, H., Yang, T., Lai, F. and Wu, G. (2017). Co-Pyrolysis of Sewage and Sawdust/Rice Strow fort He Production of Biochar. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **125**: 61-68
- Kader, M.A., Islam, M.R., Parveen, M., Haniu, H., Takai, K. (2013). Pyrolysis Decomposition of Tamarind Seed for Alternative Fuel. *Bioresource Technology*, **149**: 1–7.
- Kapluhan, H. (2014). Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki ve Türkiye’deki Kullanım Durumu. *Marmara Coğrafya Dergisi* **30**: 97-125.
- Kaygusuz, K. and Keleş, S. (2009). Use of Biomass as a Transitional Strategy to a Sustainable and Clean Energy System. *Energy Sources*, **31**: 86-97.
- Keçeci A. (2006). Haşhaş Yağ Endüstrisi Yan Ürününden Sıvı Yakıt Üretiminin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Keleş S. (2009). Hızlı Piroliz Yöntemi İle Fındık Kupulasının Katalitik Pirolizi ve Sıvı Ürünlerin Karakterizasyonu. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Trabzon.
- Keskin M.H. (2006). Stratejik Açından Avrupa Birliği Enerji Politikası ve Uluslararası Güvenlik Sistemine Etkisi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İzmir.
- Kim, S., Agblevor, F.A. (2014). Thermogravimetric Analysis and Fast Pyrolysis of Milkweed. *Bioresource Technology*, **169**: 367–373.
- Küçük Y.N. (1996). Türkiye’nin Çeşitli Yörelerinde Yetiştirilen Haşhaş Bitkilerinden

- Alkoloid Ekstraksiyonu ve Eksstraktların Susuz Ortamlarda Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Ankara.
- Lim, C.H., Mohammed I.Y., Abakr Y.A., Kazi, F.K., Yusup S., Lam H.L. (2016). Novel Input-Output Prediction Approach for Biomass Pyrolysis. *Journal of Cleaner Production*, **136**: 51-61.
- Mckendry, P. (2002). Energy Production from Biomass (Part 2): Conversion Technologies. *Bioresource Technology*, **83**: 47-54.
- Mohan, D., Pittman, C.U. and Steele, P.H. (2006). Pyrolysis of Wood/Biomass For Bio-Oil: A Critical Review. *Energy & Fuels*, **20**: 848-889.
- Okay, G., Taşar, Ş., Yılğın, M. ve Duranay Deveci, N., (2014). Çam ve Kavak Ağacı Oduklarının Sabit Yatakta Ani Pirolyzi. 11. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, Eskişehir.
- Önal, E. Ve Pütün, A.E. (2009). Tütün Tarla Atıklarının Hızlı Pirolyzi. Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, **10**: 557-564
- Prasad, S.K. and Mohanty, K. (2014). Comparison of Yield and Fuel Properties of Thermal and Catalytic Mahua Seed Pyrolytic Oil. *Fuel*, **117**: 372–380.
- Sellin, N., Krohl, D.R., Marangoni, C. and Souza, O. (2016), Oxidative Fast Pyrolysis of Banana Leaves in Fluidized Bed Reactor. *Renewable Energy*, 56-64.
- Sogancioglu, M., Yel, E., Ahmetli, G. (2017). Pyrolysis of Waste High Density Polyethylene (HDPE) and Low Density Polyethylene (LDPE) Plastics and Production of Epoxy Composites with Their Pyrolysis Chars. *Journal of Cleaner Production*, **165**: 369-381
- Tiftik B.E. (2006) Çay Fabrikası Atığının Pirolyzi ve Pirolyz Ürünlerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- TP, (2017). 2016 Yılı Ham Petrol ve Doğalgaz Sektör Raporu, Türkiye Petrolleri Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı.



- Uzun B.B. (2005). Pirinanın İki Kademeli Pirolyzi ve Ürünlerinin Karakterizasyonu. Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- Üçgöl, İ. ve Akgöl, G. (2010). Biyokütle Teknolojisi, *Yekarum Dergi*, **1**: 3-11.
- Yılgin, M., Duranay, N.D. and Pehlivan, D. (2010). Co-Pyrolysis of Lignite and Sugar Beet Pulp. *Energy Conversion and Management*, **51**: 1060-1064.
- Yücel H.G. (2011). Şeker Pancarı Küspesinin Biyoetanol Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara.
- Zheng Ji-lu (2007). Bio-Oil from Fast Pyrolysis of Rice Husk: Yields and Related Properties and Improvement of the Pyrolysis System. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **80**: 30-35.
- Zhou, H., Meng, A., Long, Y., Li, Q., Zhang, Y. (2014). Interactions of Municipal Solid Waste Components During Pyrolysis: A TG-FTIR Study. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **108**: 19-25.

### İnternet Kaynakları

- 1) [http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle\\_enerjisi.aspx](http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle_enerjisi.aspx), 08.06.2017
- 2) [https://tr.wikipedia.org/wiki/%C5%9Eeker\\_pancar%C4%B1](https://tr.wikipedia.org/wiki/%C5%9Eeker_pancar%C4%B1), 05.07.2017
- 3) <http://www.ereglipancar.com.tr/Kooperatif/Sayfa/2042>, 20.07.2017
- 4) [http://www.zmo.org.tr/genel/bizden\\_detay.php?kod=23142&tipi=17](http://www.zmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=23142&tipi=17), 20.07.2017
- 5) <http://www.hashas.gen.tr>, 21.07.2017
- 6) <https://www.linkedin.com/pulse/madagascar-increase-rice-yield-using-chinese-hybrid-voskeritchian>, 14.09.2017
- 7) <https://www.pirinc.gen.tr>, 15.10.2017
- 8) <https://www.teias.gov.tr/tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri/2015>, 01.11.2017

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gamze ARABACI  
Doğum Yeri ve Tarihi : BERGAMA 04.11.1992  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : 0530 340 90 35 /gamze arabacii@gmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise :Bergama Cumhuriyet Lisesi, (2006-2010)  
Lisans :Afyon Kocatepe Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, (2010-2014)  
Yüksek Lisans :Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, (2015-2018)  
Yüksek Lisans :Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Güvenliği Anabilim Dalı, (2017-Devam Ediyor)

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Eti Maden İşletmeleri Kırka Bor İşletme Müdürlüğü(Stajyer) : 2012(1 ay)  
PETKİM Petrokimya Holding A.Ş.(Stajyer) : 2013(1 ay)  
Bergama Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi(Kimya Öğretmenliği): 2015(6 ay)  
ORPİR Pirina ve Rafine Sanayi ve Ticaret A.Ş.  
(AR-GE Sorumlusu) : 2016(6 ay)  
Leyal-Demtaş Gemi Söküm Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi : 2016- Devam  
(Kimya Mühendisi) Ediyor

### Diğer konular

İlkyardımcı Sertifikası : 11/2017  
Gazdan Arındırma ve Gaz Ölçüm Teknikleri Türk Loydu : 04/2017  
Temel Yangın Eğitim İzmir İtfaiye Dairesi Başkanlığı : 01/2017  
Tehlikeli Madde Güvenlik Danışmanlığı Ulaştırma Bakanlığı : 01/2017