



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KİMYA ANABİLİM DALI

**BİYOKÜTLEYE UYGULANAN ÖN İŞLEMLERİN PİROLİZ
ÜRÜNLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şenol ALAYONT

DANIŞMAN

Doç. Dr. Didem BALUN KAYAN

AKSARAY, 2019



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KİMYA ANABİLİM DALI

**BİYOKÜTLEYE UYGULANAN ÖN İŞLEMLERİN PİROLİZ
ÜRÜNLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şenol ALAYONT

DANIŞMAN

Doç. Dr. Didem BALUN KAYAN

AKSARAY, 2019

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 152305404 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi, **Şenol ALAYONT** tarafından hazırlanan “**BİYOKÜTLEYE UYGULANAN ÖN İŞLEMLERİN PİROLİZ ÜRÜNLERİ ÜZERİNE ETKİSİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ / OY ÇOKLUĞU ile Kimya Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir

Danışman: Doç. Dr. Didem BALUN KAYAN

Aksaray Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum. .

Üye: Unvanı Adı SOYADI

Üniversite Adı

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Üye: Unvanı Adı SOYADI

Üniversite Adı

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/onaylamıyorum.

Tez Savunma Tarihi:/...../.....

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖNSÖZ

Enerji, yaşamsal faaliyetleri gerçekleştirmek ve yaşamı sürdürmek için insan hayatının her bölümünde gereklidir. Enerji üzerine kurulu olan doğa kanunları, enerjinin olmazsa olmazlığını bize en iyi şekilde göstermektedir. Yaşamsal faaliyetleri gerçekleştirmek dışında, günlük hayatı kolaylaştırmak gibi ihtiyaçlar sonucunda enerji önem kazanmış ve enerji elde etme arayışları başlamıştır. Sanayileşme arttıkça ve modern hayata geçildikçe enerji ihtiyacı ilk olarak fosil yakıtlardan karşılanmıştır. Kömür, doğalgaz, petrol gibi fosil yakıtlar dünya coğrafyası üzerinde farklı dağılımlarda bulunduklarından ve kısmen yeterli olduklarından enerji ihtiyacına kesin bir çözüm getirememektedirler. Ayrıca bu enerji kaynakları hem bitme tehlikesiyle karşı karşıya olduğundan, hem de çevreye büyük zarar verdiğinden insan hayatı için tehdit oluşturmaktadırlar. Enerjinin, gerek dünya coğrafyası üzerinde eşit bulunmamasından, gerekse daha temiz ve uygun maliyetli üretimine ihtiyaç duyulduğundan, yeni enerji kaynakları arayışları başlamıştır. Bu ihtiyaçlar neticesinde fosil kaynaklar yerine kullanılabilecek alternatif enerji kaynakları keşfedilmiştir. Bu alternatif enerji kaynakları, yenilenebilir enerji kaynakları olarak da adlandırılmaktadır. Rüzgâr, güneş, jeotermal, hidrolik hidrojen ve biyokütle enerjileri yenilenebilir enerji kaynaklarındandır. Bahsedilen enerji kaynaklarının doğal ortamdan tedarik edilebilmesi, tükenme riskinin olmaması, ekosistemi bozmaması, çevre ve insan sağlığına karşı bir tehdit oluşturmaması ve üretim maliyetlerinin uygun olması gibi sebeplerden dolayı son yıllardaki çalışmaların konusu haline gelmiştir.

Yapılan bu tez çalışmasında, biyokütleden piroliz işlemiyle biyoyakıtlarda kullanılabilen biyoyağ eldesinde çeşitli ön işlemlerin piroliz ürünlerine etkisi incelenmiştir. Yeryüzünde yetişen birçok bitki, madde veya atık, biyokütle haline getirilip, piroliz işlemine tabi tutularak çeşitli niteliklerde biyoyağ üretilmektedir. Özellikle bitki yetiştirilmesi güneş var olduğu sürece mümkün olacağı için, biyokütlenin tükenmez bir enerji kaynağı olduğu ön görülmektedir.

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinallliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Şenol ALAYONT

TEŞEKKÜR

Lisans ve Lisansüstü eğitimimde bilgi ve birikiminden faydalandığım sayın danışman hocam Doç. Dr. Didem BALUN KAYAN'a teşekkür ve minnetlerimi sunarım. Eş danışmanlığımı üstlenen kıymetli hocam Doç. Dr. Halil DURAK'a emeklerinden ve ilgisinden dolayı teşekkürlerimi sunarım. Öğretim Görevlisi Salih GENEL'e yardımlarından dolayı teşekkürlerimi iletirim. Bana bu çalışmayı yürütecek ortam sağlayan Aksaray Üniversitesi ve Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi kurumlarına teşekkür ederim. Sevgili eşim Esra KULAKSIZ ALAYONT'a gönüllü yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım. 2018 yılında operasyonda şehit olan meslektaşım Ahmet ALTUN'a, tüm şehitlerimize ve ailelerine teşekkürü bir borç bilirim. Van Özel Harekât Şube Müdürlüğüne özel teşekkürlerimi iletirim.

Şenol ALAYONT
AKSARAY, 2019

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
DOĞRULUK BEYANI.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1 Enerji ve Enerji Kaynakları	4
2.1.1 Dünyada enerji.....	4
2.1.2 Türkiye’de enerji.....	9
2.2 Yenilenemeyen Enerji Kaynakları.....	11
2.3 Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	12
2.3.1 Rüzgâr enerjisi kaynağı	13
2.3.2 Güneş enerjisi kaynağı	13
2.3.3 Jeotermal enerji kaynağı	13
2.3.4 Hidrolik enerji kaynağı	13
2.3.5 Hidrojen enerjisi kaynağı	14
2.3.6 Biyokütle enerjisi kaynağı	14
2.4 Biyokütlenin Yapısını Oluşturan Bileşenler.....	16
2.5 Biyokütle Dönüşüm Prosesleri	18
2.5.1 Biyokimyasal prosesler.....	18
2.5.2 Termokimyasal prosesler	19
2.6 Önceki Çalışmalar	25
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
3.1 Materyal.....	31
3.1.1 Piroliz prosesinde kullanılan yabancı hardal bitkisi; Sinapis alba	31
3.2 Yöntem	32
3.2.1 Piroliz prosesi öncesinde biyokütleyle uygulanan analizler	32
3.2.2 Piroliz öncesi biyokütleyle uygulanan ön işlemler	36
3.2.3 Piroliz deneyleri ve deney düzeneği	37
3.2.4 Piroliz prosesi sonucu oluşan ürünlere uygulanan analizler	38
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	40
4.1 Piroliz Denemeleri Sonuçları	41
4.1.1 Sıcaklığın sıvı ürün verimi üzerine etkisi	40
4.1.2 Sıcaklığın katı ürün verimi üzerine etkisi	41
4.1.3 Sıcaklığın sıvı ve gaz ürünler üzerine etkisi	41
4.2 Piroliz Ürünü Olarak Elde Edilen Sıvı ve Katı Ürünlerin Elementel Analiz Sonuçları.....	44
4.3 Piroliz Denemeleri Sonunda Elde Edilen Sıvı Ürünlerin FT-IR Analiz Sonuçları	46
4.4 Piroliz Denemeleri Sonunda Elde Edilen Sıvı Ürünlerin GC-MS Analiz Sonuçları	51
4.5 Piroliz Denemeleri Sonunda Elde Edilen Sıvı Ürünlerin ¹ H NMR Analiz Sonuçları...	53
4.6 Piroliz Denemeleri Sonunda Elde Edilen Sıvı Ürünlerin SEM Analiz Sonuçları.....	58
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	64
KAYNAKLAR.....	66
EKLER.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	80

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BIYOKÜTLEYE UYGULANAN ÖN İŞLEMLERİN PIROLİZ ÜRÜNLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Şenol ALAYONT

Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Didem BALUN KAYAN

İkinci Danışman: Doç. Dr. Halil DURAK

ÖZET

Biyokütle, termokimyasal dönüşüm yöntemleriyle sıvı, katı ve gaz ürünlere dönüştürülmektedir. Termokimyasal dönüşüm yöntemlerinden biri olan piroliz yönteminde, hammadde yüksek sıcaklıkta oksijensiz ortamda parçalanarak yeni ürünlere dönüşmektedir. Bu çalışmada hammadde kaynağı olarak Sinapis alba bitkisi kullanılmıştır. Piroliz prosesi öncesinde hammaddeye asidik (H_2SO_4 , HCl), bazik (NaOH, KOH) ve hidrotermal (HTL) ön işlemleri uygulanmıştır. Piroliz deneyleri $350^{\circ}C$, $450^{\circ}C$ ve $550^{\circ}C$ sıcaklıklarda yürütülmüştür. Bir tanesi işlem görmemiş, beş tanesi işlem görmüş olmak üzere toplam altı farklı numune piroliz edilmiştir. Elde edilen sıvı ve katı ürünler elementel analiz, FT-IR, GC-MS, 1H NMR, SEM analiz yöntemleri ile incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda en yüksek sıvı ürün verimi $350^{\circ}C$ 'ta NaOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütleden %16,65 oranında, en yüksek katı ürün verimi $350^{\circ}C$ 'ta işlem görmemiş hammadde tarafından %31,39 oranında sağlanmıştır. Elementel analiz sonuçlarına göre sıvı ürünlerde en yüksek enerji değeri hammaddede 24,039 MJ/kg, katı ürünlerde en yüksek enerji değeri NaOH çözeltisiyle muamele edilmiş biyoküttele 28,061 MJ/kg olarak bulunmuştur. GC-MS sonuçlarına göre elde edilen sıvı ürünler içerisinde genel olarak aromatik, alifatik ve oksijenli bileşiklerin bulunduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sinapis alba, Piroliz, Biyoyağ, Biyoçar, Ön işlemler.

Mayıs, 2019; 80 sayfa

M.Sc. THESIS

THE EFFECTS ON PYROLYSIS PRODUCTS OF THE PRE-TREATMENTS APPLIED TO BIOMASS

Şenol ALAYONT

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Chemistry**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Didem BALUN KAYAN
Second Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Halil DURAK**

ABSTRACT

Biomass is converted into liquid, solid and gas products with thermochemical conversion methods. Pyrolysis is one of the thermochemical conversion methods which the raw material is transformed into new products by decomposing in oxygen-free environment at high temperature. In this study, *Sinapis alba* plant was used as a raw material source. Before the pyrolysis process, acidic (H_2SO_4 , HCl), basic ($NaOH$, KOH) and hydrothermal (HTL) pre-treatment processes were applied to raw material. Pyrolysis experiments were carried out at 350°C, 450°C and 550°C. In total, six different samples were pyrolyzed, five of them were pre-treated and the one of them was untreated. The obtained liquid and solid products were analyzed by elemental analysis, FT-IR, GC-MS, 1H NMR, SEM analysis methods. As a result, the highest liquid product yield was observed at 350°C with %16,65 ratio for biomass which pre-treated with $NaOH$ solution and the highest solid product yield at 350°C with %31,39 ratio was seen by raw substance. According to the elemental analysis results, the highest energy value for liquid products was found 24,039 MJ/kg in raw material, and the highest energy value for solid products was found 28,061 MJ/kg in the biomass pre-treated with $NaOH$ solution. The aromatic, aliphatic and oxygenated compounds were detected in the obtained products, according to the GC-MS results.

Keywords: *Sinapis alba*, Pyrolysis, Bio-oil, Biochar, Pre-treatment methods.

May, 2019; 80 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Oluşumlarına göre enerji kaynakları	4
Şekil 2.2. Dünyada birincil enerji tüketiminin kaynaklar arasında dağılımı.	5
Şekil 2.3. Dünyada fosil kaynaklarının rezerv miktarları ve tahmini kalan ömürleri..	6
Şekil 2.4. 2017 yılı Dünya genelinde toplam jeotermal enerji kurulu gücü ve kapasite artışı	7
Şekil 2.5. Dünya genelinde ülkelerin rüzgâr enerjisi kurulu güç kapasiteleri ve elektrik enerjisi üretimi.....	8
Şekil 2.6. 2015 yılı kıtalar arası biyoyakıt üretim miktarları	9
Şekil 2.7. Türkiye’de birincil enerji üretiminin kaynaklar bazındaki dağılımı.....	9
Şekil 2.8. Türkiye’de enerji tüketiminin kaynaklar bazında dağılımı.	10
Şekil 2.9. 2017 yılında Türkiye’nin yenilenebilir enerji kapasitesi	11
Şekil 2.10. Biyokütle enerji akışı.....	15
Şekil 2.11. Selüloz molekülünün yapısı.....	17
Şekil 2.12. Hemiselülozun molekül yapısı	17
Şekil 2.13. Lignin molekülünün yapısı	18
Şekil 2.14. Biyokütle dönüşüm prosesleri.	18
Şekil 3.1. Sinapis alba bitkisi.	31
Şekil 3.2. Sinapis alba bitkisinin FT-IR spektrumu	34
Şekil 3.3. Sinapis alba bitkisinin termogramı	35
Şekil 3.4. Piroliz deney düzeneği.....	38
Şekil 4.1. Sıcaklığın sıvı ürün verimi üzerine etkisi.	40
Şekil 4.2. Sıcaklığın katı ürün verimi üzerine etkisi.....	41
Şekil 4.3. Sıcaklığın sıvı ve gaz ürün oluşumuna etkisi	42
Şekil 4.4. 550°C’ta piroliz işlemi görmüş hammaddenin FT-IR spektrumu.	46
Şekil 4.5. HTL yöntemle ön işleme tabi tutulmuş maddenin 550°C’ta piroliz işleminden sonra elde edilen ürünün FT-IR spektrumu.	47
Şekil 4.6. H ₂ SO ₄ çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş maddenin 550°C’ta piroliz işleminden sonra elde edilen ürünün FT-IR spektrumu	48
Şekil 4.7. HCl çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş maddenin 550°C’ta piroliz işleminden sonra elde edilen ürünün FT-IR spektrumu.	49
Şekil 4.8. NaOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş maddenin 550°C’ta piroliz işleminden sonra elde edilen ürünün FT-IR spektrumu	50
Şekil 4.9. KOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş maddenin 550°C’ta piroliz işleminden sonra elde edilen ürünün FT-IR spektrumu.	51
Şekil 4.10. 550°C’ta piroliz işlemi görmüş hammaddenin ¹ H NMR spektrumu.....	53
Şekil 4.11. HTL yöntemle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C’ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen ürünün ¹ H NMR spektrumu.	54
Şekil 4.12. H ₂ SO ₄ çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C’ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen ürünün ¹ H NMR spektrumu.	55
Şekil 4.13. HCl çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C’ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen ürünün ¹ H NMR spektrumu	56
Şekil 4.14. NaOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C’ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen ürünün ¹ H NMR spektrumu	57
Şekil 4.15. KOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C’ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen ürünün ¹ H NMR spektrumu	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 4.16. Piroliz işlemi görmemiş hammaddenin farklı büyütme oranlarında kaydedilen SEM görüntüleri	59
Şekil 4.17. 550°C'ta piroliz işlemi görmüş hammaddenin farklı büyütme oranlarında kaydedilen SEM görüntüleri	59
Şekil 4.18. Hidrotermal yöntemle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C'ta piroliz işleminden sonra elde edilen biyoçarın farklı büyütme oranlarında kaydedilen SEM görüntüleri	60
Şekil 4.19. H ₂ SO ₄ çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C'ta piroliz işleminden sonra elde edilen biyoçarın farklı büyütme oranlarında kaydedilen SEM görüntüleri	60
Şekil 4.20. HCl çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C'ta piroliz işleminden sonra elde edilen biyoçarın farklı büyütme oranlarında kaydedilen SEM görüntüleri.	61
Şekil 4.21. NaOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C'ta piroliz işleminden sonra elde edilen biyoçarın farklı büyütme oranlarında kaydedilen SEM görüntüleri.	61
Şekil 4.22. KOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C'ta piroliz işleminden sonra elde edilen biyoçarın farklı büyütme oranlarında kaydedilen SEM görüntüleri	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Ülkelerin 2017 yılı yenilenebilir elektrik güç kapasiteleri (GW).....	6
Çizelge 2.2. 2017 yılında hidrolik enerjinin dünyadaki durumu	7
Çizelge 2.3. 2015 ve 2017 yıllarında dünya genelinde güneş enerjisi sistemlerinin üretimi.....	8
Çizelge 2.4. Farklı sıcaklıklarda meydana gelen piroliz işlemi sonucunda gerçekleşen olaylar ve elde edilen ürünler.....	21
Çizelge 2.5. Farklı piroliz yöntemleri ve özellikleri	24
Çizelge 3.1. Sinapis alba bitkisinin temel bileşenleri	34
Çizelge 4.1. Tüm piroliz işlemlerinin ürün verimleri ve dönüşüm oranı değerleri ...	43
Çizelge 4.2. Biyokütle olarak hammaddenin, 550°C'ta işlem görmüş biyokütlenin ve diğer yöntemlerle ön işleme tabi tutulmuş 550°C'ta piroliz edilen biyokütleden elde edilen sıvı ürünlerin elementel analiz sonuçları ve enerji değerleri	44
Çizelge 4.3. Hammaddenin, 550°C'ta işlem görmüş biyokütlenin ve diğer yöntemlerle ön işleme tabi tutularak piroliz edilen biyokütleden elde edilen katı ürünlerin elementel analiz sonuçları ve enerji değerleri	45
Çizelge 4.4. Biyokütlenin 550°C'ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen sıvı ürünlerin GC-MS analiz sonuçları	52

SİMGELER VE KISALTMALAR

FT-IR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
GC-MS	Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi
Gw	Giga watt
Gwh	Giga watt saat
HCl	Hidroklorik asit
H-NMR	Proton Nükleer Manyetik Rezonans
H₂SO₄	Sülfürik asit
HTL	Hidrotermal
KOH	Potasyum hidroksit
Kwh	Kilo watt saat
M	Molar
Mj/kg	Mega joule/kilogram
Mtep	Milyon ton eşdeğer petrol
Mw	Mega watt
Mwt	Mega watt termal
NaOH	Sodyum Hidroksit
Ppm	Milyonda bir kısım
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
TEP	Ton eşdeğer petrol
TGA	Termogravimetrik Analiz
Tw/h	Tera watt saat
WWEA	Dünya Rüzgâr Enerji Kurumu
(XRD)	X-ışını kırınımı

1. GİRİŞ

Dünyada nüfus ve sanayileşmenin artması sonucu enerjiye olan ihtiyaç giderek büyümektedir. Enerji üretimi, enerji kaynaklarına sahip olma durumu, enerji ihraç edebilme fonksiyonu, enerjiyi doğru kullanabilme veya alternatif enerji kaynakları üretebilme kabiliyeti, bir ülkenin ekonomisi ve kalkınma potansiyeli ile doğrudan orantılıdır. Enerji tüketimiyle sosyal ve ekonomik kalkınma arasında lineer bir ilişki olup ekonomik gelişme ve refah arayışları enerji tüketimini de beraberinde getirmiştir [1].

Günlük yaşantımızda enerji kimyasal, mekanik, nükleer, termal, jeotermal, hidrolik, güneş, rüzgâr, elektrik enerjisi gibi farklı formlarda bulunabilmekte ve uygun yöntemlerle birbirine dönüştürülebilmektedir. Ekonomik anlamda, farklı yöntemlerle enerjinin elde edildiği kaynaklara enerji kaynakları adı verilmektedir. Kullanılışlarına göre yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları olarak sınıflandırılan enerji kaynakları, dönüştürülebilirliklerine göre ise birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak sınıflandırılmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynakları genellikle fosil kaynaklı olup yakın gelecekte tükeneceği öngörülen kaynaklardır. Enerjinin herhangi bir değişime ve dönüşüme uğramamış hali birincil (primer) enerji olarak adlandırılır. Petrol, kömür, doğal gaz, nükleer, hidrolik, biyokütle, dalga, gelgit, güneş ve rüzgâr enerjileri birincil enerjilere örnek verilebilir. Dünyada kullanılmakta olan enerjinin çoğu birincil enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Yapılan araştırmalar sonucunda, dünyada birincil enerji kullanım miktarı 13,147 milyon ton eşdeğer petrol olarak belirlenmiştir. Birincil enerji kullanımında en büyük paya sahip olan kaynaklar sırasıyla; petrol (%32,9), kömür (%29,2) ve doğal gazdır (%23,9). Birincil enerjilerin dönüştürülmesi sonucu elde edilen enerjilere ikincil (sekonder) enerjiler denir. Elektrik, benzin, mazot, motorin, kok kömürü, kömür, petrokok, hava gazı ve sıvılaştırılmış petrol gazı ikincil enerji kaynaklarına örnektir [2].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının yenilenemeyen enerji kaynaklarının aksine oldukça uzun sayılabilecek bir gelecekte tükenmeden sürdürülebilecekleri ve kendilerini yenileyebilecekleri düşünülmektedir. Dünyada yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları; hidrolik enerji, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisidir. Araştırmalar sonucunda ülkemizin yenilenebilir enerji üretiminin

kaynaklarının ve yüzde miktarlarının sırasıyla; baraj (%56,8), deniz, göl ve akarsu (%23,5), rüzgâr (%13,9), jeotermal (%4,1), biyokütle (%1,5) ve güneş (%0,2) olduğu düşünülmektedir [3].

Sürdürülebilir bir kalkınma için enerji kaynaklarının planlı bir şekilde kullanımının sağlanması ve yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanılması gerekmektedir. Bu yüzden, tükenme tehlikesiyle karşı karşıya olan birincil enerji kaynaklarının kullanımının düzenlenmesi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimi ve kullanımının geliştirilerek modern ve ekonomik dünya şartlarına adapte edilmesi ülkelerin ve dolayısıyla dünyanın refahı için önemlidir.

Türkiye enerjide dışa bağımlı bir ülke olup, enerji ihtiyacının yarıdan fazlasını ithal etmekte ve bu da ülke ekonomisini olumsuz etkilemektedir. Ülkenin sahip olduğu fosil kaynaklar, enerji ihtiyacını karşılayacak düzeyde olmadığından enerji üretimi için farklı alternatifler düşünülmektedir. Bu alternatifler yenilenebilir enerji kaynakları olup gerek ülkemizin coğrafi konumu açısından gerekse çevre dostu proseslere sahip olması bakımından enerji üretimini avantajlı hale getirmektedirler.

Ülkemizin, enerji temininde kullanılan fosil yakıt kaynakları açısından zengin olmaması, Türkiye'nin enerji temininde öncelikle yerli olarak bulunabilir kaynakları kullanması gerçeğini göz önüne sermektedir. Bu açıdan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı oldukça önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan biyokütle; çevre kirliliğine yol açmaması, yerel olarak bulunabilmesi ve sürekli temin edilebilmesi gibi birçok avantajlara sahiptir.

Biyokütle bakımından ülkemiz oldukça zengin olup bu kaynağın geliştirilmesi açısından da yeterli olanaklara ve çevresel koşullara sahip olduğu düşünülmektedir. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının yarattığı çevre kirliliği; yenilenebilir enerji kaynaklarının ve teknolojilerinin geliştirilmesini zorunlu hale getirmektedir. Sanayileşmiş ülkelerde fosil kaynakların yerine yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının kullanımı, etkin bir şekilde hayata geçirilmeye başlanmıştır. Temiz, evsel ve yenilenebilir enerji kaynakları sadece Türkiye için değil, tüm dünya için gelecek vaat etmektedir [4].

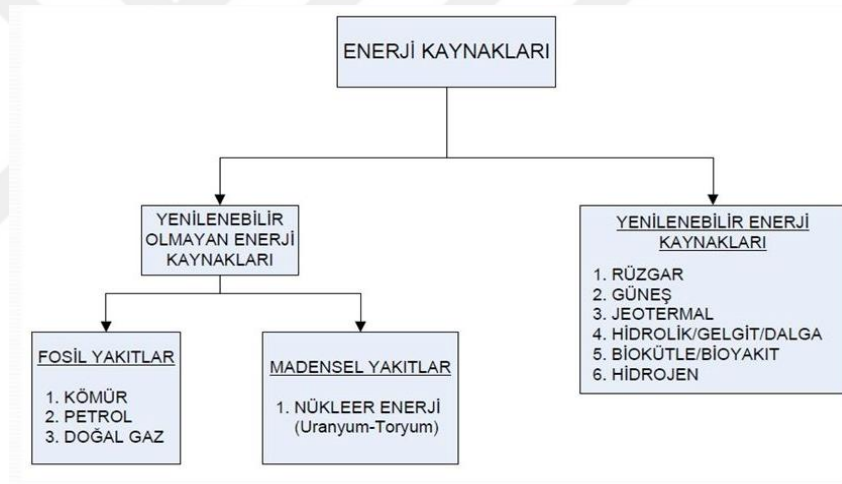
Bu tez çalışmasında enerjinin, sosyal ve ekonomik kalkınmanın en temel girdilerinden biri olduğu göz önünde bulundurularak sürdürülebilir bir kalkınma için enerji kaynaklarının planlı bir şekilde kullanımının sağlanması ve yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanılması amacıyla, diğer yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde daha avantajlı olan biyokütle üzerinde çalışılmıştır. Biyokütle olarak Sinapis alba bitkisi kullanılmış, farklı sıcaklıklarda piroliz işlemi gerçekleştirilmiştir. Piroliz prosesi, biyokütlenin oksijensiz ortamda yakılarak biyokütlerde bulunan organik moleküllerdeki kimyasal bağların termal olarak bozunmasıyla enerjisi daha yüksek yeni ürünler elde etmeyi amaçlayan bir prosesdir. Piroliz prosesi öncesinde hammaddeye çeşitli ön işlemler uygulanarak optimum şartlarda biyoyakıt eldesi hedeflenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Enerji ve Enerji Kaynakları

Türkçesi “erke” olan enerji, en basit anlamıyla hareket ettirici güç demektir. Bunu, iş yapma anlamında da düşünmek mümkündür. Fiziksel olarak yapılan tanıma göre ise herhangi bir hareketi yapan veya yapmaya hazır olan kabiliyete enerji denir. Bir sistemin enerjisini, o sistemin yapabileceği azami iş belirler.

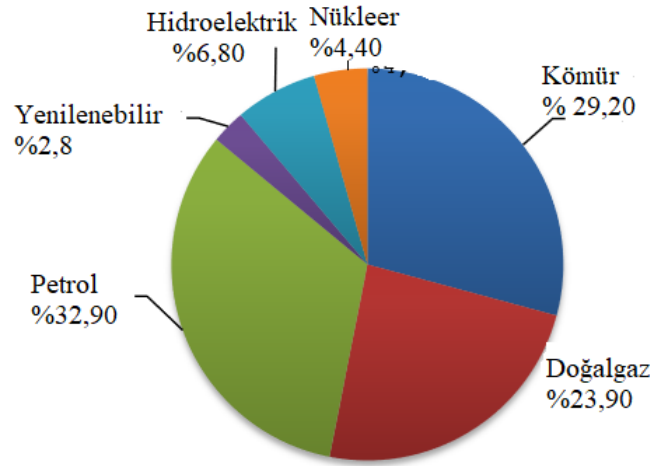
Günlük yaşantımızın her anında ihtiyacımız olan enerjiyi bize enerji kaynakları sağlar. Enerji kaynakları, herhangi bir yolla enerji üretilmesini sağlayan membalardır. Dünya üzerindeki enerji kaynakları, oluşumlarına bağlı olarak yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları olmak üzere ikiye ayrılırlar. Şekil 2.1’de oluşumlarına göre enerji kaynakları gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Oluşumlarına göre enerji kaynakları.

2.1.1 Dünyada enerji

Dünyada kullanılmakta olan enerjinin çoğu birincil enerji kaynaklarından elde edilmektedir. 2016 yılında yapılan çalışmalara göre; dünyada tüketilen toplam birincil enerji kaynakları 13,147 milyon ton eşdeğer petrol olup, tüketilen enerjinin kaynaklara göre sıralaması petrol (%32,9), kömür (%29,2), doğal gaz (%23,9), hidroelektrik (%6,8), nükleer (%4,4) ve yenilenebilir enerji kaynakları (%2,8) şeklindedir. Şekil 2.2’de dünyada birincil enerji tüketiminin kaynaklar arasında dağılımı gösterilmektedir [5].



Şekil 2.2. Dünyada birincil enerji tüketiminin kaynaklar arasında dağılımı [5].

2.1.1.1 Dünyada yenilenemeyen enerji kaynaklarının durumu

En önemli yenilenemeyen enerji kaynakları; petrol, kömür, doğal gaz ve nükleer enerji olup bu kaynaklar dünya enerji üretiminin büyük bir kısmını oluşturmaktadırlar. Bununla beraber fosil kaynaklı bu rezervler giderek azalmakta, özellikle de petrol ve doğal gaz rezervleri kritik seviyelere ulaşmaktadır.

2017 yılı itibariyle dünya kömür rezervlerinin, yıllık üretim bakımından 114 yıl boyunca tüketimi karşılayacak olup diğer fosil kaynaklı yakıtlar arasında en çok rezerv üretim miktarına sahip olduğu bildirilmektedir [6].

Dünyadaki 2017 yılı petrol rezervlerinin ise toplamda 1,7 trilyon varil civarında olduğu açıklanmıştır. Bu miktarın yaklaşık 51 yıllık tüketim için yeterli gelebileceği belirtilmektedir. Dünya petrol rezervi 2016 yılında 1,655 trilyon varil iken, 2017 yılında 1,696 trilyon varil miktarına yükselmiştir [7].

Dünya doğalgaz rezervi kıyaslaması yapıldığında ise 2016 yılı sonunda 186,9 trilyon m³ olarak hesaplanırken, 2017 yılında bu üretim miktarı 193,5 trilyon m³ olarak büyük bir artış göstermektedir. Bu miktarın dünya bakımından, 53 yıla yakın bir süre içerisinde tükenebileceği öngörülmüştür. Şekil 2.3'te dünyada fosil kaynaklarının rezerv miktarları ve tahmini kalan ömürleri gösterilmektedir [8].



Şekil 2.3. Dünyada fosil kaynaklarının rezerv miktarları ve tahmini kalan ömürleri [8].

2.1.1.2 Dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarının durumu

Dünyada yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları; hidrolik enerji, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisidir. 2017 yılı sonunda yapılan araştırmalara göre ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik güç kapasiteleri Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Ülkelerin 2017 yılı yenilenebilir elektrik güç kapasiteleri (Gw) [9].

Enerji Kaynakları	Çin	ABD	Hindistan	Almanya	Türkiye	Avrupa	Dünya
Hidrolik	313	80	47	5,6	27,2	127	1114
Rüzgâr	188	89	33	56	6,8	169	539
Biyoenjerji	15	16,7	9,5	8	0,63	40	122
Güneş PV	131	51	18,3	42	3,42	108	442
Güneş Termal	0	1,7	0,2	0	0	2,3	4,9
Jeotermal	0	3,6	0	0	1,06	0,9	13,5
Toplam	647	242	108	111,6	39,11	447,2	2235,4

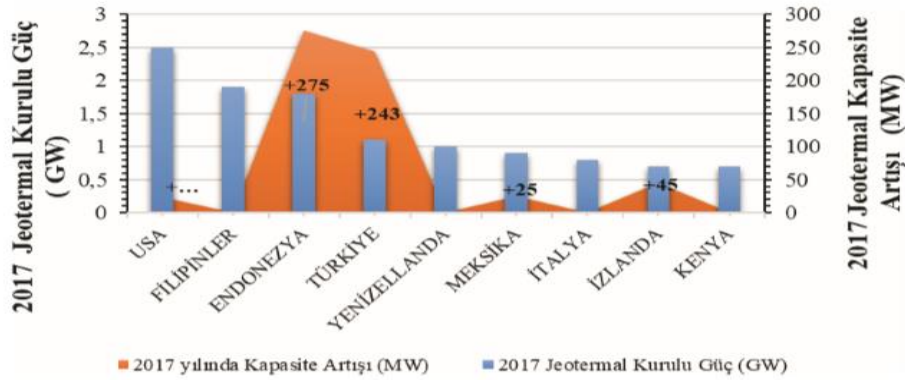
Bu hesaplanmış verilere göre yenilenebilir elektrik güç kapasitesi bakımından Çin, yenilenebilir enerjiden en çok faydalanan ülke olmuştur (647 Gw) [9].

Bir diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından olan hidrolik enerji engebeli araziler ve sulak bölgeler üzerinde oluşturulan barajlar sayesinde biriken suyun akış hızı ile elde edilen enerjinin elektrik enerjisine dönüşümü ile elde edilmektedir. Çizelge 2.2’de 2017 yılında hidrolik enerjinin dünyadaki durumu belirtilmiştir [10].

Çizelge: 2.2. 2017 yılında hidrolik enerjinin dünyadaki durumu [10].

Ülke	Toplam Kapasite (2016) (MW)	Toplam Kapasite (2017) (MW)	2016-2017 Kapasite Artışı (MW)	Elektrik Enerji Üretimi (2016) (TWh)	Elektrik Enerji Üretimi (2017) (TWh)
Çin	331.110	341.190	9.120	1.180,70	1.1974,50
ABD	102.485	102.867	283	266,3	322,39
Brezilya	98.015	100.273	3.376	410,24	430,4
Kanada	79.323	80.985	139	379,63	403,35
Hindistan	51.975	51.975	1.908	120,51	135,54
Rusya	48.086	48.450	364	178,1	178,95
Türkiye	26.249	27.273	592	67,03	17,03
Dünya Toplam	1.096.500	1.266,96	15.782	4.102,05	4.185,00

Jeotermal enerji; yeraltı ortamında depolanan, sıcak bölgelerden yeryüzüne doğru aktarılan yer kürenin iç ısıdır (enerjisidir). Dünya genelinde toplam jeotermal enerji üretimi 13,536,1 MWe'tir. Şekil 2.4'te 2017 yılı dünya genelinde toplam jeotermal enerji kurulu gücü ve kapasite artışı gösterilmektedir [11].



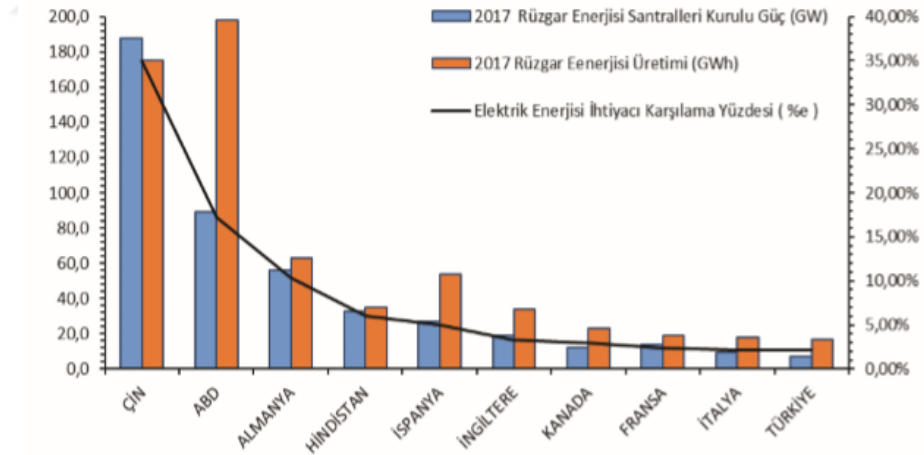
Şekil 2.4. 2017 yılı Dünya genelinde toplam jeotermal enerji kurulu gücü ve kapasite artışı [11].

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon tepkimeleri sonucu açığa çıkan ısıma enerjisi olup genel anlamda tüm enerji kaynaklarının kökenidir. 2015 ve 2017 yıllarında, fotovoltaik ve güneş enerjisi sistemlerinin dünya genelinde üretim kapasiteleri Çizelge 2.3'te belirtilmiştir [9].

Çizelge 2.3. 2015 ve 2017 yıllarında dünya genelinde güneş enerjisi sistemlerinin üretimi [9].

Ülke	Güneş Fotovoltaik Sis. Kurulu Güç (2015) (MW)	Güneş Fotovoltaik Sis. Kurulu Güç (2017) (MW)	Toplam Elektrik Üretimi (2015) (GWh)	Toplam Elektrik Üretimi (2017) (GWh)
Çin	43.050	131.000	25.007	108.200
ABD	25.540	51.000	24.603	77.965
Almanya	39.634	42.394	36.056	39.996
Japonya	33.300	49.000	26.534	62.343
İtalya	18.910	18.910	22.319	25.215
Fransa	6.549	6.549	5.909	9.245
Türkiye	249	3.400	17	2.720
Dünya	222.360	399.613	223.948	442.600

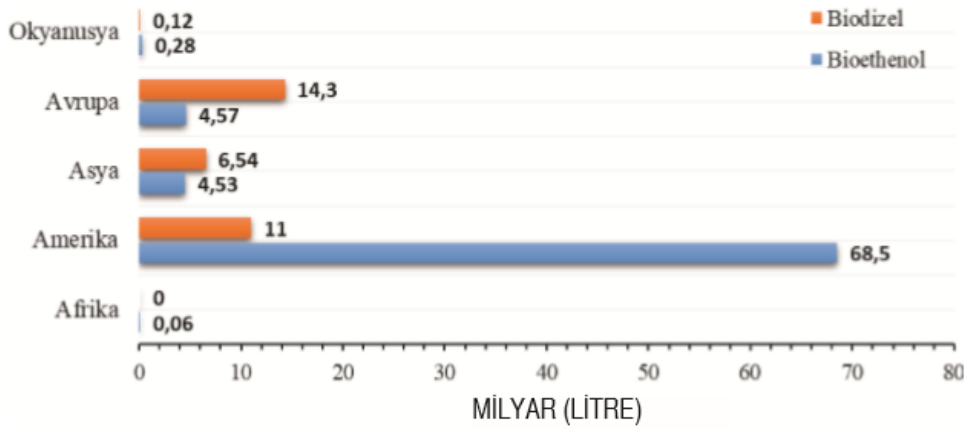
En önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan rüzgâr enerjisi, havadaki çeşitli sıcaklık ve basınç değişikliklerinden kaynaklanan hava hareketlerinin yüksek basınçtan alçak basınca doğru ilerlemesinden kaynaklanmaktadır. Dünya Rüzgâr Enerji Kurumunun (WWEA) raporuna göre dünyadaki toplam rüzgâr enerji santrallerinin kurulu güç miktarı 539 Gw'tır. Dünya genelinde ülkelerin rüzgâr enerjisi kurulu güç kapasiteleri ve elektrik enerjisi üretimi Şekil 2.5'te gösterilmiştir [12].



Şekil 2.5. Dünya genelinde ülkelerin rüzgâr enerjisi kurulu güç kapasiteleri ve elektrik enerjisi üretimi [12].

İçerisinde karbohidratlı bileşikler bulunduran bitkisel ve hayvansal kökenli tüm maddeler biyokütle enerji kaynağıdır. Bu enerji kaynaklarından yakıt çeşitleri olarak biyoetanol, biyodizel ve biyogaz elde edilmektedir ve bunlar, çeşitli ülkelerde ısınma, sanayi, ulaşım ve endüstri gibi alanlarda kullanılmaktadırlar. Biyokütleden sağlanan biyoenerji dünya enerji talebinin %10'unu oluşturmaktadır. Şekil 2.6'da 2015 yılında

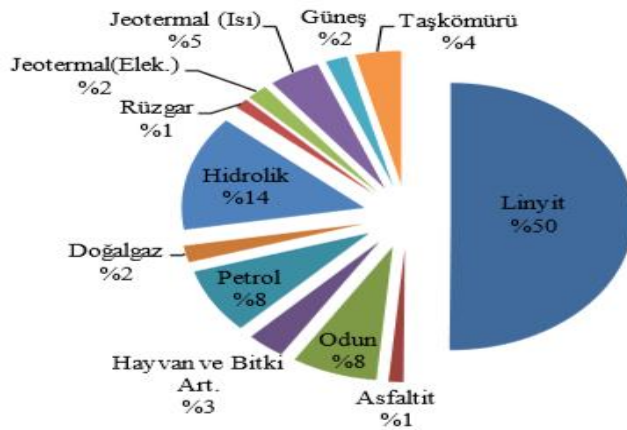
yapılan araştırmaların sonucuna göre kıtalar arası biyoyakıt üretim miktarları belirtilmiştir [13].



şekil 2.6. 2015 yılı kıtalar arası biyoyakıt üretim miktarları [13].

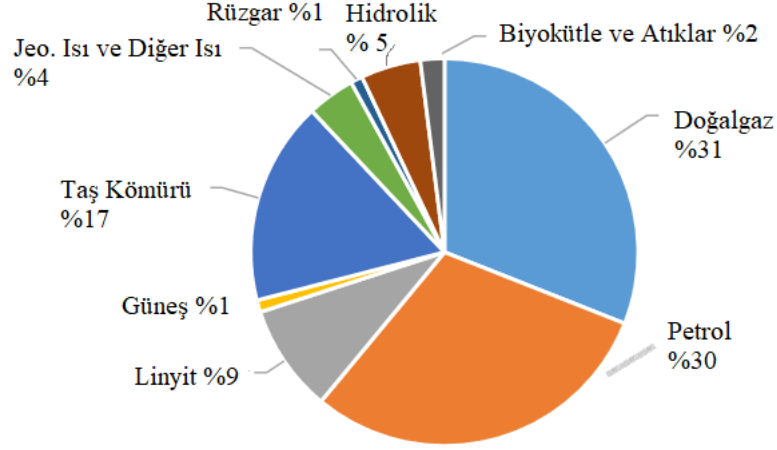
2.1.2 Türkiye’de enerji

Türkiye’de yıllık birincil enerji üretimi 32228,9 bin ton eşdeğer petrol olarak gerçekleştirilmiş olup birincil enerji üretiminin kaynaklar bazındaki dağılımı şekil 2.7’de verilmiştir [10].



şekil 2.7. Türkiye’de birincil enerji üretiminin kaynaklar bazındaki dağılımı [10].

2016 yılı verilerine göre, Türkiye’de tüketilen toplam birincil enerji miktarı 129,27 Mtep olarak belirlenmiştir. Ayrıca  lkemiz, dünyada enerji tüketimi en yüksek 23.  lke konumundadır. Enerji tüketimimizin büyük bir kısmını dışa bağımlı olduğumuz petrol ve doğal gaz oluşturmaktadır [14]. şekil 2.8’de Türkiye’de enerji tüketiminin kaynaklar bazında dağılımı verilmektedir [10].



Şekil 2.8. Türkiye’de enerji tüketiminin kaynaklar bazında dağılımı [10].

2.1.2.1 Türkiye’de yenilenemeyen enerji kaynaklarının durumu

Türkiye taş kömür rezerv miktarı 1.308,5 milyon ton, linyit rezervleri toplam 14.764,9 milyon tondur. Bu miktar ile ülkemizde 20,000 MW gücündeki bir termik santrali besleyecek potansiyelde linyit rezervi bulunmaktadır.

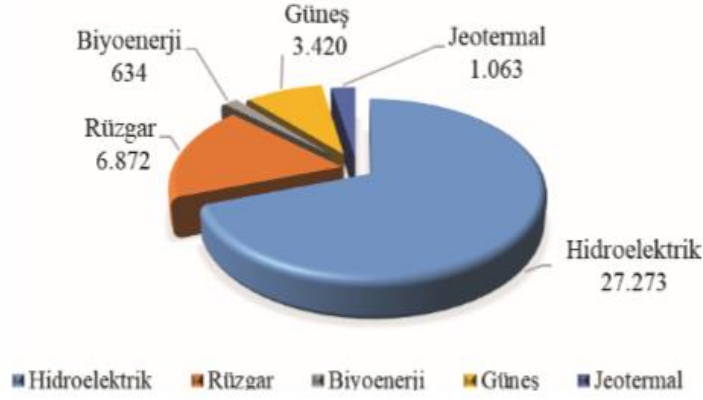
Ülkemizde 2016 yılı için ham petrol üretimi 2,5 milyon ton olup, ham petrol rezerv miktarımız 7,167 milyar varil olarak tespit edilmiştir.

Türkiye doğalgaz istatistikleri incelendiğinde, 2014 yılı enerji verilerinde doğalgaz üretimi 502 milyon m³ iken, 2015 yılında 399 milyon m³ olduğu belirlenmiştir [15].

2.1.2.2 Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklarının durumu

2017 yılı sonu raporlarına göre Türkiye’nin yenilenebilir enerji toplam kurulu gücünün 39,11 Gw olduğu açıklanarak elektrik üretiminin toplamına bakıldığında, üretimin %32’sinin yenilenebilir kaynaklar ile sağlandığı belirtilmiştir [16].

Ülkemizde geçmiş 15 yıl incelendiğinde yenilenebilir enerji sektöründe önemli gelişmeler gerçekleştirilmiştir. 2017 yılı içerisinde güneş, rüzgâr, hidrolik ve geri kalan yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan işletmedeki santrallerin kurulu gücünde meydana gelen artış 2.128 MW olarak hesaplanmıştır. Şekil 2.9’da 2017 yılında Türkiye’nin yenilebilir enerji kapasitesi belirtilmiştir [17].



Şekil 2.9. 2017 yılında Türkiye'nin yenilenebilir enerji kapasitesi [17].

Ülkemizde de hidrolik enerji kurulu kapasitesi diğer yenilenebilir kaynaklara göre oldukça fazla olmakla birlikte, elektrik enerjisi üretiminde yenilenebilir kaynakları kullanmada 10. sırada yer almaktadır [18].

Enerji kaynağı olarak biyogaz üretimine bakıldığında, Türkiye'de 40 işletmede 256 MW metan gazı olarak yenilenebilir enerji üretilmektedir. Kentsel atıklardan üretilen ve dönüştürülen biyogaz, fosil yakıtların yerini alması ve böylece şehirlerdeki atık sorunlarının giderilmesi açısından avantajlı ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak görülmektedir [19].

Türkiye coğrafi konumundan dolayı güneşlenme bakımından önemli potansiyele sahip olan ülkelerdendir. Türkiye'nin güneşlenme süreleri yıl içinde farklılıklar gösterse de yıl boyunca yaklaşık 2,738 saat güneşlenme süresine sahiptir [7].

Ülkemizde rüzgâr enerjisi santrallerinden elde edilen elektrik enerjisi miktarının 17,909 Gwh olduğu hesaplanmıştır [20].

2.2 Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

Yenilenemeyen enerji kaynakları, sürekli olarak sürdürülemeyen kaynaklar olmakla birlikte rezervlerin keşifleriyle çoğaltılmalarına rağmen bir gün mutlaka tükenecek olan kaynaklardır. Bu kaynaklar, bitki ve hayvanlarca oluşturulan atıkların uzun yıllar süren kimyasal dönüşümlerinin kükürtlü azotlu ve karbonlu bileşikler formuna ulaşmasıyla gerçekleşmektedir. Günümüzden 100 ile 300 milyon yıl önceki jeolojik devirlerde kömür, yüksek sıcaklık ve basınç altında bitki ve hayvan kalıntılarının fosilleşmesi bir diğer anlamda bozunması işlemi sonucunda meydana gelmiştir. Bu

fosilleşmiş atıklar hidrojen, oksijen, kükürt, azot ve bu bileşiklere oranla daha fazla karbon ihtiva ederler.

Jeolojik devirde petrol oluşumlarına, kömür oluşumlarından daha sonra rastlanmıştır. Sıcaklık, basınç ve mikroorganizmaların bulunduğu bir habitatta, sucul ortamdaki bitki ve hayvan kalıntılarının anaerobik olarak parçalanması sonucunda ham petrol meydana gelmektedir.

Doğal gaz, bitki ve hayvan kalıntılarının kömürleşme evresine geçerken oluşturdukları uçucu gazlardır. Genellikle doğal gaz yatakları petrol rezervlerinin yakınında veya içerisinde bulunmaktadır. Dolayısıyla doğal gaz oluşumu, petrol ve kömür oluşumlarıyla ilgilidir.

Nükleer enerji, atomun çekirdeğinde gerçekleşen reaksiyonlardan elde edilmektedir. Nükleer enerjinin diğer yenilenemeyen enerji kaynaklarına göre avantajı, 1 kg nükleer yakıtın 1 kg kimyasal yakıttan 100 milyon defa daha fazla enerji içermesidir.

Yenilenemeyen enerji kaynaklarının en büyük dezavantajı, karbon dioksit ve karbon monoksit salınımları ile çevresel kirliliğe neden olmalarıdır. Ayrıca yenilenemeyen enerji kaynakları işlem gördüğünde ortama kül, cüruf ve atık radyoaktif madde bırakmaktadırlar [21].

2.3 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Çağımızda her geçen gün artmakta olan enerji ihtiyacını güvenilir, temiz ve kesintisiz bir şekilde temin etme gereksinimi, çalışma alanlarını yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Artan teknolojinin getirdiği imkanlar neticesinde, yenilenebilir enerji kaynakları ile düşük maliyetli, verimli ve sürekli enerji üretimi mümkün hale gelmiştir [22].

Yenilenebilir enerji, doğanın kendi evrimi içinde, bir sonraki gün aynen mevcut kalabilecek enerji kaynağı olarak tanımlanmaktadır. Çevreyi kirleten ve tüketilmesi kaçınılmaz olan birincil enerji kaynaklarının yerini alabilecek, çevre kirliliği oluşturmayan, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları; rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji, hidrojen enerjisi ve biyokütle enerjisi başlıkları altında incelenmektedir [23].

2.3.1 Rüzgâr enerjisi kaynağı

Rüzgâr enerjisi havanın sahip olduğu kinetik enerjisinin türbin kanatlarına aktarılması ve bu enerjinin rotorda oluşturulan manyetik alan yardımıyla elektrik enerjisine çevrilip jeneratör ile şebekeye aktarılması ile oluşmaktadır. Devamlı olarak dışa bağımlı olmadan enerji elde edilebilmesi, dünyanın %95’lik alanında rüzgâr enerjisinin uygulanabilmesi bu sistemin avantajlarından. Rüzgâr enerjisi sistemlerinin dezavantajları ise yakın çevresine verdiği gürültü, kuşlar için tehlikeli olması, estetik olarak göze hoş gelmemesi, televizyon ve radyo yayınlarıyla etkileşime girebilmeleri şeklinde sıralanabilir [24].

2.3.2 Güneş enerjisi kaynağı

Güneş çekirdeğindeki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklinde tanımlayabileceğimiz füzyon süreci sonucunda açığa çıkan ışıma enerjisi, güneş enerjisidir. Güneş enerjisinden, çoğunlukla güneş pilleri aracılığıyla faydalanılmaktadır, dolayısıyla güneş enerjisi günümüzde güneş pilleri anlamına gelmektedir. Günümüzde endüstriyel alanlardan evlerimize kadar birçok alanda kullanılabilen güneş enerjisinin en önemli problemi sistemde kullanılan pillerin maliyetli olmasıdır [25].

2.3.3 Jeotermal enerji kaynağı

Yerkabuğunun derinliklerindeki ısınnın yer altı sularını ısıtması sonucunda ısınan suyun yeryüzüne çıkmasıyla oluşan bir enerji türüdür. Ülkemiz jeotermal enerji potansiyeli açısından dünyada zengin ülkeler arasında yer almaktadır. Jeotermal enerji çevre dostu bir enerji türü olup çok yüksek bir verimliliğe sahiptir. Maliyetinin düşük olması jeotermal enerjinin avantajları arasındadır. Fakat jeotermal kaynakların kullanımı sırasında yapısında bulunan hidrojen sülfür ve karbondioksit gibi gazların atmosfere karışma olasılığı ve az da olsa gürültü kirliliğine neden olması gibi dezavantajları vardır [26].

2.3.4 Hidrolik enerji kaynağı

Hidrolik enerji en yalın haliyle suyun potansiyel enerjisinin kinetik enerjiye dönüştürülmesi ile sağlanan enerji kaynağıdır. Alternatif bir kaynak oluşu, çevreye

zararlı etkilerinin en alt düzeylerde olması, işletme ve bakım masraflarının az olması, ulusal ve güvenilir bir enerji arzı sağlayan bir kaynak olmasından dolayı hidrolik enerji, gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Kurulum işlemlerinin çok uzun sürmesi, yatırım maliyetlerinin çok yüksek olması ve eğer bu hidrolik enerji barajlardan üretilcekse baraj ekosistemini bozma eğiliminde olması hidrolik enerji kaynağının oluşturacağı dezavantajlara verilebilecek örneklerdir [27].

2.3.5 Hidrojen enerjisi kaynağı

Hidrojen, evrendeki en basit ve en çok bulunan elementtir. Hidrojen doğada serbest halde bulunmadığı için doğal bir enerji kaynağı değildir. Hidrojeni enerji kaynağı olarak kullanabilmek için ilk olarak bu gazın açığa çıkarılması gerekmektedir. Hidrojen enerjisi fosil yakıtların termokimyasal dönüşümleriyle, foto-elektrokimyasal yöntemlerle, foto-biyolojik yöntemlerle, sodyum borhidritin kimyasal tepkimeleriyle ve suyun elektrolizi ile üretilmektedir. Her alanda kullanımı temiz ve kolay olan hidrojenin yakıt olarak kullanıldığı enerji sistemlerinde, atmosfere atılan ürünün sadece su veya su buharı olması hidrojenin en büyük avantajlarından. Ancak hidrojenin en saf olarak üretilbildiği elektroliz yöntemiyle hidrojen eldesinde, gerekli aşırı gerilimin yüksek olması yöntemin tek dezavantajıdır [28].

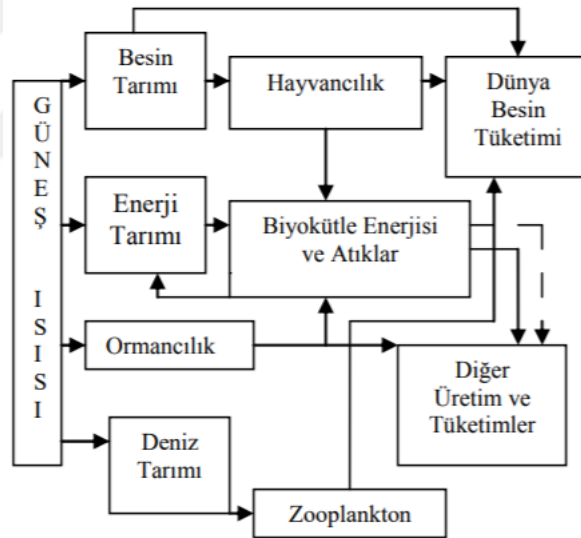
2.3.6 Biyokütle enerjisi kaynağı

İçerisinde karbon ihtiva eden her türlü bitki ve hayvan atıklarından oluşan organik yapıdaki maddelere biyokütle denilmektedir. Bu atıklar bitkisel ve hayvansal olabilmekle birlikte şehir ve endüstri atıkları da olabilmektedirler. Özellikle bitki yetiştirilmesi, güneş var olduğu sürece mümkün olacağı için biyokütlenin tükenmez bir enerji kaynağı olduğu ön görülmektedir. Fotosentez ürünü olan biyokütle yanma tepkimesi sonucunda içerisinde depolanmış güneş enerjisini açığa çıkaracağından her türlü biyokütleden yakılarak enerji üretilbileceği bilinmektedir. Biyokütleden elde edilen yakıtlar çevresel fayda sağlaması nedeniyle günümüz enerji kullanımında fosil yakıtların yerine geçebilecek düzeydedir [29].

Biyokütle atıklarının yakılarak veya farklı işlemlerden geçirilerek kullanılması sonucunda elde edilen enerjiye biyokütle enerjisi denir. Biyokütle maddelerinin yapısında kimyasal enerji olarak depo edilmiş bu enerjinin esas kaynağı güneştir ve

enerji fotosentez ile üretilir. Biyokütle olarak kullanılan maddeler olan yeşil bitkiler, güneş enerjisini soğurabilen tek organizmadır. Bu bitkiler, çevrelerinde bulunan su ve karbon dioksiti alırlar ve yapılarında bulunan klorofil pigmentinin yardımı ile güneş enerjisini kullanarak şeker, nişasta, selüloz, lignin gibi organik maddelere dönüştürürler. Böylece, atmosferde bulunan karbon dioksit, fotosentez yoluyla organik maddelere dönüştürülmüş ve güneş enerjisi biyokütle maddede sabit karbon olarak depolanmış olur.

Güneş enerjisinin biyokütle şeklinde depolanmış enerjiye evrilmesi insan yaşamı için oldukça önemlidir. Canlı organizmaların fotosentez neticesinde oluşması ve tüm canlıların yaşamının güneş enerjisinin depo edildiği oksijene bağımlı olması yenilenebilir enerji kaynaklarından olan biyokütlenin önemini göstermektedir. Bununla bağlantılı olarak güneş ışınının biyokütle enerji akışı ile ilgisi Şekil 2.10'da şematize edilmiştir [30].



Şekil 2.10. Biyokütle enerji akışı [30].

Ayrıca biyokütle enerjisini kimyasal, fiziksel ve biyolojik proseslerden geçirildikten sonra elde etmek mümkündür. Biyokütlenin odunsu ve otsu bitkilerden, endüstriyel ve ormansal atıklardan, yağlı tohum, şekerli, nişastalı ve yüksek nem içeren bitkilerden, deniz ve göllerde bulunan deniz otları ve yosunlarından, saz bitkileri ve mikroorganizmalardan elde edilebilmesi büyük bir avantaj sağlamıştır. Bu biyokütleler bitkisel ve hayvansal olabilmekle birlikte şehir ve endüstri atıkları da

olabilmektedir. Özellikle bitki yetiştirilmesi güneş var olduğu sürece mümkün olacağı için biyokütlenin tükenmez bir enerji kaynağı olduğu ön görülmektedir [31].

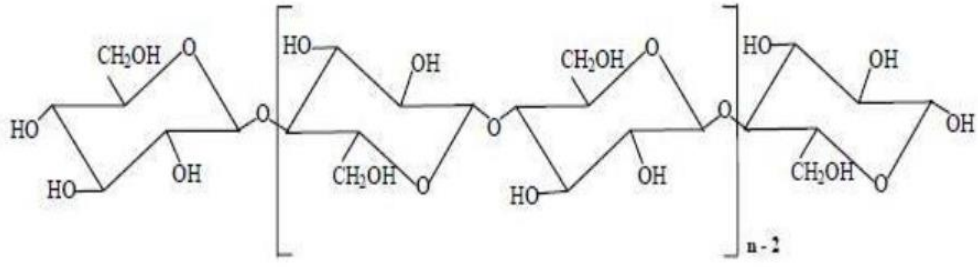
Bitkiler yetiştirme esnasında atmosferdeki karbon dioksiti kullandıklarından yetiştirme ve kullanım miktarları dengelendiğinde biyokütle maddesinin enerji kaynağı olan karbon, nötr olma özelliği gösterir. Böylece biyokütle enerjisi sayesinde tarımsal ve hayvansal atıkların oluşturduğu çevresel kirlilikler azaltılmakta, karbondioksit salınımı düşürülerek iklim değişikliğinin önüne geçilmekte ve biyolojik çeşitliliğin artması sağlanmaktadır [32].

Biyokütle enerjisini elde edebilmek için biyokütle doğrudan yakılmakta veya havasız çürütme, fermentasyon, gazlaştırma, hidroliz, biyofotoliz, esterleşme ve piroliz gibi dönüşüm süreçleri işlemlerine tabi tutulmaktadır [33].

2.4 Biyokütlenin Yapısını Oluşturan Bileşenler

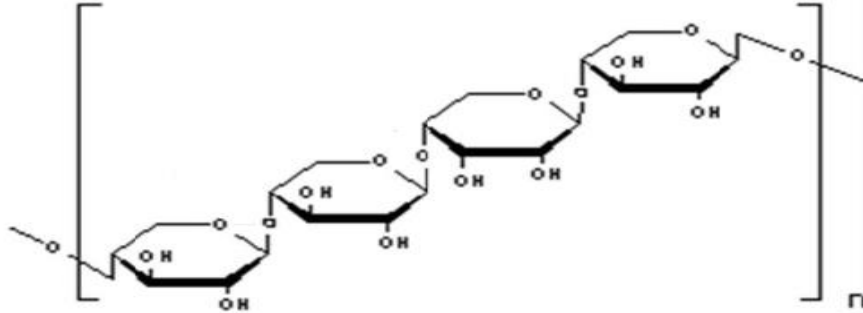
Biyokütleyi hammadde olarak kullanan endüstri dallarında kimyasal içerik %90-99 oranında, selüloz, lignin ve hemiselülozlardan oluşmaktadır. Ayrıca %1-10 oranında inorganik kül ve bazı organik ekstraktif maddelerde bulunmaktadır [34].

Bitki ana hücre çeperinin iskeletini oluşturan selüloz, neredeyse tüm biyokütle maddelerinde %50 oranında bulunmaktadır. Kapalı formülü $(C_6H_{10}O_5)_n$ yapısında olan bir polimerik maddedir. Selüloz zincirleri çok sayıda hidroksil grubu ile diğer selüloz zincirlerine bağlanarak kristal bir yapı oluştururlar. Ayrıca selüloz çok sayıda hidrojen bağı ihtiva ettiğinden seyreltik asit ve alkali çözücülerde çözünmemekte, ancak derişik asit ve derişik alkali çözeltilerde çözünerek hidroliz ürünü olarak glikozu oluşturmaktadır. Selülozun depolimerizasyon reaksiyonlarının 300-450°C arasında gerçekleştiği bilinmektedir. Şekil 2.11’de selüloz molekülünün yapısı gösterilmektedir [35].



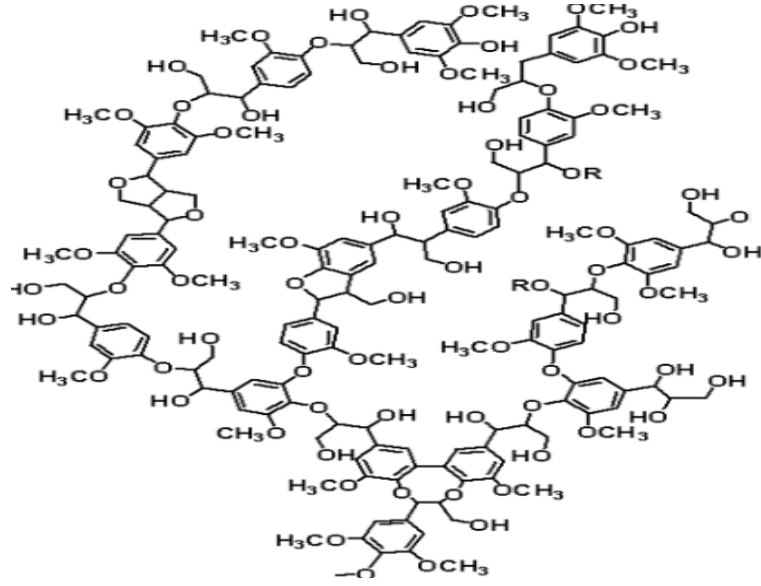
Şekil 2.11. Selüloz molekülünün yapısı [35].

Hemiselüloz, biyokütlerde bulunan hücre duvarındaki selüloz mikrofibrillerini birbirine bağlar. Selüloza kıyasla daha kısa zincirden meydana gelir ve selülozun aksine amorf yapıda bulunmaktadır. Isıl kararlılığı daha düşüktür ve yaklaşık olarak 220°C sıcaklıkta ısıl bozunmaya uğramaktadır. Hemiselülozun seyreltik asit ve seyreltik bazda hidrolize uğradığı bilinmektedir. Şekil 2.12’de hemiselülozun molekül yapısı gösterilmektedir [36].



Şekil 2.12. Hemiselülozun molekül yapısı [36].

Lignin bitkilerde hücre duvarını kuvvetlendirici maddedir. Bileşiğinde metoksil, hidroksil, metilen dioksit, karboksil, vanilin ve doymamış hidrokarbon gruplarını barındıran amorf yapılı lignin, sülfürik asitte çözünmez. Ligninin 300°C sıcaklıkta ısıl bozunması gerçekleşmekte, ısıl bozunma sonucunda selüloz ve hemiselüloza kıyasla daha fazla gazı alınmış katı ve yüksek fraksiyonda aromatik bileşenler verdiği bilinmektedir. Şekil 2.13’te lignin molekülünün yapısı verilmiştir [37].



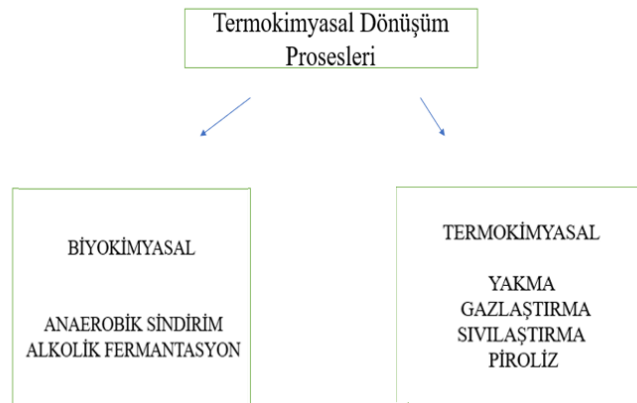
Şekil 2.13. Lignin molekülünün yapısı [37].

2.5 Biyokütle Dönüşüm Prosesleri

Genel olarak her biyokütlenin bir yenilenebilir enerji kaynağı olduğu ve dünya ekonomisine kazandırılacağı düşünülerek biyokütleden yakıt ve kimyasal madde üretimi amaçlanmaktadır. Bu proseslerdeki esas hedef enerji yoğunluğunu artırarak yakıt ve kimyasal madde elde edebilmektir.

2.5.1 Biyokimyasal prosesler

Şekil 2.14’te biyokütle dönüşüm prosesleri gösterilmektedir.



Şekil 2.14. Biyokütle dönüşüm prosesleri

2.5.1.1 Anaerobik sindirim

Anaerobik sindirim prosesi biyokütlenin oksijensiz ortamda bakteriler tarafından %60 oranında metan gazına ve %40 oranında karbondioksit ayrışması işlemidir. Bu işlem özellikle göllerin derinliklerinde ve çöp arıtma tesislerinde gerçekleşmektedir. Üretilen metan ve karbondioksit gazları elektrik üretiminde ve ısınma faaliyetlerinde kullanılmaktadırlar.

2.5.1.2 Alkolik fermantasyon

Alkolik fermantasyon prosesinde özellikle şeker, selüloz, nişasta içerikli biyokütleler kullanılarak bir grup işlemler sonucu fermantasyon yapılmaktadır. Fermantasyon işlemi sonucunda elde edilen alkol motor yakıtı olarak kullanılmaktadır [38].

2.5.2 Termokimyasal prosesler

2.5.2.1 Yakma

Yakma prosesi, en genel tanımıyla biyokütlenin oksijenle tepkimeye girmesidir. Bu tepkime sonucunda biyokütlenin yapısındaki karbon oksitlenerek karbonun karbondioksit, hidrojenin ise suya dönüşmesi beklenir. Bu tepkimede bu dönüşüm ne kadar fazla ise yakma işleminin veriminin o kadar yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Yakma işleminin yüksek verimle gerçekleştirilmesi için biyokütlenin içerisinde bulundurduğu nem miktarının %50 oranını geçmemesi gerekmektedir [39].

2.5.2.2 Gazlaştırma

Gazlaştırma prosesi biyokütlenin yaklaşık olarak 800-900°C'ta ısıtılması sonucunda gaz, katı ve katran maddelerinin elde edilmesi işlemidir. Bu proseste esas amaç karbon ihtiva eden katıların ısıyla bozunması sonucu yanabilir gaz elde edebilmektir [40].

2.5.2.3 Sıvılaştırma

Sıvılaştırma prosesi, biyokütleye düşük veya orta sıcaklıkta ve yüksek basınçta, katalizör varlığında hidrojen gazı ilave edilerek, genel olarak sıvı formda ürün elde etme işlemidir. Sıvılaştırma prosesinin piroliz prosesinden farkı daha yavaş sürede gerçekleşmesi ve reaktör olarak kesikli reaktörün kullanılmasıdır [38].

2.5.2.4 Piroliz

Piroliz biyokütle maddelerinin daha değerli bir yakıta dönüştürülmesi için kullanılan en temel termokimyasal dönüşüm prosesidir. Piroliz prosesi, biyokütlenin oksijensiz ortamda yakılarak biyokütlerde bulunan organik moleküllerdeki kimyasal bağların termal olarak bozunmasıyla yeni ürünler elde etmeyi amaçlayan bir prosestir. Piroliz işlemi sonucunda hidrokarbonca zengin gaz, yağimsı yapıda sıvı ve karbonca zengin katı ürünler elde edilir. Sıvı ürün katran ve bazı diğer organik bileşenleri, gaz ürün ise H_2 , CO , CO_2 , CH_4 , C_2H_4 , C_2H_6 gibi gazları içermektedir. Elde edilen ürünler farklı alanlarda kullanılmaktadırlar. Sıvı ürünlerin motor gibi sistemlerde kullanılabilmesi için farklı işlemlerden de geçmesi gerekmektedir [41].

Piroliz işlemi; ısı kaynağından yayılan ısı sonucu biyokütlenin ısınmasıyla başlar. Uygun sıcaklığa erişildiğinde, birincil piroliz reaksiyonları gerçekleşir ve bu reaksiyonlar sonucu, uçucu gazlar ve gazı alınmış katı oluşur. Bu işlemin devamında sıcak uçucular kendilerine göre daha soğuk olan katı maddeler ile temasa geçer ve pirolize uğramamış daha soğuk katı ile sıcak uçucular arasında ısı aktarımı gerçekleşir. Böylece bazı uçucular biyokütle maddesinin soğuk kısımlarında yoğunlaşır ve ikincil reaksiyonlarla katran oluştururlar. Reaksiyon devam ettikçe ısıl bozunma devam eder, su gazı reaksiyonları, radikallerin rekombinasyonu ve dehidrasyon reaksiyonları da meydana gelebilir. Bu reaksiyonlar, prosesin kalma zamanına ve sıcaklık/basınç parametrelerine bağlı olarak değişebilir. Çizelge 2.4'te farklı sıcaklıklarda meydana gelen piroliz işlemi sonucunda gerçekleşen olaylar ve elde edilen ürünler gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Farklı sıcaklıklarda meydana gelen piroliz işlemi sonucunda gerçekleşen olaylar ve elde edilen ürünler [41].

Sıcaklık	Gelişen Olaylar	Ürünler
300°C'tan düşük sıcaklıklarda gerçekleşen piroliz işlemi	Serbest radikal oluşumu, suyun uzaklaştırılması ve depolimerizasyon	Karbonil ve karboksil oluşumu, CO ve CO ₂ salımı ve büyük oranda gazı alınmış katı
300-450°C arası sıcaklıklarda gerçekleşen piroliz işlemi	Polisakarit yapıdaki glikosidik bağların yer değiştirme ile kopması	Levoglukosan, anhidritler ve oligosakaritlerin katran formundaki karışımı
450°C'tan yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen piroliz işlemi	Dehidrasyon, yeniden düzenleme ve şeker birimlerinin fizyonu	Asetaldehit, glioksal ve akrolein gibi karbonil birimlerinin oluşumu ve yukarıdaki ürünlerin oluşumu
500°C'tan yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen piroliz işlemi	Yukarıdaki olayların tümü	Yukarıdaki ürünlerin karışımı
Yoğuşma	Doymamış ürünlerin yoğuşması ve gazı alınmış katıya bağlanması	Serbest radikaller içeren yüksek reaktivliğe sahip gazı alınmış katı

Piroliz prosesleri, çalışma şartlarına bağlı olarak en genel anlamda yavaş ve hızlı piroliz olarak gruplandırılabilirler. Yavaş ve hızlı terimleri tarifi tam yapılmamış terimler olup, süre ile ısıtma hızı hakkında kesin bir tanımlama içermektedirler. Buna rağmen yavaş pirolizin genel parametrelerinin 5-30 dakika süresinde, yavaş ısıtma hızında, en yüksek 600°C'ta ürün olarak biyoyağ, biyogaz ve biyoçar ürünlerinin verildiği düşünülmektedir. Hızlı pirolizin ise; 0,5-5 saniye sürede, çok yüksek ısıtma hızında, 650°C'ta ürün olarak biyoyağ verildiği düşünülmektedir. Hızlı ve yavaş piroliz arasındaki fark, oluşan uçucuların reaksiyon ortamından yavaş pirolizden hızlı pirolize

göre daha uzun sürede uzaklaşmasıdır. Böylece, buhar fazı içinde gerçekleşen reaksiyonlar sonucu katı ve sıvı ürün oluşmaktadır.

Biyokütle olarak kullanılan maddelerin piroliz işlemleri, piroliz sıcaklıklarına bağlı olarak ekzotermik veya endotermik olarak gerçekleşmektedirler. Ana bileşenler olarak hemiselüloz ve selülozik maddeler içeren biyokütle maddelerinin piroliz prosesleri 400-450°C'nin altında endotermik, daha yüksek sıcaklıklarda ise ekzotermik olarak gerçekleşir.

Tüm piroliz işlemlerinde ürün verimleri; nem içeriği, parçacık boyutu, gözenekli yapıya sahip olma, sabit karbon/uçucu madde oranı, selüloz/lignin oranı, alkali metal içeriği, reaksiyon sıcaklığı, ısıtma hızı, gaz ortamın cinsi (inert gaz, reaktif gaz, basınç), reaktörde kalma süresi, reaktör tipi, katalizör varlığı ve cinsine göre değişebilmektedir. Kısmi gazlaştırma ile doğrudan ısıtılan kesikli reaktörler, yanma gazları ile dolaylı ısıtılan siklonik reaktörler, inert gaz veya yanma ürünleri ile doğrudan ısıtılan taşınımli yataklar, inert gaz yanma ürünleri veya kısmi gazlaştırma ile doğrudan ısıtılan akışkan yatak reaktörler, yanma ürünleri ile doğrudan ve dolaylı ısıtılan yatay hareketli yataklı reaktörler, yanma ürünleri ile doğrudan ısıtılan çoklu fırınlar, yanma ürünleri ile dolaylı ısıtılan döner fırınlar, yanma ürünleri ile doğrudan veya dolaylı ısıtılan dikey geciktirmeli reaktörler, reaktör çeşitlerine örnek olarak verilebilirler.

Bu parametreler arasında, reaksiyon sıcaklığı, ısıtma hızı ve reaktörde kalma süresi ürün verimini ve dağılımını en çok etkileyen parametrelerdir. Düşük sıcaklık, düşük ısıtma hızı ve uzun kalma süresinde katı ürün verimi; düşük-orta sıcaklık, yüksek ısıtma hızı ve gazlar için düşük kalma sürelerinde sıvı ürün verimi; yüksek sıcaklık, düşük ısıtma hızı ve gazlar için uzun kalma sürelerinde ise gaz ürün veriminin maksimum değerlerde olması sağlanmaktadır.

Piroliz işlemi sonucunda elde edilen katı ürünler; biyokütle maddelerinin organik kısmının ısıl bozunması ile oluşan karbonca zengin artıkları, inorganik maddeleri ve dönüşümü tamamlanmamış organik maddeleri içerirler. Bu katı ürünler, doğrudan ya da briketler haline getirilerek veya biyokütle maddesi ile karıştırılarak kazan yakıtı olarak kullanılabilirler. Aktif karbon üretiminde kullanılabilirler. Bu katı ürünlere

gazlaştırma işlemi uygulanarak, hidrojen zengin gaz ürünler elde edilebilir. Ayrıca, karbon-nano-tüp üretiminde kullanımı düşünülmektedir.

Piroliz işlemi sonucunda elde edilen sıvı ürün; biyokütle maddesinin ısıtılması sonucu selüloz, hemiselüloz ve ligninin depolimerizasyon reaksiyonları sonucu oluşan ve reaksiyon ortamından hızla uzaklaştırılması ile ileri bozunma, bağlanma ve diğer moleküllerle yoğunlaşması önlenen birçok organik madde içerir. Biyoyağın içerdiği organik gruplar; asitler, esterler, alkoller, ketonlar, aldehitler, fenoller, alkenler, aromatikler, azotlu bileşikler, furanlar, şekerler ve çeşitli oksijenatlar olabilmektedir.

Elde edilen biyoyağın kalori değeri aynı miktardaki biyokütlesinden çok daha fazladır. Biyoyağın taşınma ve depolanması hammaddesi olan biyokütleden daha kolaydır. Biyoyağların, yakma yakıtı olarak, güç üretiminde, çeşitli kimyasalların üretiminde, taşıma yakıtı maddesi olarak, yanabilir atık maddelerin pelletlenmesi ve briketlenmesinde bağlayıcı olarak, yapıştırıcı yapımında, dizel ile uygun oranda karıştırılıp yakıt olarak kullanılabileceği düşünülmektedir.

Biyokütle maddelerinin piroliz işlemi sonucunda elde edilen gaz ürünlerin ise; büyük kısmı CO, CO₂ ve CH₄ olmak üzere, H₂, propan, propilen, bütan, bütan, etan gibi gazlardan oluşmakta ve bu ürünler endüstride yakılarak kullanılabilmektedirler [42-46]. Çizelge 2.5'te farklı piroliz yöntemleri ve özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.5. Farklı piroliz yöntemleri ve özellikleri [47].

Piroliz Yöntemi	Kalma Süresi	Isıtma Hızı	Sıcaklık (°C)	Ürünler
Karbonizasyon	günler	çok düşük	400°C	Odun kömürü
Yavaş piroliz	5-30 dakika	düşük	600°C	Yağ, gaz, katı ürün
Hızlı piroliz	0,5-5 saniye	çok yüksek	650°C	Biyoyağ
Flaş-sıvı	<1 saniye	yüksek	<650°C	Biyoyağ
Flaş-gaz	<1 saniye	yüksek	<650°C	Kimyasallar, gaz
Ultra piroliz	<0,5 saniye	çok yüksek	1000°C	Kimyasallar, gaz
Vakum pirolizi	2-30 saniye	orta	400°C	Biyoyağ
Hidropiroliz	<10 saniye	yüksek	<500°C	Biyoyağ
Metanopiroliz	<10 saniye	yüksek	>700°C	Kimyasallar

Yavaş piroliz proseslerinde; biyokütle madde düşük ısıtma hızında (5-7°C/dk) ısıtılır. Proseste kalma süresi 5-30 dk arasındadır. Oluşan uçucular reaksiyon ortamından hızlı pirolize kıyasla daha uzun sürede uzaklaşır. Böylece, buhar fazı içinde gerçekleşen reaksiyonlar sonucu katı ve sıvı ürün oluşur. Oluşan buharlar sürekli olarak reaksiyon ortamından uzaklaştırılabilir. Sıvı, katı ve gaz ürün verimleri genellikle birbirlerine yakın değerlerde gerçekleşir.

Hızlı piroliz; biyokütle maddelerin oksijensiz ortamda yüksek ısıtma hızı ve yüksek sıcaklıkta ısıl bozunma işlemi olarak tanımlanır. Biyokütle maddesi ısıl bozunma sonucu buhar, aerosol ve gazı alınmış katı ürün verir. Proses sonucunda, kullanılan biyokütle maddenin türüne göre değişmekle birlikte, ağırlıkça %10-20 yoğunlaşmayan gaz, %60-75 biyoyağ ve %15-25 gazı alınmış katı ürün oluşumu gerçekleşir. Bu gaz, biyoyağ ve katı ürün proseste kullanılabildiğinden, atık oluşmaz. Proseste yüksek sıvı ürün verimi eldesi için çok yüksek ısıtma ve ısı aktarım hızı, 425-500°C reaksiyon sıcaklığı, oluşan buharlar için kısa kalma süreleri (<5 saniye) ve buhar ile aerosollerin hızla soğutulması gibi şartlar gerekli olur. Hızlı ısıtma ve hızlı uzaklaştırma, düşük kalma süresiyle ara ürün olan sıvı, parçalanma reaksiyonlarına girmeden ve yüksek

molekül ağırlığındaki bileşenlerin düşük molekül ağırlıklı gaz bileşenlere parçalanması sona ermeden soğutulur. Yüksek reaksiyon hızlarının katı ürün oluşumunu en aza indirdiği, hatta bazı şartlarda katı ürünün hiç oluşmadığı; yüksek sıcaklıklarda ise ana ürünün gaz olduğu bilinmektedir.

Flaş piroliz prosesleri; kalma süresinin bir saniye civarında olduğu, çok yüksek ısıtma hızlarının kullanıldığı, özel reaktörler ve küçük parçacık boyutları gerektiren proseslerdir.

Ultra piroliz prosesi, çok yüksek sıcaklık ve reaksiyon hızında gerçekleştirilen ve kalma süreleri milisaniyelerle ölçülen bir prosestir.

Vakum piroliz prosesi ise; gaz halindeki hidrokarbonların ikincil ayrışma reaksiyonları engellenerek sıvı ürün verimi artırır ve elde edilen katı ürün aktif karbon üretimi için değerli bir hammadde oluşumu gerçekleşir [47].

2.6 Önceki Çalışmalar

Biyokütlenin piroliz prosesinde hammadde kaynağı olarak kullanıldığı birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların birçoğunda ürün verimini ve kalitesini arttırmak için ya katalizör kullanılmıştır veya ön işleme tabi tutulma gibi farklı teknikler kullanılmıştır.

Yapılan bir çalışmada, farklı biyokütlelere fiziksel ve kimyasal ön işlemler uygulanarak biyokütlenin, piroliz yöntemi ile daha yüksek enerjili maddelere dönüştürülmesi incelenmiştir. Bu amaçla köknar ve kavak biyokütlelerine sıcak su, kavurma (torefikasyon), asit (H_2SO_4) ve tuz ($NH_4H_2PO_4$) ile ön işlemler uygulanarak biyokütlerde meydana gelen değişiklikler ve termal bozunma kararlılıkları incelenmiştir. Ön işlemlerle gerçekleştirilen piroliz prosesi sonucunda biyokütlerde değişen kimyasal ve termal yapılar, elektron mikroskobu, atomik absorpsiyon, iyon değişim kromatografisi ve termogravimetri yöntemleriyle izlenmiştir. Sıcak su ve kavurma yöntemleriyle yapılan ön işlemler sonucunda özellikle köknar biyokütlesinin lifleri daha küçük parçalara dönüşerek mekanik bozunmaya uğradığı belirtilmiştir. Benzer şekilde tuz ile ön işleme tabi tutulma sonucunda köknar biyokütlesinin aktivasyon enerjisinin büyük ölçüde arttığı kaydedilmiştir. Sonuç olarak her iki biyokütleye uygulanan ön işlemlerle, inorganik kül, alkali metal, hemiselüloz

içeriğinin önemli ölçüde azaldığı bildirilmiştir. Biyokütle üzerindeki en büyük etkiyi, tuz ile gerçekleştirilen ön işleme tabi tutulmanın verdiği ve bu işlemin, biyokütlelerin termal ayrışma kararlılıklarına büyük etkisinin olduğu ileri sürülmüştür [48].

Bir başka çalışmada, *Anchusa azurea* bitkisinin sapları kullanılarak yapılan piroliz işleminde biyoyağ eldesi amaçlanmış ve piroliz işleminde katalizör ve sıcaklık parametreleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Lignoselülozik bir bitki olan *Anchusa azurea* bitkisinin sabit yataklı piroliz reaktörü kullanılarak dört farklı katalizör varlığında; kalsiyum hidroksit (CaOH_2), sodyum karbonat (Na_2CO_3), çinko klorür (ZnCl_2) alüminyum oksit (Al_2O_3) ve katalizörsüz olarak, üç farklı sıcaklık değerinde 350°C , 450°C ve 550°C 'ta katalizörün ve sıcaklığın piroliz işlemi üzerine etkileri incelenmiştir. Yüksek sıcaklıkta düşük biyoyağ (sıvı), ve biyoçar (katı) eldesi, yüksek biyogaz (gaz) verimi gerçekleşmiştir. Ayrıca biyoyağ veriminin Na_2CO_3 , ZnCl_2 , Al_2O_3 katalizörleri varlığında arttığı, CaOH_2 katalizörü varlığında azaldığı kaydedilmiştir. En yüksek biyoyağ veriminin, 450°C 'ta Na_2CO_3 katalizörü varlığında %34,05 oranında elde edildiği belirtilmiştir. Piroliz işlemi sonucunda elde edilen biyoyağ (sıvı), biyoçar (katı), biyogaz (gaz) bileşimleri GC-MS, FT-IR spektroskopisi ve elementel analiz yöntemleriyle tayin edilerek 350°C ve 550°C 'ta sırasıyla biyokütlerde 124 ve 264 farklı bileşiğe rastlanmıştır. Ayrıca elde edilen biyoyağ yapılarının, karmaşık alifatik, aromatik, oksijen, azot ve polisiklik bileşiklerden oluştuğu sonucuna varılmıştır [49].

Aysu ve Durak (2015), yaptıkları çalışmada 0,224-0.150 mm partikül büyüklüğüne sahip meyan kökünün sabit yataklı piroliz reaktöründe katalizör olarak çinko oksit (ZnO), demir klorür (FeCl_3), potasyum karbonat (K_2CO_3), alüminyum oksit (Al_2O_3), sodyum tetraborat dekahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ve katalizörün kullanılmadığı ortamda üç farklı sıcaklıkta (350°C , 450°C ve 550°C 'ta) 40 dakika süreyle ve $100 \text{ cm}^3/\text{dk}$ inert gaz akışında yapılan piroliz işleminin ürün verimi üzerine etkilerini incelemişlerdir. Üretilen biyoçar (katı), biyoyağ (sıvı) ve biyogaz (gaz) miktarlarını belirlemişler ve en yüksek dönüşüm verimin %74,50 oranında ve sıvı ürün veriminin %34,35 oranında $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ katalizörü varlığında 550°C 'ta elde edildiği bildirilmiştir. 350°C ve 550°C 'ta elde edilen biyoyağlarda, sırasıyla 133 ve 148 farklı bileşiğin bulunduğu tespit edilmiştir [50].

Durak ve Aysu (2015), yaptıkları çalışmada sabit yataklı reaktörde, 0,224-0,150 mm partikül büyüklüğündeki avokado tohumlarına, katalizörlü (KOH ve Al_2O_3) ve katalizörsüz ortamda 400°C ile 600°C arasında değişen sıcaklıklarda, 100 cm³/dk inert gaz akışında yavaş piroliz işlemi uygulamışlar, sıcaklığın ve katalizörün biyoçar (katı) ve biyoyağ (sıvı) üretimi üzerine etkisini incelemişlerdir. En yüksek biyoyağ (sıvı) veriminin %37,5 olduğu ve bu verime %10'luk KOH katalizörü varlığında, 600°C'ta ulaşıldığı belirtilmiştir. Bu çalışma sonucunda, biyoyağ (sıvı) veriminde KOH'in, Al_2O_3 'ten daha iyi katalitik aktivite gösterdiği anlaşılmıştır. Piroliz prosesi sonucunda elde edilen biyoyağın oksijenli ve kompleks bir karışım olduğu ve işlem görmemiş avokado tohumlarına göre daha yüksek enerjiye sahip olduğu kaydedilmiştir. GC-MS ile yapılan analiz sonuçlarına göre elde edilen biyoyağların yenilenebilir yakıt kullanımı için umut verici oldukları belirtilmiştir [51].

Biyokütlenin parçacık boyutunun piroliz verimi üzerine etkisinin çalışıldığı bir araştırmada, Euphorbia Rigida bitkisinin 0,224-1,800 mm partikül boyutlarına getirilmiş halinin, 400°C ile 700°C sıcaklık aralığında, inert gaz akışının dakikada 50-800 cm³ olarak ayarlandığı bir sistemde en yüksek biyoyağ (sıvı) veriminin 550°C'ta %37,20 oranında gerçekleştiği bildirilmiştir. Bununla beraber piroliz veriminde, parçacık boyutunun önemli bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir [52].

Wang C. vd., (2007), yaptıkları çalışmada pirinç saplarına uygulanan piroliz işleminde sıcaklık artışının biyogaz ve biyoçar ürünleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Çalışmada, sabit yataklı bir reaktör kullanılarak sıcaklık 280-500°C değerleri arasında tutulmuş, maksimum biyoyağ eldesinin 420°C'ta gerçekleştiği kaydedilmiştir. Araştırmalar sonucunda biyogaz ürünü veriminin sıcaklıkla doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenirken, biyoçar veriminin ise sıcaklık arttıkça azaldığı bildirilmiştir. Ayrıca elde edilen biyoyağ maddesinin karbon, oksijen ve hidrojen oranlarının, petrolün içerisindeki karbon, oksijen ve hidrojen oranlarına oldukça yakın olduğu bildirilmiştir [53].

Durak H.'nin (2016), bir çalışmasında pıtrak olarak bilinen Xanthium strumarium bitkisinin sabit yataklı reaktörde pirolizini gerçekleştirmiş, bor katalizörünün, piroliz ürünü verimini nasıl etkileyeceğini araştırmıştır. Bu çalışmada Xanthium strumarium bitkisi, bor katalizörü varlığında ve katalizörsüz olarak 350°C ile 550°C arasında üç

farklı sıcaklıkta piroliz edilmiştir. Elde edilen biyoyağ, biyoçar ve biyogaz miktarları GC-MS ve FT-IR spektroskopisi analizleriyle incelenmiştir. Xanthium strumarium bitkisinin sıvı, katı ve gaz ürünlere dönüşümünde en önemli faktörün sıcaklık olduğu belirlenmiştir. Çalışma sonucunda en yüksek sıvı ürün veriminin 550°C sıcaklıkta, %27,97 oranında, bor katalizörü varlığında gerçekleştiği kaydedilmiştir [54].

Lignoselülozik maddelerin piroliz işlemlerinden sonra elde edilecek gaz ürün bileşenlerinin araştırmasının yapıldığı bir başka çalışmada, mısır koçanı, mısır sapı, zeytin çekirdeği, zeytin dalları ve ayçiçeği kabukları hızlı piroliz yöntemiyle piroliz edilmiştir. Bu maddelerden elde edilen gaz ürünler incelendiğinde, selüloz ve hemiselüloz oranları yüksek olan biyokütlelerin (mısır koçanı, mısır sapı, ayçiçeği kabuğu), lignin içeriği yüksek olan biyokütlelere (zeytin çekirdeği, zeytin dalları) göre daha fazla hidrojen gazı içerdiği kaydedilmiştir [55].

Kolza tohumunun piroliz işleminde ortama verilen azot gazının şiddetinin ürün verimine etkisini araştıran bir başka çalışmada, kolza tohumu yarım saat süre ile 400°C ile 700°C sıcaklık aralığında piroliz işlemine tabi tutulmuştur. Sıcaklık 550°C ve azot gazı akışının 100 cm³/dk olduğunda, elde edilen üründeki biyoyağ veriminin maksimum olduğu tespit edilmiştir. Maksimum verimin sağlandığı şartlarda bu çalışmaya ek olarak azot gazındaki akışı değiştirerek 200 cm³/dk'ya çıkartılmıştır. Bu yeni şartlar altında; üründeki biyoyağ veriminin %5 oranında arttığı belirtilmiştir [56].

Ayçiçeği bitkisinin piroliz işleminde silika, bor ve sodyum karbonat katalizörlerinin, ürün verimi üzerine etkisinin incelendiği bir başka çalışmada piroliz işlemi, 400°C ve 420°C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Katalizör miktarları %10 oranında kullanılmış ve diğer piroliz şartları sabit tutulmuştur. İşlem sonucunda en yüksek ürün verimi oranları olarak %32,8 biyoyağ, %73,2 dönüşüm ürünleri olarak açıklanmıştır. Bu piroliz denemesi için en uygun sıcaklığın 420°C ve en uygun katalizörün sodyum karbonat olduğu belirtilmiştir [57].

Kim, K. H. vd (2011), sarı kavak (Liriodendron tulipifera) ağacının piroliz ürünlerini farklı sıcaklıklarda ve farklı kalma sürelerinde incelemiştir. Bu çalışmada, biyolojik sıcaklık verimini en üst düzeye çıkarmak için akışkan yataklı bir reaktörde farklı sıcaklık aralıklarında hızlı piroliz çalışması yapmışlardır. Piroliz sıcaklığı 400°C ile 550°C arasında belirlenmiş, piroliz ürünlerinin sabit gaz akışı

altında sistemde kalış süreleri 1,2 ve 7,7 saniye arasında kontrol edilmiştir. Sonuç olarak, biyoyağ, biyogaz ve biyoçar olarak piroliz ürün dağılımının, piroliz sıcaklığından ve sistemde kalma sürelerinden büyük ölçüde etkilendiği ifade edilmiştir. En yüksek biyoyağ veriminin 500°C'ta 1,9 saniye sistemde kalma süresinde gerçekleştiği gözlenmiştir. 400°C ile 550°C arasında gerçekleştirilen hızlı piroliz işlemi sonucunda elementel analiz ile elde edilen enerji değerlerinin 15-17 Mj/kg olduğu belirlenmiştir. GC-MS analiz sonuçlarında 30 farklı bileşik elde edilmiş ve bu bileşiklerin; organik asit, aldehit, keton, alkol ve fenol gruplarına ait olduğu belirlenmiştir. Ayrıca bu odunsu bitkiden biyokütlenin ağırlığının %10'u kadar biyoçar elde edildiği vurgulanmıştır [58].

Ertaş ve Alma (2010), sabit yataklı bir reaktörde gerçekleştirilen sistemde defne (*Laurusnobilis* L.) bitkisinin ekstraksiyon atıklarına piroliz işlemi uygulamışlar, piroliz sonucunda defne bitkisinden biyoyağ ve biyoçar elde etmişlerdir. Bu piroliz sisteminde sıcaklık değerleri 350, 400, 450, 500, 550 ve 600°C'larda, partikül boyutları; 1,60, 0,850, 0,850, 0,420, 0,420, 0,250 mm boyutlarında, azot gazı akış hızları; 50, 100, 200, 300 ve 400 ml.dk⁻¹ olarak ayrı ayrı çalışılmıştır. En yüksek biyoyağ veriminin 500°C'ta, 400 ml.dk⁻¹ akış hızında %21,91 olduğu bulunurken, defne bitkisinin ekstraksiyon atıklarından elde edilen biyoyağ ve biyoçar verimlerinin, partikül boyutlarından tamamen bağımsız olduğu sonucu dikkat çekmiştir. Böylece piroliz sıcaklığı ve azot gazı akışının piroliz ürünü verimleri üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu vurgulanmıştır. Elde edilen ürünler elementel analiz, FT-IR, GC-MS, XRD, SEM analizleri ile incelenmiştir [59].

Eroğlu, Polat ve Özbay (2018), Keçi gübresi formundaki biyokütleyi kullanarak biyoyağ üretimi gerçekleştirmişlerdir. Piroliz işlemini sabit yataklı reaktörde 300-600°C aralıklarında gerçekleştirerek sıcaklığın katı, sıvı ve gaz ürünler üzerine etkisini tespit etmişlerdir. 500°C'ta ürün veriminin maksimum değere ulaştığını, biyoyağ eldesinin %26,1 oranında gerçekleştiğini açıklamışlar ve bu sıcaklıkta elde edilen biyoyağı GC-MS, gaz kromatografisi ve elementel analiz yöntemleriyle analiz etmişlerdir. Biyokütle olarak kullanılan keçi gübresinin TGA analizi sonucunda, maksimum ayrışma hızının 250-500°C arasında gerçekleştiğini ve dönüşümün 600°C'ta meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Elementel analiz sonucunda piroliz edilmemiş hammaddede oksijen oranı %39,85 iken piroliz işlemi sonucunda

biyoyağdaki oksijen oranı %23,15'e düşmüştür. Yine elementel analiz sonucunda piroliz edilmemiş hammaddede karbon oranı %42,08 iken piroliz işlemi sonucunda biyoyağdaki karbon oranı %51,75'e yükselmiş olup, kayda değer bir artış göstermiştir. Piroliz işlemi sonucunda biyoyağın pH değerinin 4,12 olduğu ve biyoyağın alkol, alkan, alken, keton, fenol ve poliaromatik hidrokarbonlar içerdiği açıklanmıştır. Bu çalışma sonucunda; keçi gübresinin biyoyağ üretimi için değerli bir hammadde olduğu sonucuna varılmıştır [60].

A.V. Bridgwater (2012), biyokütlenin hızlı pirolizinin ve ürün geliştirmenin gözden geçirilmesi adlı derleme çalışmasında; biyoyağın üretimi için biyokütlenin hızlı piroliz sistemi uygulanması üzerine güncel bir çalışma yaparak, ana reaksiyon sistemlerini içeren hızlı piroliz teknolojisini açıklamıştır. Bu çalışmada biyoyağ üzerinde etkili olan birçok karakterizasyon özellikleri ele alınmış ve bu özelliklerin; fiziksel, katalitik ve kimyasal yükseltgeme olduğu belirtilmiştir. Piroliz sistemlerinde kullanılan katalizörlerin ve çok fonksiyonlu katalizör sistemlerinin özel bir metot olduğu açıklanarak bu teknolojinin geliştirilmesinin önemi vurgulanmıştır [61].



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

3.1.1 Piroliz prosesinde kullanılan yabani hardal bitkisi; *Sinapis alba*

Sinapis alba, ak veya yabani hardal olarak da bilinir. Brassicaceae familyasındandır. Yüksekliği 100-120 cm arasında değişen kök saplı, yapraklı ve çok çekirdekli bitkidir. Tarla, çorak toprak ve bahçelerde yetişebilen *Sinapis alba* yıllık yetişen bir bitkidir. *Sinapis alba* bitkisi Hatay ili Kumlu ilçesi sınırları içerisinde (Enlem: 36° 22' 18'' Kuzey, Boylam: 36° 27' 19'' Doğu) toplanmış ve kurutulmuştur. Bitki familyası soğuk iklimlere karşı yüksek direnç göstermektedir. Piroliz prosesinde *Sinapis alba* bitkisinin kullanılmasının amacı; yıllık toplanan bir bitki olması ve kolay ulaşılabilir olmasıdır. Ayrıca *Sinapis alba* bitkisinin dayanıklı, ekilmeden ürün verebilen, ekonomik bir bitki olması tercih sebebi olmuştur. Piroliz prosesinde yıllık bitkilerden *Sinapis alba* bitkisinin piroliz işleminde şimdiye kadar kullanılmamış olması bu bitkiyi kullanmamızdaki en büyük etkidir. Şekil 3.1'de *Sinapis alba* bitkisi gösterilmiştir [62].



Şekil 3.1. *Sinapis alba* bitkisi.

3.2 Yöntem

3.2.1 Piroliz prosesi öncesinde biyokütleyle uygulanan analizler

Sinapis alba bitkisi, kurutulduktan sonra kısmen daha küçük parçalara öğütülmüş, ilk öğütme işleminden sonra tekrar parçacık boyutu 0,224-0,150 mm (70-100 mesh) olana kadar öğütme işlemine devam edilmiştir. İstenilen parçacık boyutuna ulaştırılan Sinapis alba bu işlem sonucunda biyokütle özelliği kazanarak nemsiz ortamda muhafaza edilmiştir. Daha sonra içerdiği bileşenleri öğrenmek amacıyla lignin tayini, selüloz tayini, ekstraktif madde tayini, nem tayini ve kül tayini işlemlerine tabi tutulmuştur. Piroliz denemelerinin yürütüleceği sıcaklık değerlerini belirlemek amacıyla termal gravimetrik analiz (TGA) uygulanmıştır.

3.2.1.1 Lignin tayini

Biyokütleden 1 gr tartılarak üzerine 15 ml %72'lik sülfürik asit (H_2SO_4) çözeltisi ilave edilmiştir ve cam baget yardımıyla 2 saat boyunca karıştırılmıştır. Elde edilen siyah çözeltinin üzerine 560 ml saf su eklenerek Soxlet ekstraksiyon düzeneği ile 4 saat boyunca 200°C sıcaklıkta ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon işlemi sonunda por (gözenek) büyüklüğü 4 olan kroze ile süzme işlemi gerçekleştirilerek 105°C'ta etüvde kurutulmuştur. Kurutma işlemi yapıldıktan sonra gerekli tartımlar alınarak biyokütlenin içerisinde bulunan lignin maddesinin %28,22 oranında olduğu hesaplanmıştır. Lignin tayini literatürde bilinen TAPPI T13 m-57 standart metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Bu metotla, biyokütlenin yapısında bulunan odunsu maddelerdeki karbohidratlar güçlü asitle hidrolize olmakta ve lignin, ortamda çözünmeden kalmaktadır.

3.2.1.2 Selüloz tayini

Biyokütleden 2 gr tartılarak üzerine 40 ml %96'lık etanol ve 10 ml %98'lik nitrik asit ilave edilerek geri soğutucu altında 200°C'ta kaynatılmıştır. 2 saat sonunda 40 ml etanol ve 10 ml nitrik asit ilavesi yapılmıştır. Bu işlem 2 saat sonunda bir kez daha tekrarlanarak ve por büyüklüğü 4 olan kroze ile süzme işlemi yapılarak 105°C'ta etüvde kurutulmuştur. Kurutma işleminden sonra tartımlar alınarak biyoküttelede bulunan selüloz miktarı %40,76 olarak hesaplanmıştır.

Selüloz tayini literatürde bilinen TAPPI 05-2C3 71standart metoduna göre gerçekleştirilmiştir. Bu metotla selülozun, etanol ve nitrik asit karışımında çözünmemesinden yararlanılarak, biyokütlede bulunan selüloz miktarı hesaplanmıştır.

3.2.1.3 Nem tayini

Nem tayini işlemi klasik metotlara göre gerçekleştirilmiştir. Bunun için üç farklı krozenin ağırlıkları alınarak içerlerine 1 gr biyokütle ilave edilmiştir. Krozeler 2 saat boyunca 105°C'ta etüvde kurutulmuş ve bu süre bitiminde tekrar tartımları alınarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Bu ağırlıkların ortalamaları alındıktan sonra biyokütlenin nem miktarı %7,06 olarak hesaplanmıştır.

3.2.1.4 Kül tayini

Kül tayini için, üç adet kroyeye 2'şer gram biyokütle konularak kül fırınına bırakılmıştır. Sıcaklık değeri 575°C olarak ayarlanmıştır. 2 saat sonunda kroyeler kül fırınından çıkarılarak tartım işlemleri gerçekleştirilmiştir. TAOPI T211 om-85 standart metoduna göre yapılan analiz sonucunda kül miktarı %4,86 olarak bulunmuştur.

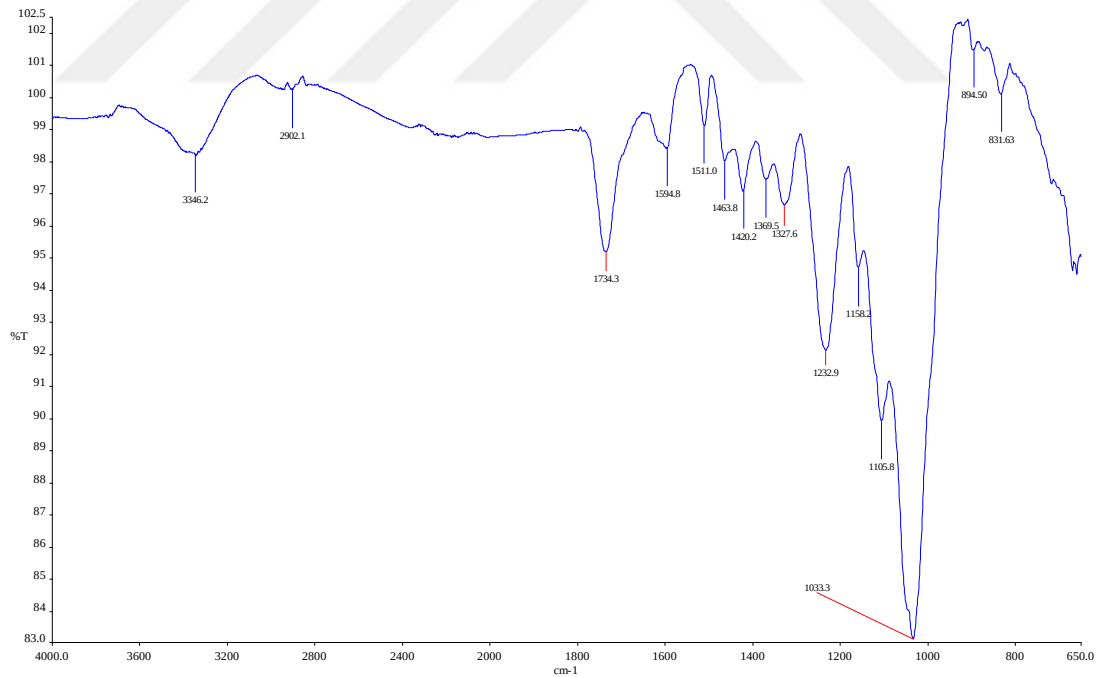
Çizelge 3.1'de Sinapis alba bitkisinin laboratuvar ortamında yaş kimya yöntemi ile yapılan temel bileşenleri verilmektedir.

Çizelge 3.1. Sinapis alba bitkisinin temel bileşenleri.

Bileşenler	% Değerleri
Nem	7,06
Kül	4,86
Lignin	28,22
Selüloz	40,76
Karbon	41,6037
Hidrojen	5,4281
Azot	0,5783
Oksijen	52,3899

3.2.1.5 Yapısal Analiz

Hammaddenin yapısal analizi için FT-IR spektroskopisi tekniği kullanılmıştır. Şekil 3.2’de Sinapis alba bitkisinin FT-IR spektrumu görülmektedir.



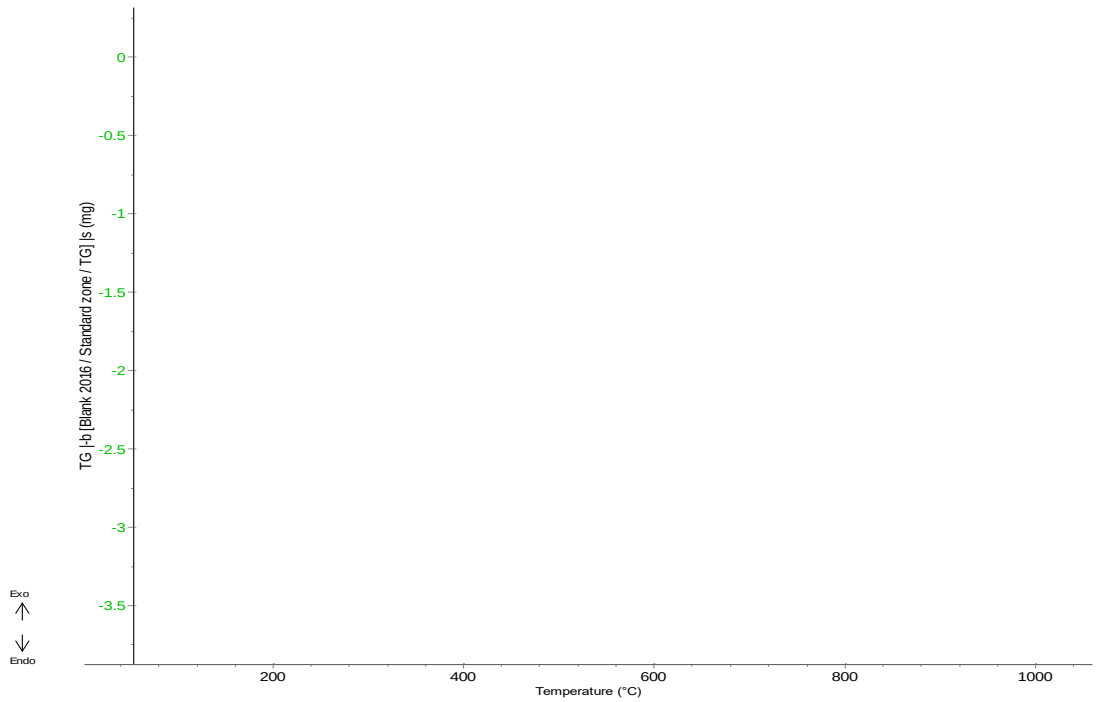
Şekil 3.2. Sinapis alba bitkisinin FT-IR spektrumu.

FT-IR spektroskopi analizi sonuçlarından görüldüğü gibi, $1734,3\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenen pik, biyokütlenin yapısındaki karbonil gruplarının (aldehit, karboksilli asit veya ester) C=O bağlarının gerilme ve titreşim hareketlerinden kaynaklanmaktadır. $1327,6$

cm^{-1} 'de gözlenen pik, biyokütlenin yapısında nitro bileşiklerinin varlığını göstermektedir. $1232,9 \text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenen ve C-O gerilimini gösteren pik, yapıda alkol, ester, karboksilli asit ve eter gruplarının varlığına işaretir. $1033,3 \text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenen pik ise, biyokütlenin yapısındaki ligninde bulunan guayasil maddesindeki titreşimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. FT-IR spektroskopisinden elde edilen sonuçlar ile yukarıda verilen elementel analiz sonuçları karşılaştırıldığında, analizlerin birbirleriyle uyumlu oldukları görülmektedir.

3.2.1.6 Termal Analiz

Piroliz denemelerinin yürütüleceği sıcaklıkları belirlemek amacı ile Sinapis alba bitkisine termal gravimetrik analiz uygulanmış olup Şekil 3.3'te biyokütlenin TGA sonucu verilmiştir.



Şekil 3.3. Sinapis alba bitkisinin termogramı.

Termogramdan elde edilen veriler incelendiğinde, biyokütle yaklaşık olarak 200°C 'a ulaştığında, ilk kütle kaybı gözlenmektedir. Bu kütle kaybı miktarının %5-7 arasında olduğu düşünüldüğünde, bu sonucun biyokütleye yapılan nem tayininde elde edilen veri ile yaklaşık olduğu görülmektedir. Verilerin yakınlığından dolayı bu kütle kaybının, biyokütlenin içerisinde bulunan nemden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Biyokütle 260°C sıcaklığa ulaştığında yapısında bulunan bileşenlerin bozunmaya başladığı görülmektedir. Sıcaklık 340°C'a ulaştığında bozunmanın maksimum değere ulaştığı görülmekte, bu sıcaklıkta biyokütlenin içeriğinde bulunan lignin, selüloz ve hemiselüloz gibi yapılarının bozunduğu sonucuna varılmıştır. Sıcaklık değeri 420°C'a ulaştığında bozunma olayı devam ederken 600°C'ta bozunma hızının azaldığı görülmektedir.

Termal gravimetrik analiz sonucunda, biyokütleye uygulanacak optimum sıcaklık değerleri 350, 450 ve 550°C olarak belirlenmiştir.

3.2.2 Piroliz öncesi biyokütleye uygulanan ön işlemler

Piroliz prosesinde ürün verimini ve kalitesini arttırmak amacıyla hammaddeye, asidik ortamda bekletme, bazik ortamda bekletme ve hidrotermal (HTL) yöntem gibi bazı ön işlemler uygulanmıştır. Asidik (H_2SO_4 , HCl) ortamda bekletme ve bazik ($NaOH$, KOH) ortamda bekletme ön işlemleri literatürde yaş emdirme metodu olarak bilinmektedirler.

3.2.2.1 Asidik ortamda bekletme (H_2SO_4 ve HCl ile yapılan ön işlem)

Ön işlem olarak asidik ortamda bekletme için ilk olarak, 70 gr biyokütleyle 116 ml 2 M H_2SO_4 çözeltisi ilave edilerek 24 saat boyunca bekletilmiş ve bu sürenin sonunda saf su ile yıkama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çözeltinin pH değeri 7 oluncaya kadar yıkama işlemlerine devam edilmiştir.

Daha sonra HCl çözeltisi ile ön işlem için, 70 gr biyokütleyle 175 ml 2 M HCl çözeltisi ilave edilerek 24 saat boyunca bekletilmiş ve bu süre sonunda saf su ile yıkama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çözeltinin pH değeri 7 oluncaya kadar yıkama işlemlerine devam edilmiştir.

Böylelikle asit çözeltileriyle ön işlem görmüş biyokütleler 105°C'ta etüvde kurutularak piroliz işlemine hazır hale getirilmiştir.

3.2.2.2 Bazik ortamda bekletme (NaOH ve KOH ile yapılan ön işlem)

Ön işlem olarak bazik ortamda bekletme için, 1150 ml 2 M NaOH çözeltisi 70 gr biyokütleyle ilave edilerek 24 saat boyunca bekletilmiştir. Bu süre sonunda çözeltinin pH değeri 7 olana dek saf su ile yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Yıkama işlemi sonunda bazik çözelti ile biyokütle 105°C'ta etüvde kurutulmuştur.

Daha sonra KOH çözeltisi ile ön işlem için, 1150 ml 2 M KOH çözeltisi 70 gr biyokütleyle ilave edilerek ve 24 saat süresince bekletilmiştir. Bu süre sonunda, çözeltinin pH değeri 7'ye ulaşana kadar saf su ile yıkama işlemi yapılmıştır. Yıkama işlemi sonunda, bazik çözelti ile ön işleme tabi tutulmuş biyokütle 105°C'ta etüvde kurutularak piroliz işlemine hazır hale getirilmiştir.

3.2.2.3 Hidrotermal (HTL) yöntemle ön işlem

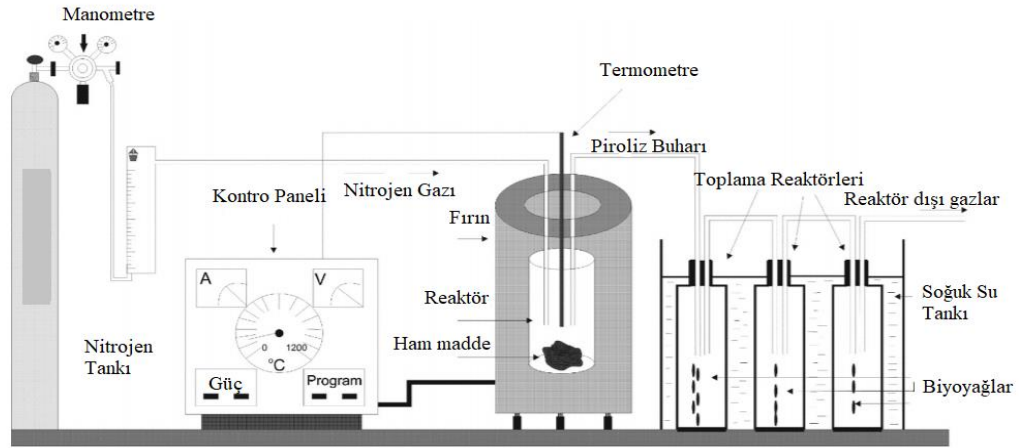
Piroliz öncesi biyokütleyle hidrotermal ön işlemi için, 150 gr biyokütle 121°C'ta ve uygun basınçta otoklav cihazında 1 saat bekletilmiştir. Hidrotermal otoklavı ile yapılan bu ön işlemden sonra biyokütle piroliz işlemi için hazır hale getirilmiştir.

3.2.3 Piroliz deneyleri ve deney düzeneği

Denemelerin yürütüldüğü deney düzeneği Şekil 3.4'te görülmektedir. Deney düzeneğinde yer alan reaktör ve toplama kapları 316 paslanmaz çelikten yapılmıştır. Biyokütle kaynağı olarak kullanılan Sinapis alba bitkisinin, yukarıda belirtilen ön işlemleri sonuncunda piroliz denemeleri gerçekleştirilmiştir. Bütün denemelerde reaktör içerisine 20 gr biyokütle konulmuştur. İnert ortam hazırlamak için sistemde azot gazı kullanılmıştır. Azot gazının akış hızı 100 cm³/dk olarak ayarlanmıştır. Piroliz denemeleri 350°C, 450°C ve 550°C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. 350°C ve 450°C'da sistemin bu sıcaklık değerlerine ulaşması dakikada yaklaşık 15°C artacak şekilde ayarlanmıştır. 550°C sıcaklıkta gerçekleşen denemelerde ise dakikada 25°C artacak şekilde ayarlanmıştır. Yapılan analizler yavaş piroliz prosesiyle sabit yataklı reaktör ile gerçekleştirilmiştir.

Piroliz işlemi sonunda reaktörün içerisindeki biyokütlenin, biyoçara (katı) dönüşmüş olan formu alınıp tartımı yapılmıştır. Biyoyağa (sıvı) dönüşmüş olan madde ise daha

önce aseton ile yıkanan toplama reaktörlerine toplanmıştır. Daha sonra biyoyağdaki aseton, evaporatör yardımıyla uzaklaştırılarak biyoyağın tartımı gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.4. Piroliz deney düzeneği.

3.2.4 Piroliz prosesi sonucu oluşan ürünlere uygulanan analizler

Piroliz denemeleri 350°C, 450°C ve 550°C sıcaklıklarda yapılmış olup, karakterizasyon işlemleri, 550°C'ta gerçekleştirilen piroliz ürünlerine uygulanmıştır.

3.2.4.1 Elementel analiz

Elementel analiz işlemi LECO CHNS-932 model cihazla yapılmış olup, 550°C'ta piroliz işleminden sonra elde edilen biyoyağ (sıvı) ve biyoçar (katı) ürünlerin içerdiği karbon, hidrojen, azot ve oksijen miktarlarının yüzde sonuçları belirlenmiştir.

3.2.4.2 FT-IR analizi

Elde edilen katı ürünlerin yapısal analizi, Perkin Elmer Spectrum-100 model cihazıyla Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) ile gerçekleştirilmiştir.

3.2.4.3 GC-MS analizi

550°C'ta gerçekleştirilen piroliz işlemi sonucunda elde edilen biyoyağ (sıvı) analizleri GC Agilent Technologies 7890A, MS Agilent Technologies 5975C marka cihazı ile gerçekleştirilmiştir. GC-MS analiz sonucunda elde edilen bileşenler NIST kütüphanesi kullanılarak yorumlanmıştır.

3.2.4.4 ^1H NMR analizi

550°C'ta gerçekleştirilen piroliz işlemi sonucunda elde edilen biyoyağ (sıvı) analizleri, 400 MHz Varian AS NMR marka Proton Nükleer Manyetik Rezonans (^1H NMR) cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.4.5 SEM analizi

550°C'ta gerçekleştirilen piroliz işlemi sonucunda elde edilen biyoçar (katı) analizleri Philips XL-30S FEG marka Taramalı Elektron Mikroskopuyla (SEM) gerçekleştirilmiştir.



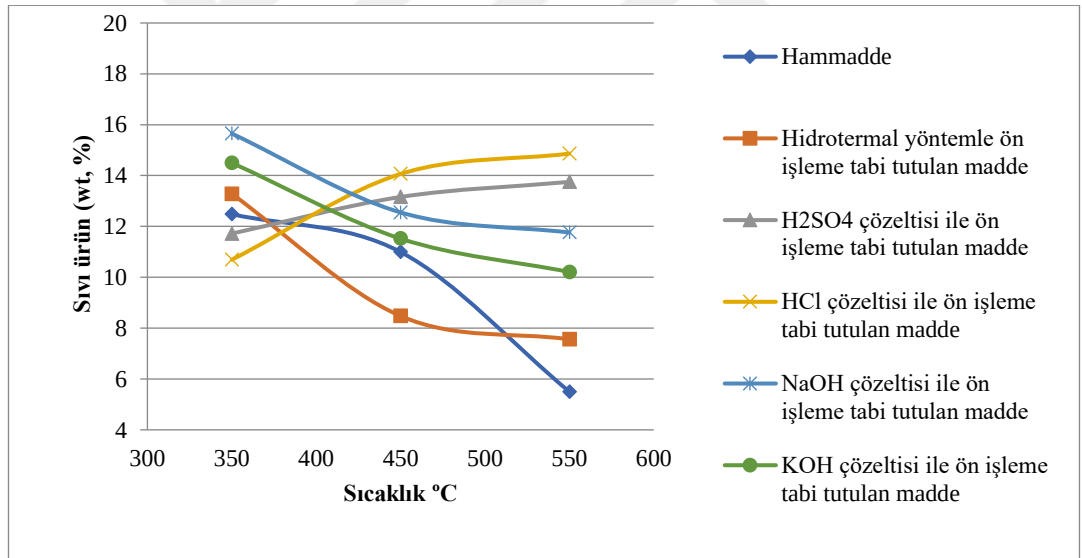
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Piroliz Denemeleri Sonuçları

Biyokütle olarak Sinapis alba bitkisinin termokimyasal dönüşüm yöntemlerinden biri olan piroliz yöntemiyle biyoyağ (sıvı) ve biyoçar (katı) ürünlere dönüştürülmesi gerçekleştirilmiştir. Piroliz prosesi öncesinde ön işlemler uygulanmış, piroliz denemeleri 350°C, 450°C ve 550°C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta yürütülmüştür. Bir tanesi işlem görmemiş, beş tanesi işlem görmüş olarak toplam altı farklı biyokütle numunesi piroliz edilmiştir.

4.1.1 Sıcaklığın sıvı ürün verimi üzerine etkisi

Farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen piroliz işlemlerinde sıcaklığın, sıvı ürüne dönüşüm verimlerine etkisi Şekil 4.1’de görülmektedir.



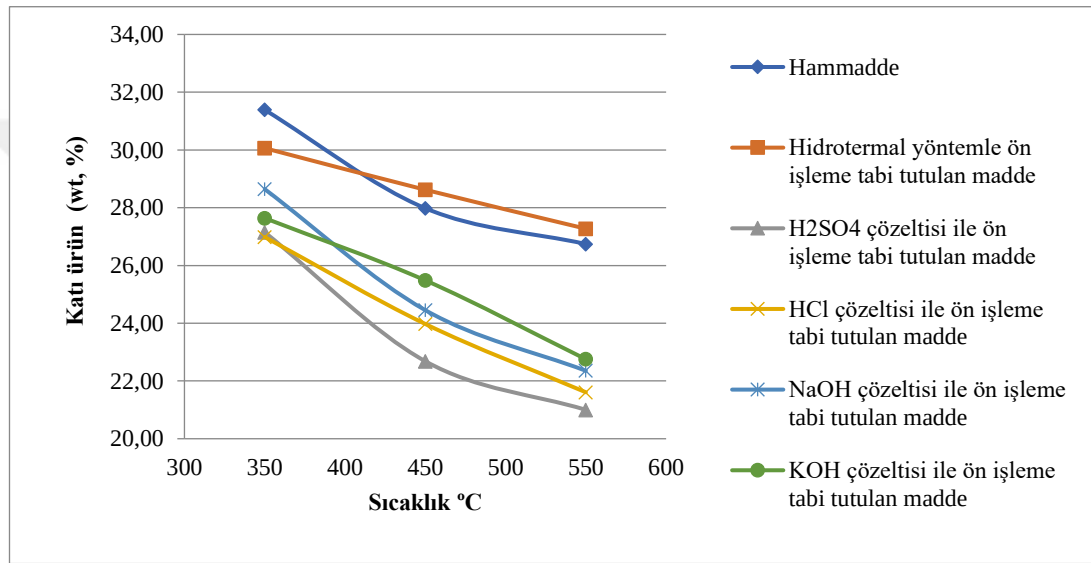
Şekil 4.1: Sıcaklığın sıvı ürün verimi üzerine etkisi.

350°C, 450°C ve 550°C sıcaklıklarda işlem görmemiş hammadde ve ön işleme tabi tutulan maddelerin piroliz sonuçları incelendiğinde, asit ile ön işleme tabi tutulmuş maddelerin sıcaklıkla sıvı ürün verimi artarken, diğerlerinin sıcaklıkla sıvı ürün verimi azalmıştır. İşlem görmemiş hammaddenin, HTL yöntemle ön işleme tabi tutulmuş, NaOH ve KOH çözeltileriyle ön işleme tabi tutulan maddelerin en yüksek sıvı ürün verimi 350°C’te elde edilmiş, ürün verimleri sırasıyla; %11,72, %13,28, %16,65,

%14,5 olarak belirlenmiştir. H_2SO_4 ve HCl çözeltilerine tabi tutulmuş maddelerin en yüksek sıvı ürün verimi ise $550^\circ C$ 'ta elde edilmiştir; elde edilen ürün verimleri sırasıyla %13,75 ve %14,86 olarak belirlenmiştir. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, maksimum sıvı ürün veriminin %16,65 olarak $350^\circ C$ 'ta, $NaOH$ çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş maddeden elde edildiği görülmüştür.

4.1.2 Sıcaklığın katı ürün verimi üzerine etkisi

Sıcaklığın, katı ürüne dönüşüm verimleri üzerine etkisi Şekil 4.2'de görülmektedir.

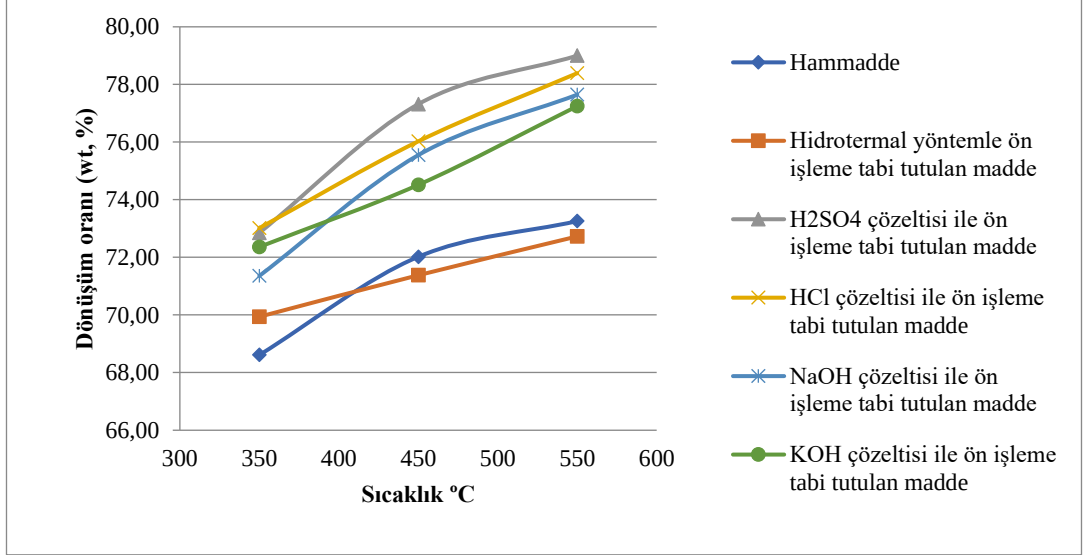


Şekil 4.2: Sıcaklığın katı ürün verimi üzerine etkisi.

Katı ürün veriminin genel olarak sıcaklık arttıkça azalma eğilimi gösterdiği görülmektedir. En yüksek dönüşümün %31,39 oranıyla, $350^\circ C$ 'ta ön işlem görmemiş hammaddeden elde edildiği görülmektedir.

4.1.3 Sıcaklığın sıvı ve gaz ürünler üzerine etkisi

Sıcaklığın, sıvı ve gaz ürün oluşumu üzerine etkisi Şekil 4.3'te görülmektedir.



Şekil 4.3. Sıcaklığın sıvı ve gaz ürün oluşumuna etkisi.

Şekil 4.3'te dönüşüm oranı olarak, sıvı ve gaz ürünlerin toplam miktarları ifade edilmektedir. Sıvı ve gaz ürünlere dönüşümde sıcaklığın etkisine bakıldığında, sıcaklık arttıkça dönüşümün arttığı görülmektedir. En yüksek dönüşüm verimi %79 oranında, 550°C'ta, H₂SO₄ çözeltisi ile ön işleme tabi tutulmuş maddenin pirolizi sonucunda elde edilmiştir. Piroliz işlemlerinin tüm denemelerin ürün verimleri ve dönüşüm oranı değerleri Çizelge 4.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.1. Tüm piroliz işlemlerinin ürün verimleri ve dönüşüm oranı değerleri.

Sıcaklık (°C)	Sıvı (%)	Katı (%)	Gaz (%)	Dönüşüm (%)
İşlem görmemiş hammaddenin piroliz sonucu				
350	12,48	31,39	56,13	68,61
450	10,99	27,98	61,03	72,02
550	5,50	26,74	67,76	73,26
HTL yöntemle ön işleme tabi tutulmuş maddenin piroliz sonucu				
350	13,28	30,06	56,66	69,94
450	8,48	28,62	62,90	71,38
550	7,56	27,27	65,17	72,73
H₂SO₄ çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş maddenin piroliz işlemi sonucu				
350	11,72	27,15	61,13	72,85
450	13,16	22,68	64,16	77,32
550	13,75	21,00	65,25	79,00
HCl çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş maddenin piroliz sonucu				
350	10,69	26,99	62,33	73,01
450	14,06	23,97	61,96	76,03
550	14,86	21,61	63,53	78,39
NaOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş maddenin piroliz sonucu				
350	15,65	28,64	55,71	71,36
450	12,55	24,45	63,00	75,55
550	11,76	22,35	65,89	77,65
KOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş maddenin piroliz sonucu				
350	14,50	27,64	57,86	72,36
450	11,52	25,48	63,00	74,52
550	10,21	22,75	67,04	77,25

4.2 Piroliz Ürünü Olarak Elde Edilen Sıvı ve Katı Ürünlerin Elementel Analiz Sonuçları

Biyokütle piroliz işlemi 350°C, 450°C ve 550°C olmak üzere üç farklı sıcaklıkta gerçekleştirilmiş, bu sıcaklıklarda elde edilen ürünlerin özellikleri birbirinden çok farklı olmadığından, sadece 550°C'ta elde edilen ürünlerin analiz sonuçları verilmiştir.

Hammadde olarak kullanılan Sinapis alba bitkisinin ve uygulanan piroliz işlemi sonucunda elde edilen biyoyağ numunelerinin elementel analizleri gerçekleştirilmiş, elde edilen sonuçlar ve enerji değerleri Çizelge 4.2'de gösterilmiştir. Çizelgede Yöntem 1 ile ifade edilen; HTL ön işleme tabi tutulmuş maddenin piroliz sonucu, Yöntem 2 ile ifade edilen; H₂SO₄ çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş maddenin piroliz sonucu, Yöntem 3 ile ifade edilen; HCl çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş maddenin piroliz sonucu, Yöntem 4 ile ifade edilen; NaOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş maddenin piroliz sonucu, Yöntem 5 ile ifade edilen; KOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş maddenin piroliz sonucu olarak kodlanmıştır.

Çizelge 4.2. Biyokütle olarak hammaddenin, 550°C'ta işlem görmüş biyokütlenin ve diğer yöntemlerle ön işleme tabi tutulmuş 550°C'ta piroliz edilen biyokütleden elde edilen sıvı ürünlerin elementel analiz sonuçları ve enerji değerleri.

Element	Hammadde	Hammaddenin piroliz sonucu	Yöntem 1 piroliz sonucu	Yöntem 2 piroliz sonucu	Yöntem 3 piroliz sonucu	Yöntem 4 piroliz sonucu	Yöntem 5 piroliz sonucu
C	41,60	58,44	50,69	54,09	52,59	54,16	55,07
H	5,43	7,069	9,169	6,824	6,385	6,96	6,528
N	0,58	1,583	1,265	0,598	0,42	0,218	0,211
O	52,39	32,91	38,88	38,49	40,61	38,66	38,19
H/C	1,555	1,441	2,155	1,503	1,446	1,531	1,412
O/C	0,945	0,422	0,575	0,534	0,5796	0,535	0,520
Enerji Değeri (Mj/kg) HHV	12,457	24,039	23,373	21,206	19,682	21,395	21,164

Çizelge 4.2 incelendiğinde, elde edilen sıvı maddelerin elementel analiz sonuçlarına göre piroliz edilmiş hammaddenin en yüksek karbon oranına (%50,69) sahip olduğu görülmektedir. Ürünlerin enerji değerleri karşılaştırıldığında, yine piroliz edilmiş hammaddenin en yüksek enerji değerine (24,0394Mj/kg) sahip olduğu görülmektedir.

Aynı şekilde hammaddenin, 550°C'ta işlem görmüş biyokütlenin ve diğer yöntemlerle ön işleme tabi tutularak piroliz edilen biyokütleden elde edilen biyoçarların elementel analiz sonuçları ve enerji değerleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. Hammaddenin, 550°C'ta işlem görmüş biyokütlenin ve diğer yöntemlerle ön işleme tabi tutularak piroliz edilen biyokütleden elde edilen katı ürünlerin elementel analiz sonuçları ve enerji değerleri.

Element	Hammadde	Hammaddenin piroliz sonucu	Yöntem 1 piroliz sonucu	Yöntem 2 piroliz sonucu	Yöntem 3 piroliz sonucu	Yöntem 4 piroliz sonucu	Yöntem 5 piroliz sonucu
C	41,60	55,13	52,49	59,4	69,41	75,91	65,04
H	5,43	1,017	1,699	1,727	2,181	4,096	3,779
N	0,58	0,827	0,724	0,832	0,857	0,412	0,245
O	52,39	43,03	45,09	38,04	27,55	19,58	30,94
H/C	1,555	0,219	0,385	0,346	0,374	0,642	0,692
O/C	0,945	0,585	0,644	0,480	0,297	0,193	0,357
Enerji Değeri (Mj/kg) HHV	12,457	12,350	12,070	15,720	21,656	28,061	21,875

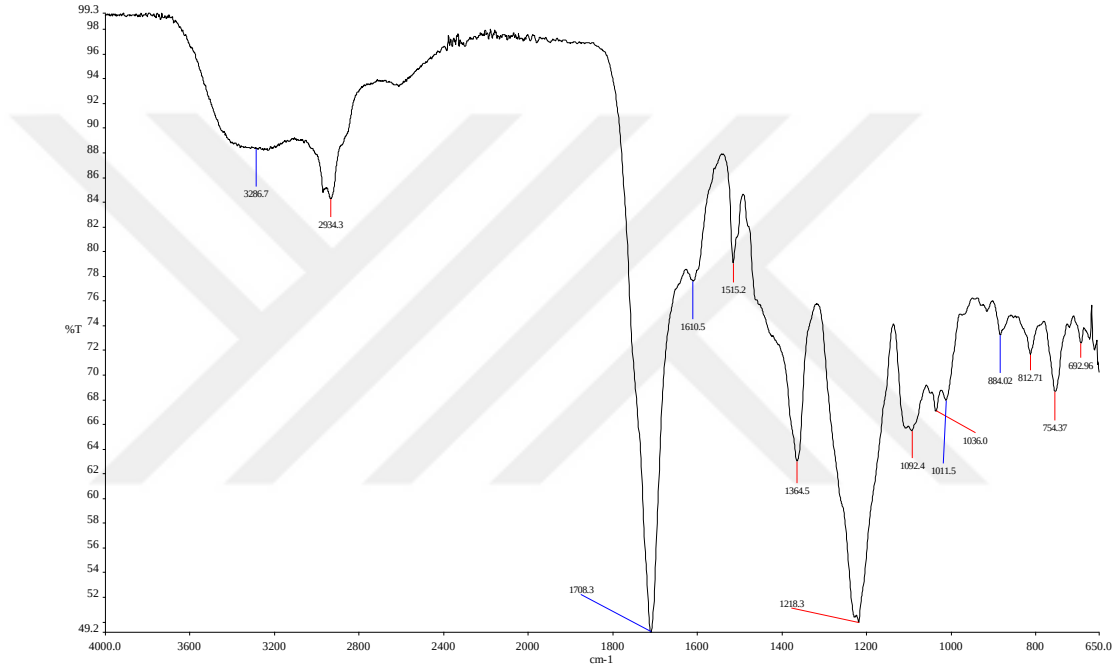
Elde edilen katı ürünlerin elementel analiz sonuçları incelendiğinde, NaOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutularak piroliz edilmiş biyokütlenin en yüksek karbon oranına (%75,91) sahip olduğu görülmektedir. Yine NaOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutularak piroliz edilmiş biyokütlenin en yüksek enerji değerine (28,061 Mj/kg) sahip olduğu görülmektedir. Bu sonuçlardan yola çıkıldığında, hammaddeye uygulanan piroliz işleminden önce uygulanan ön işlemlerin, karbon değerini arttırdığı sonucuna varılabilmektedir. Elde edilen bu enerji değerleri Dulong ve Petit formülüne göre hesaplanmıştır. Dulong ve Petit formülü aşağıda gösterilmektedir [63].

$$HHV = 33,83C + 114,45(H - O/8) + 9,38S \text{ Mj/kg}$$

4.3 Piroliz Denemeleri Sonunda Elde Edilen Sıvı Ürünlerin FT-IR Analiz Sonuçları

Piroliz denemeleri sonucunda elde edilen sıvı ürünlerin yapısal analizlerinde, FT-IR spektroskopisi analizleri gerçekleştirilmiştir. 550°C'ta gerçekleştirilen piroliz işlemi sonucunda elde edilen sıvı ürünlerin FT-IR spektrumları aşağıda verilmiştir.

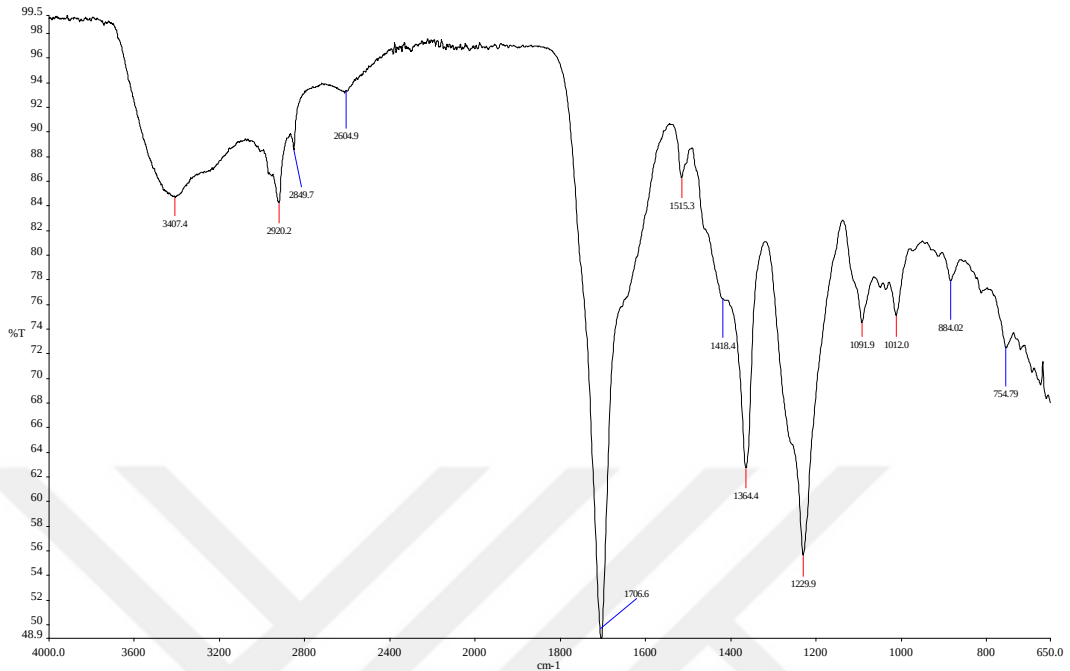
Şekil 4.4'te 550°C'ta piroliz işlemi görmüş hammaddenin FT-IR spektrumu gösterilmektedir.



Şekil 4.4. 550°C'ta piroliz işlemi görmüş hammaddenin FT-IR spektrumu.

Şekil 4.4'ten görüldüğü üzere, 3286,7 cm^{-1} dalga boyunda görülen pikin; alkol ve fenol gruplarına ait O-H bağındaki titreşimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. 2934,3 cm^{-1} dalga boyundaki pikin; alkan gruplarının C-H bağındaki titreşimlerinden, 1708,3 cm^{-1} dalga boyundaki pikin; aldehit, keton, ester ve karboksilli asit gruplarına ait C=O titreşimlerinden kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır. 1610,5 cm^{-1} dalga boyunda gözlenen pikin; C=C gruplarının varlığını gösterdiği, 1515,2-1364,5 cm^{-1} dalga boylarında gözlenen piklerin ise; NO₂ gruplarından kaynaklandığı düşünülmüştür. 1092,4-1218,3 cm^{-1} dalga boylarındaki pikler; alkol, ester, karboksilli asit ve eter gruplarında var olan C-O bağındaki titreşimlerden kaynaklanmaktadır. 812,02-812,71-754,34-692,96 cm^{-1} dalga boylarındaki piklerin ise; alken gruplarına ait C-H bağındaki titreşimlerden kaynaklandığı şeklinde düşünülmüştür.

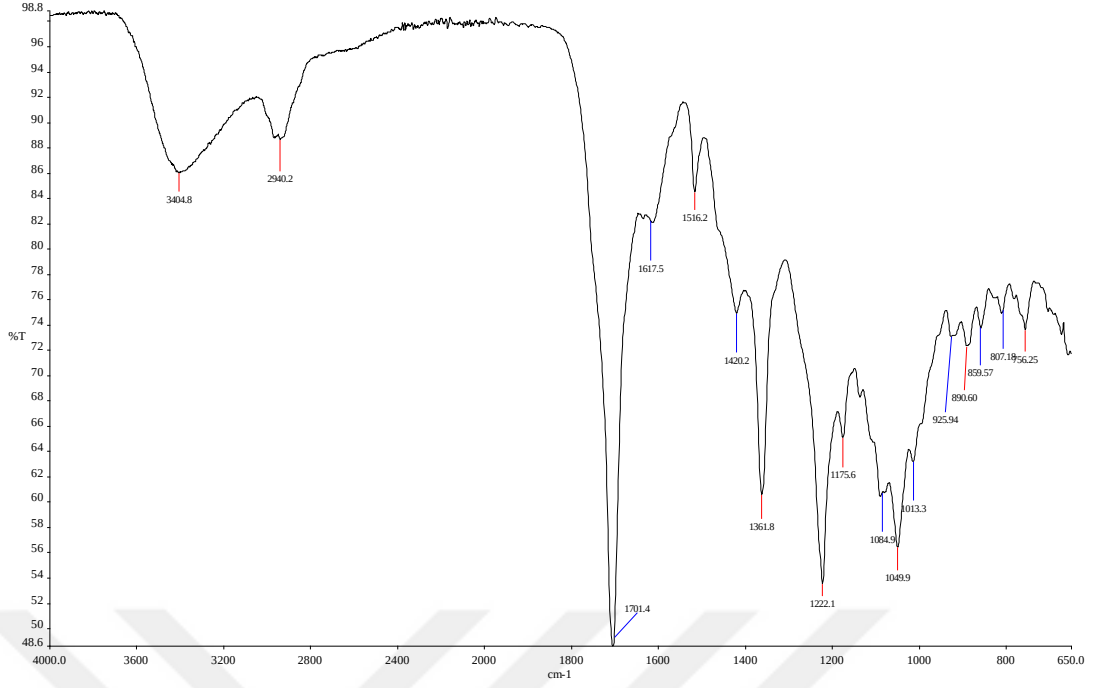
Şekil 4.5'te HTL yöntemle ön işleme tabi tutulmuş maddenin 550°C'ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen ürünün FT-IR spektrumu gösterilmektedir.



Şekil 4.5. HTL yöntemle ön işleme tabi tutulmuş maddenin 550°C'ta piroliz işleminden sonra elde edilen ürünün FT-IR spektrumu.

Şekil 4.5'ten görüldüğü üzere, 3407,4 cm^{-1} dalga boyunda görülen pikin, alkol ve fenol gruplarına ait O-H bağındaki titreşimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. 2920,2-2849,7 cm^{-1} dalga boylarında gözlenen piklerin, C-H bağındaki titreşimlerden, 1706,6 cm^{-1} dalga boyundaki pikin, Schiff bazlarına ait C=N titreşimlerinden kaynaklandığı düşünülmüştür. 1418,4 cm^{-1} dalga boyunda gözlenen pikin, aromatik halkalara ait C-H bağındaki titreşimlerden kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır. 1364,4 cm^{-1} dalga boyunda gözlenen pikin ise NO_2 gruplarından kaynaklandığı düşünülmüştür. 1229,9-1091,9-1012 cm^{-1} dalga boylarındaki pikler; alkol, ester, karboksilli asit ve eter gruplarında var olan C-O bağındaki titreşimlerden kaynaklanmaktadır. 884,02 cm^{-1} dalga boyundaki pikin ise alken gruplarına ait C-H bağındaki titreşimlerden kaynaklandığı şeklinde düşünülmüştür.

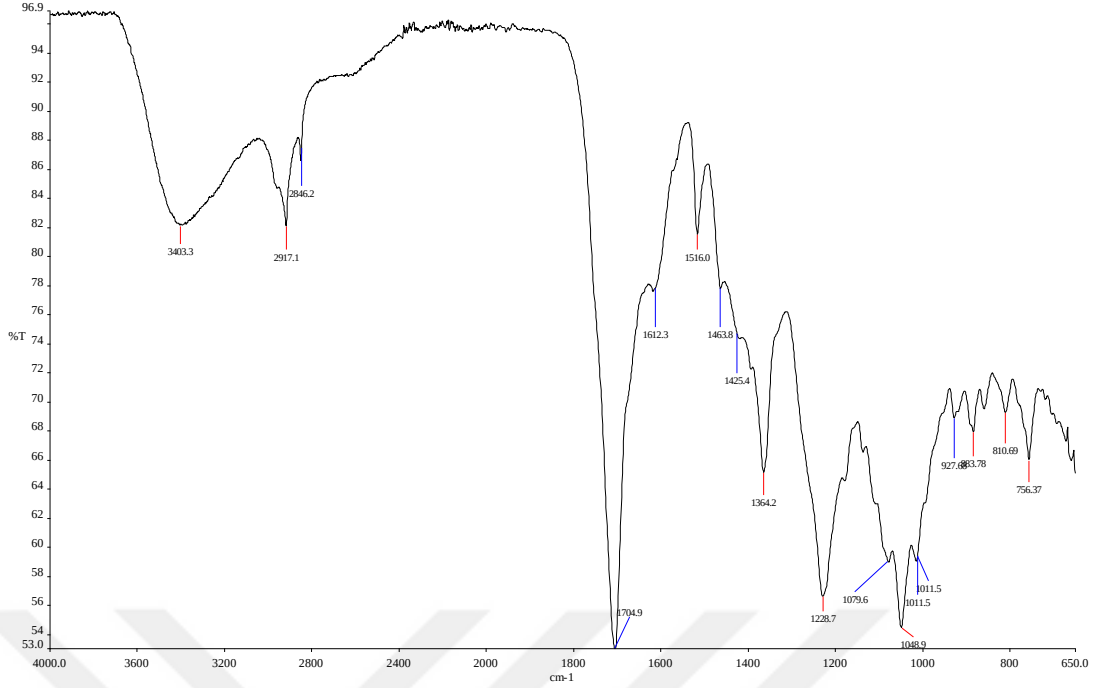
Şekil 4.6'da H_2SO_4 çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş maddenin 550°C'ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen ürünün FT-IR spektrumu gösterilmektedir.



Şekil 4.6. H₂SO₄ çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş maddenin 550°C'ta piroliz işleminden sonra elde edilen ürünün FT-IR spektrumu.

Şekil 4.6'dan görüldüğü üzere, 3404,8 cm⁻¹ dalga boyunda görülen pikin, alkol ve fenol gruplarına ait O-H bağındaki titreşimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. 2940,2 cm⁻¹ dalga boyundaki pikin, alkan gruplarının C-H bağındaki titreşimlerinden, 1701,4 cm⁻¹ dalga boyundaki pikin, Schiff bazlarına ait C=N titreşimlerinden kaynaklandığı düşünülmüştür. 1617,5 cm⁻¹ dalga boyunda gözlenen pikin, C=C gruplarının varlığını gösterdiği, 1516,2-1361,8 cm⁻¹ dalga boylarında gözlenen piklerin ise, NO₂ gruplarından kaynaklandığı düşünülmüştür. 1420,2 cm⁻¹ dalga boyunda gözlenen pikin, aromatik halkaların C-H bağındaki titreşimlerden kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır. 1222,1 cm⁻¹ dalga boyundaki pik, alkol, ester, karboksilli asit ve eter gruplarında var olan C-O bağındaki titreşimlerden kaynaklanmaktadır. 925-625 cm⁻¹ dalga boylarındaki gözlenen piklerin ise alken gruplarına ait C-H bağındaki titreşimlerden kaynaklandığı şeklinde düşünülmüştür.

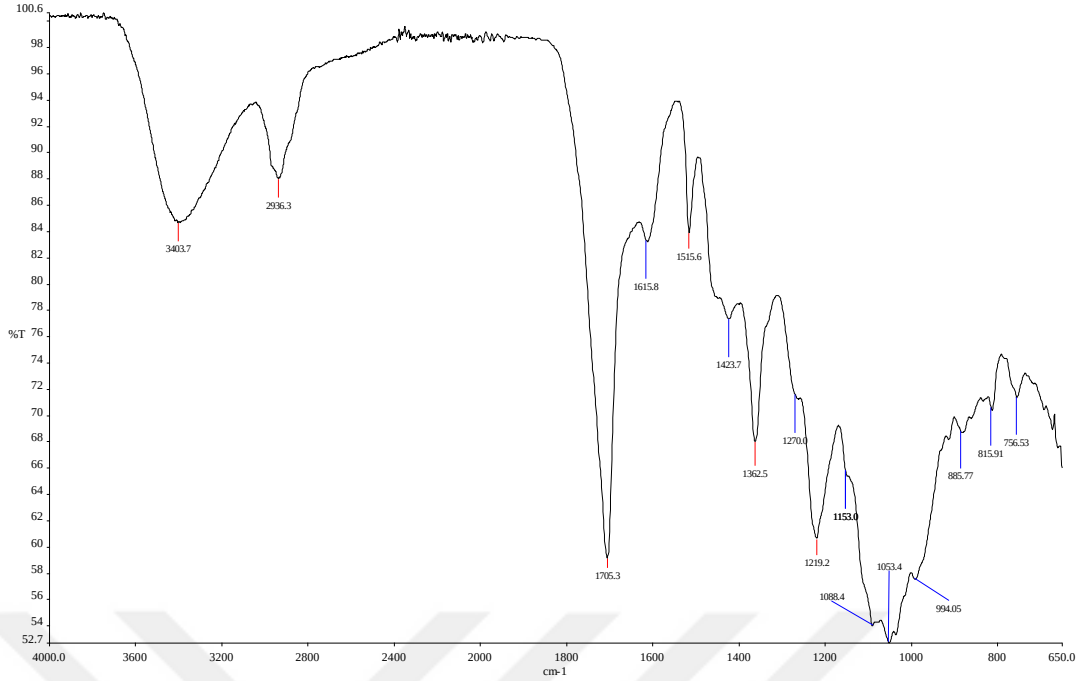
Şekil 4.7'de HCl çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş maddenin 550°C'ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen ürünün FT-IR spektrumu gösterilmektedir.



Şekil 4.7. HCl çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş maddenin 550°C'ta piroliz işleminden sonra elde edilen ürünün FT-IR spektrumu.

Şekil 4.7'den görüldüğü üzere, 3403,3 cm^{-1} dalga boyunda görülen pikin, alkol ve fenol gruplarına ait O-H bağındaki titreşimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. 2917,2-2846,2 cm^{-1} dalga boylarında gözlenen piklerin, C-H bağındaki titreşimlerden, 1704,9 cm^{-1} dalga boyundaki pikin, Schiff bazlarına ait C=O titreşimlerinden kaynaklandığı düşünülmüştür. 1612,3 cm^{-1} dalga boyunda gözlenen pikin, C=C gruplarının varlığını gösterdiği, 1463,8-1425,4 cm^{-1} dalga boylarındaki piklerin, aromatik halkaların C-H bağındaki titreşimlerden kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır. 1516-1364,2 cm^{-1} dalga boylarında gözlenen piklerin ise NO_2 gruplarından kaynaklandığı düşünülmüştür. 1228,7 cm^{-1} dalga boyundaki pik; alkol, ester, karboksilli asit ve eter gruplarında var olan C-O bağındaki titreşimlerden kaynaklanmaktadır. 927,68-883,78-810,63-756,373 cm^{-1} dalga boylarındaki piklerin ise alken gruplarına ait C-H bağlarındaki titreşimlerden kaynaklandığı şeklinde düşünülmüştür.

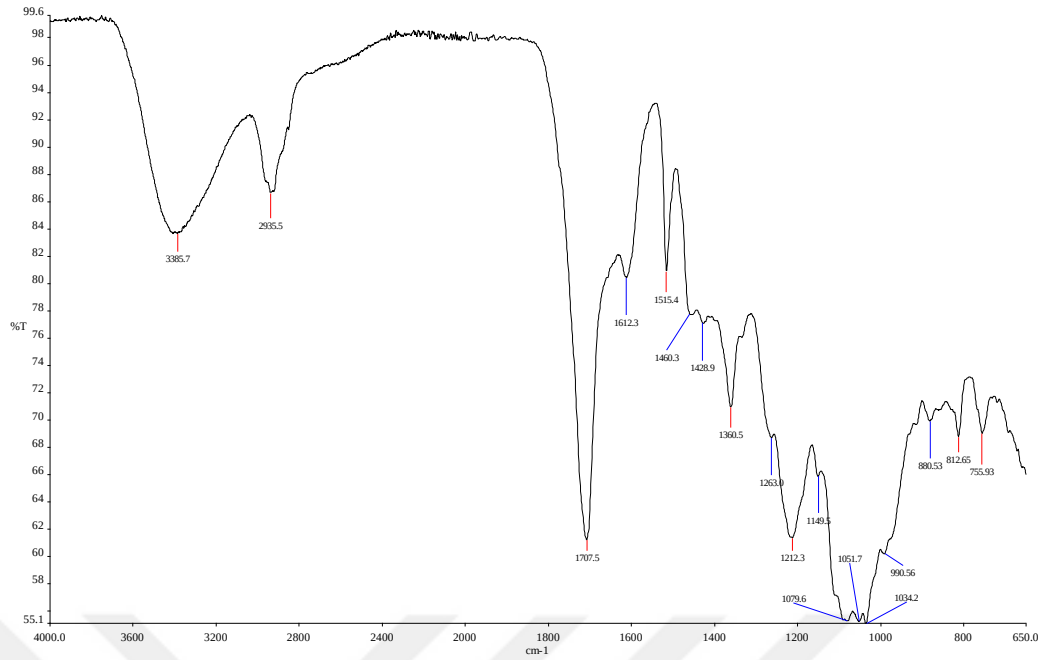
Şekil 4.8'de NaOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş maddenin 550°C'ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen ürünün FT-IR spektrumu gösterilmektedir.



Şekil 4.8. NaOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş maddenin 550°C'ta piroliz işleminden sonra elde edilen ürünün FT-IR spektrumu.

Şekil 4.8'den görüldüğü üzere, 3403,7 cm^{-1} dalga boyunda görülen pikin, alkol ve fenol gruplarına ait O-H bağındaki titreşimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. 2936,3 cm^{-1} dalga boyundaki pikin, alkan gruplarının C-H bağındaki titreşimlerden, 1705,3 cm^{-1} dalga boyundaki pikin, aldehit, keton, ester ve karboksilli asit gruplarına ait C=O titreşimlerinden kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır. 1615,8 cm^{-1} dalga boyunda gözlenen pikin, C=C gruplarının varlığını gösterdiği, 1515,6-1362,5 cm^{-1} dalga boylarında gözlenen piklerin ise NO_2 gruplarından kaynaklandığı düşünülmüştür. 1423,7-1362,5 cm^{-1} dalga boylarındaki pikler, aromatik halkalarının C-H bağındaki titreşimlerden kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır. 1270-1219-1153-1088,4-1053,4 cm^{-1} dalga boylarındaki pikler, alkol, ester, karboksilli asit ve eter gruplarında var olan C-O bağındaki titreşimlerden kaynaklanmaktadır. 9994,05-885,77-815,91-756,53 cm^{-1} dalga boylarındaki piklerin ise alken gruplarına ait C-H bağındaki titreşimlerden kaynaklandığı düşünülmüştür.

Şekil 4.9'da KOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş maddenin 550°C'ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen ürünün FT-IR spektrumu gösterilmektedir.



Şekil 4.9. KOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş maddenin 550°C'ta piroliz işleminden sonra elde edilen ürünün FT-IR spektrumu.

Şekil 4.9'dan görüldüğü üzere, 3385,7 cm^{-1} dalga boyunda görülen pikin, alkol ve fenol gruplarına ait O-H bağındaki titreşimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. 2935,7 cm^{-1} dalga boyundaki pikin, alkan gruplarının C-H bağındaki titreşimlerinden, 1707,5 cm^{-1} dalga boyundaki pikin, aldehit, keton, ester ve karboksilli asit gruplarına ait C=O titreşimlerinden kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır. 1612,3 cm^{-1} dalga boyunda gözlenen pikin, C=C gruplarının varlığını gösterdiği, 1515,4- 1360,5 cm^{-1} dalga boylarında gözlenen piklerin ise NO_2 gruplarından kaynaklandığı düşünülmüştür. 1460,3-1428,9 cm^{-1} dalga boylarındaki pikler, aromatik halkalarının C-H bağındaki titreşimlerden kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır. 1263-1212,3-1149,51079,6 cm^{-1} dalga boylarındaki pikler, alkol, ester, karboksilli asit ve eter gruplarında var olan C-O bağındaki titreşimlerden kaynaklanmaktadır. 990,54-880,33-812,65-755,93 cm^{-1} dalga boylarındaki piklerin ise alken gruplarına ait C-H bağındaki titreşimlerden kaynaklandığı şeklinde düşünülmüştür.

4.4 Piroliz Denemeleri Sonunda Elde Edilen Sıvı Ürünlerin GC-MS Analiz Sonuçları

Biyokütlenin 550°C'ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen sıvı ürünlerin GC-MS sonuçları Çizelge 4.4'te görülmektedir. Analiz sonucunda toplamda 127 farklı bileşik

elde edilmiştir. İlk 10 bileşik Çizelge 4.4'te özetlenmiş, diğer 117 bileşik Ekler kısmında Çizelge A.1 olarak verilmiştir. Genel olarak bu bileşiklerin aromatik (mono aromatik, poli aromatik) alifatik ve oksijenli bileşik türlerinde olduğu görülmüştür. Elde edilen sıvı ürünlerin GC-MS sonuçları incelendiğinde sonuçların, FT-IR spektroskopisi sonuçlarıyla uyumlu oldukları görülmüştür.

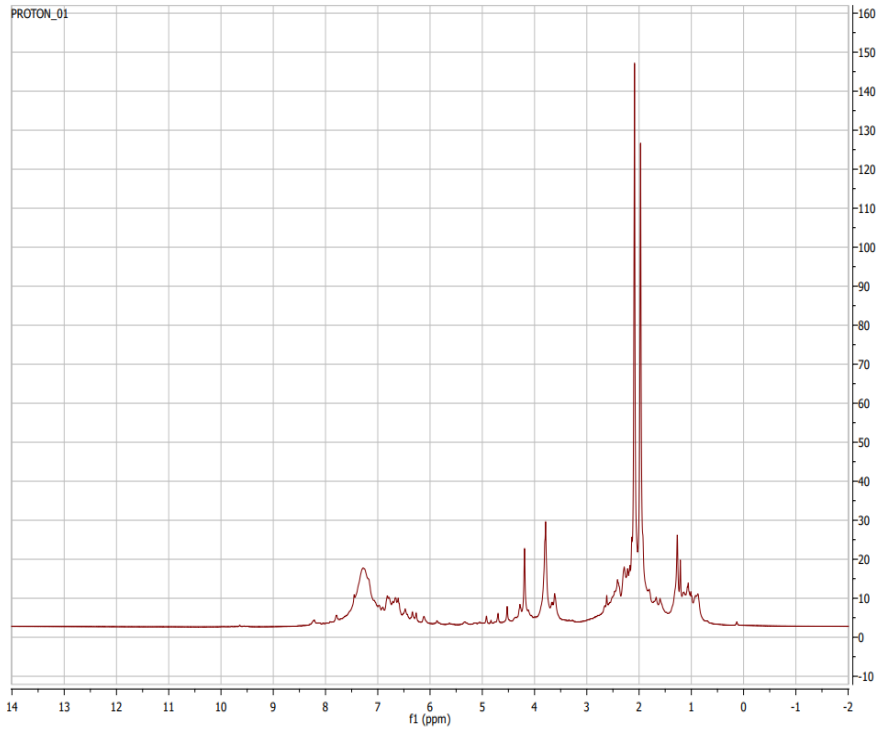
Çizelge 4.4. Biyokütlenin 550°C'ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen sıvı ürünlerin GC-MS analiz sonuçları.

No	Bileşik formülü	Bileşik adı	Hammadde (%)	Yöntem 1 (%)	Yöntem 2 (%)	Yöntem 3 (%)	Yöntem 4 (%)	Yöntem 5 (%)
1	C ₅ H ₁₀ O ₃	3,3-dimethoxypropional	0,43	-	-	-	-	-
2	C ₅ H ₈ N ₂	3,5-Dimethylpyrazole	1,64	-	-	-	-	-
3	C ₆ H ₁₂ O ₂	4-hydroxy-4-methylpentan-2-one	1,52	0,62	0,61	-	0,29	0,55
4	C ₅ H ₆ O ₂	furan-2-ylmethanol	1,53	-	2,8	0,91	2,12	1,65
5	C ₅ H ₈ O ₃	2-oxopropyl acetate	0,40	0,43	-	-	-	-
6	C ₁₇ H ₁₄ O ₅	2-(3,4-dimethoxyphenyl)-7-hydroxychromen-4-one	-	-	-	-	0,31	-
7	C ₆ H ₆ O ₂	1-(furan-2-yl)ethanone	1,41	0,31	-	-	-	-
8	C ₅ H ₆ O ₂	2-hydroxycyclopent-2-en-1-one	0,37	2,34	0,29	-	0,43	-
9	C ₆ H ₈ O	3-methylcyclopent-2-en-1-one	1,72	2,68	-	0,45	-	1,08
10	C ₆ H ₆ O	phenol	2,22	2,38	1,17	1,41	1,02	1,26

4.5 Piroliz Denemeleri Sonunda Elde Edilen Sıvı Ürünlerin ^1H NMR Analiz Sonuçları

Piroliz denemeleri sonucunda elde edilen sıvı ürünlerin yapısal analizlerinde, ^1H NMR analizleri de gerçekleştirilmiştir. 550°C 'ta yürütülen piroliz işlemleri sonucunda elde edilen sıvı ürünlerin ^1H NMR sonuçları aşağıda verilmiştir.

Şekil 4.10'da 550°C 'ta piroliz işlemi görmüş hammaddenin ^1H NMR sonucu görülmektedir.

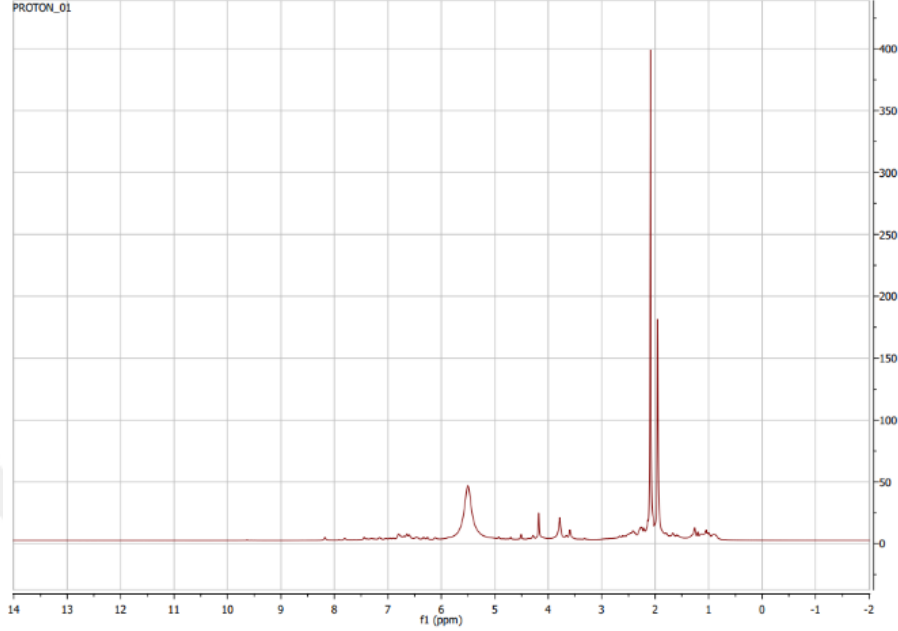


Şekil 4.10. 550°C 'ta piroliz işlemi görmüş hammaddenin ^1H NMR spektrumu.

^1H NMR analizleri genel olarak; 6-8 ppm arasında gözlenen piklerin aromatik gruplara ait protonlar olduğu, 4 ppm'de gözlenen piklerin metoksi ($-\text{OCH}_3$) grubuna, 9-10 ppm arasında gözlenen piklerin aldehit grubuna, 2 ppm'de gözlenen piklerin ise çözücüden kaynaklandığı şeklinde yorumlanmıştır.

Elde edilen sıvı ürünlerin GC-MS, FT-IR ve ^1H NMR sonuçları incelendiğinde sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğu ve birbirlerini desteklediği görülmektedir.

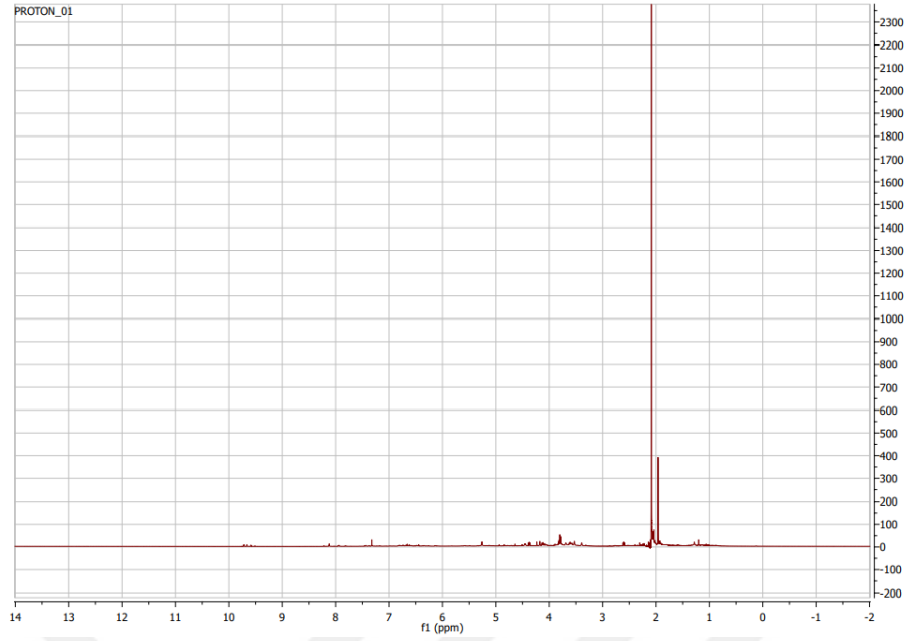
Hidrotermal yöntemle ön işleme tabi tutulmuş maddenin 550°C'ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen ürünün ^1H NMR analizinin sonucu Şekil 4.11'de görülmektedir.



Şekil 4.11. HTL yöntemle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C'ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen ürünün ^1H NMR spektrumu.

Hidrotermal yöntemle ön işleme tabi tutulmuş maddenin pirolizinden sonra elde edilen ürünün ^1H NMR spektrumuna incelendiğinde, yine 2 ppm'de gözlenen protonun aseton çözücüsünden, 3-6 ppm'de gözlenen protonların ise C-H alifatik yapıli maddelerden kaynakli olduğu düşünölmektedir.

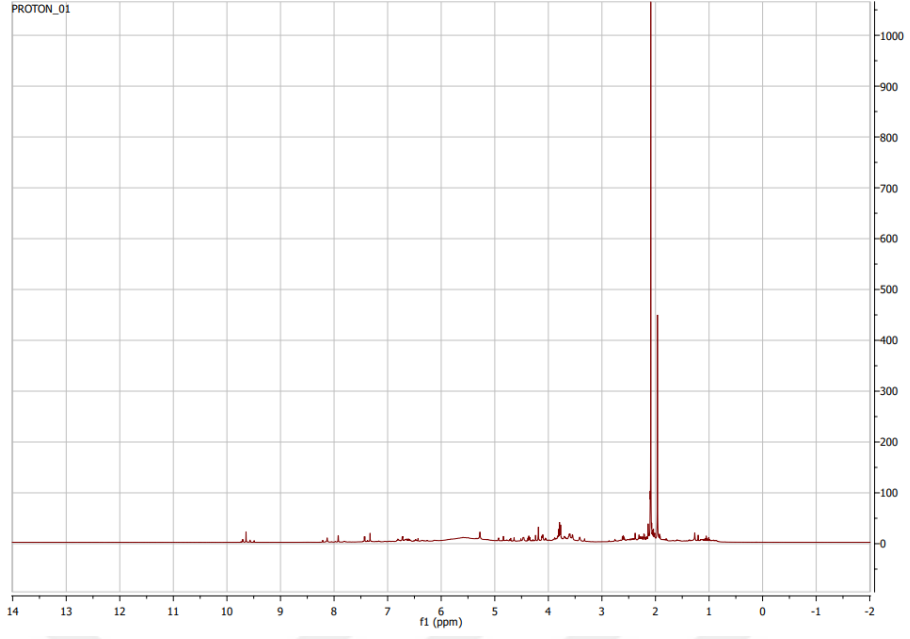
H_2SO_4 çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C'ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen ürünün ^1H NMR spektroskopisi sonucu Şekil 4.12'de verilmektedir.



Şekil 4.12. H_2SO_4 çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C 'ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen ürünün ^1H NMR spektrumu.

Piroliz işleminden önce H_2SO_4 çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin ^1H NMR spektroskopisi analizinde anlamlı olarak yalnızca 2 ppm'de gözlenen çözücü protonu olmuştur.

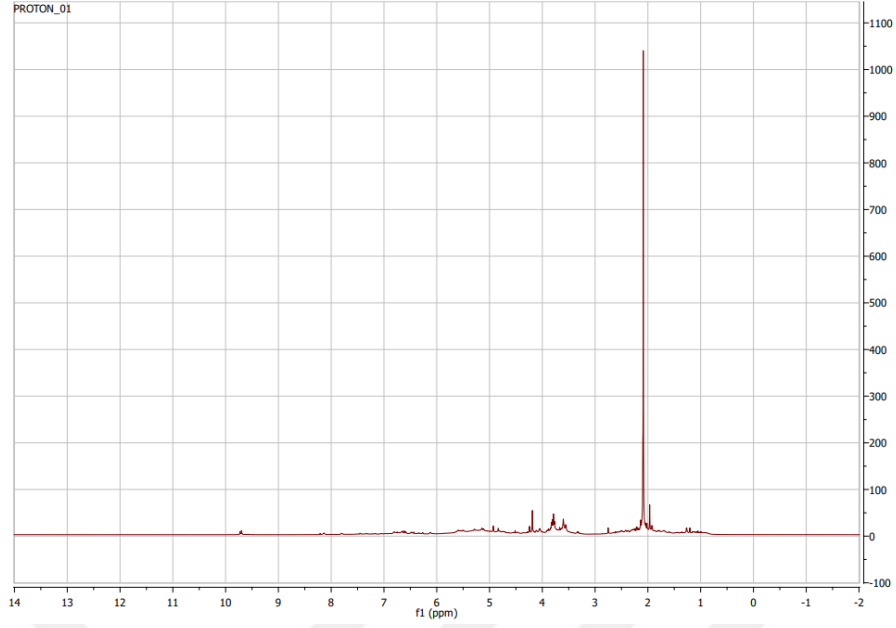
HCl çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C 'ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen ürünün ^1H NMR spektrumu Şekil 4.13'te verilmektedir.



Şekil 4.13. HCl çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C'ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen ürünün ^1H NMR spektrumu.

Benzer şekilde HCl çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin piroliz işleminden sonra elde edilen ürünün analizinde, 2 ppm'de görünen protonun, aseton çözücüsüne ait olduğu düşünülmektedir.

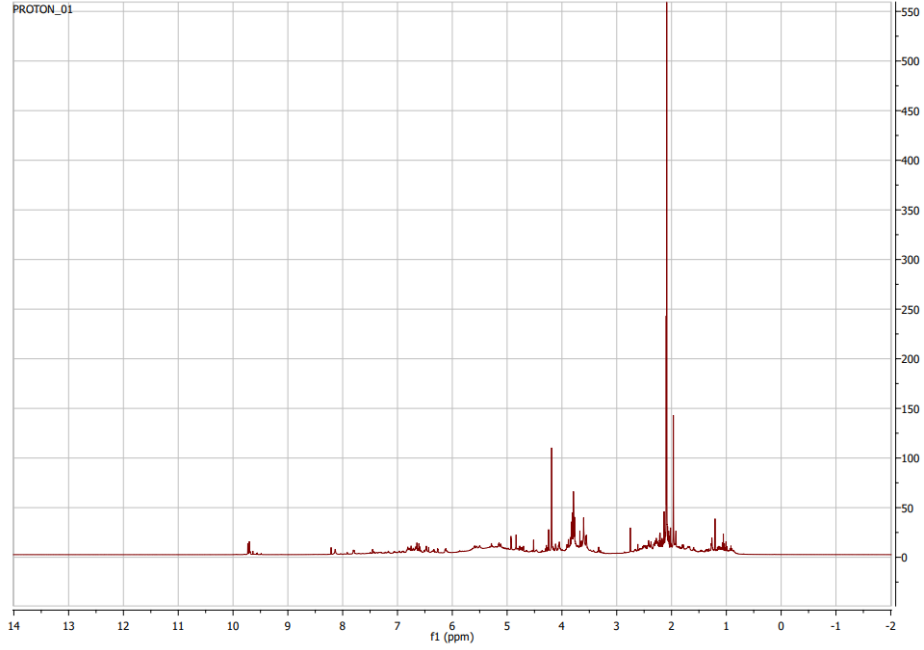
NaOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C'ta piroliz işleminden sonra elde edilen ürünün ^1H NMR analizi sonucu Şekil 4.14'te verilmektedir.



Şekil 4.14. NaOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C'ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen ürünün ^1H NMR spektrumu.

NaOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin piroliz işleminden sonra elde edilen ürünün analizinde, 2 ppm'de gözlenen aseton kaynaklı çözücü pikinin dışında, 3-4 ppm arasında gözlenen protonların C-H ve C-H₂ protonlarının yarılmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

KOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C'ta piroliz işleminden sonra elde edilen ürünün ^1H NMR analizi sonucu Şekil 4.15'te verilmektedir.



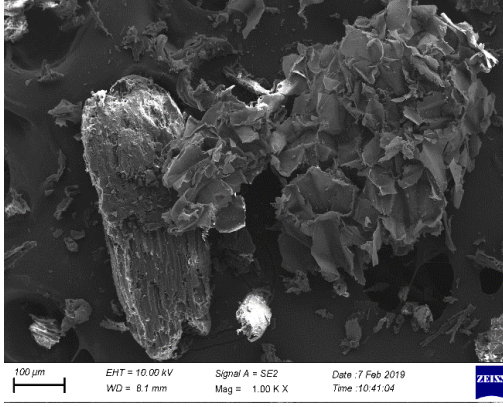
Şekil 4.15. KOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C'ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen ürünün ^1H NMR spektrumu.

KOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin piroliz işleminden sonra elde edilen ürünün analizinde, 1 ppm'de gözlenen protonun maddenin yapısında bulundurduğu $-\text{CH}_3$ yapısından geldiği, 2 ppm'de gözlenen protonun çözücü protonu olduğu, 3-5 ppm arasında gözlenen proton yarımalarının, maddenin yapısında bulunan $-\text{CH}_3$ ve $-\text{CH}_2$ alifatik yapılardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

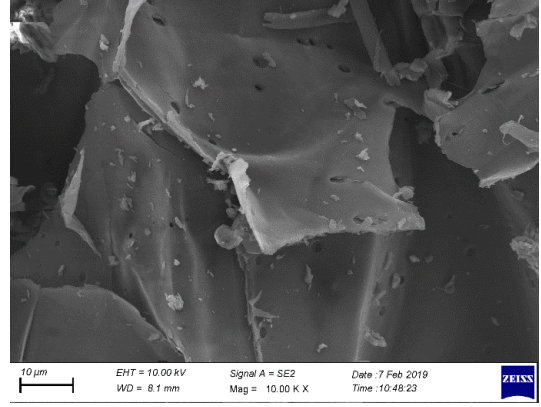
4.6 Piroliz Denemeleri Sonunda Elde Edilen Katı Ürünlerin SEM Analiz Sonuçları

Hammaddenin, 550°C'ta piroliz işlemi görmüş biyokütlenin ve diğer yöntemlerle ön işleme tabi tutulduktan sonra piroliz işlemi görmüş biyokütlelerin yüzey incelemeleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile gerçekleştirilmiştir.

Piroliz işlemi görmemiş hammaddenin farklı büyütme oranlarında kaydedilen SEM görüntüleri Şekil 4.16'da gösterilmektedir.



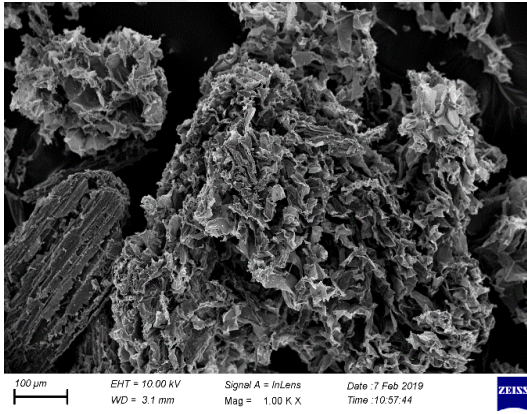
a)



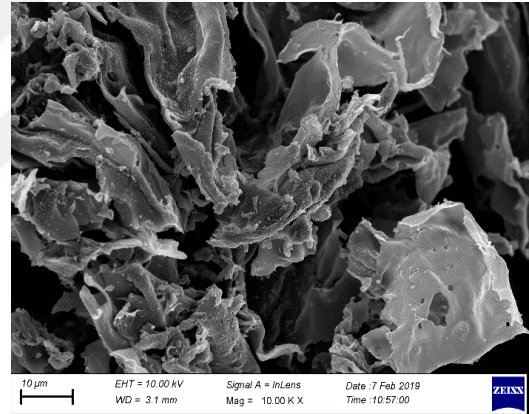
b)

Şekil 4.16. Piroliz işlemi görmemiş hammaddenin farklı büyütme oranlarında kaydedilen SEM görüntüleri.

550°C'ta piroliz işlemi görmüş biyokütlenin farklı büyütme oranlarında kaydedilen SEM görüntüleri Şekil 4.17'de gösterilmektedir.



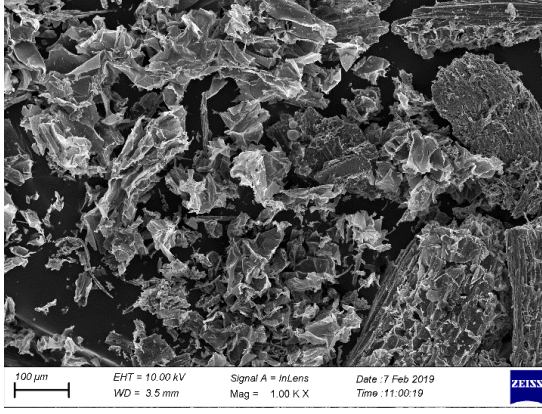
a)



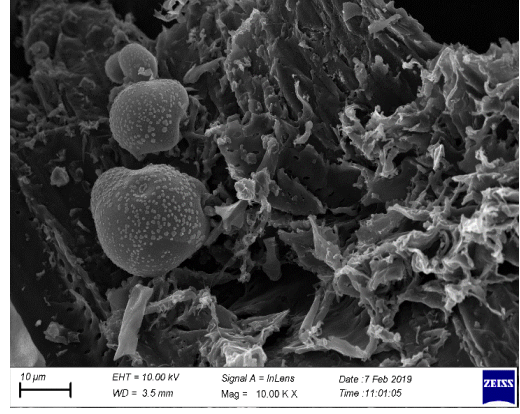
b)

Şekil 4.17. 550°C'ta piroliz işlemi görmüş hammaddenin farklı büyütme oranlarında kaydedilen SEM görüntüleri.

Hidrotermal yöntemle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C'ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen biyoçarın farklı büyütme oranlarında kaydedilen SEM görüntüleri Şekil 4.18'de gösterilmektedir.



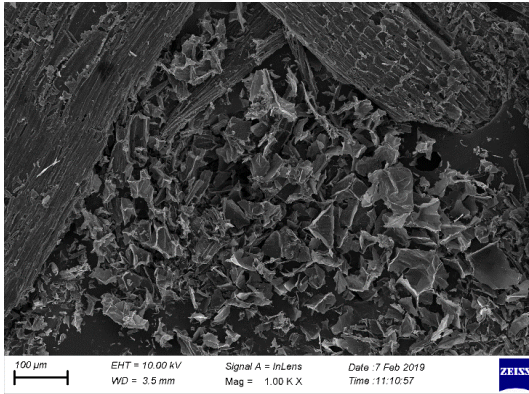
a)



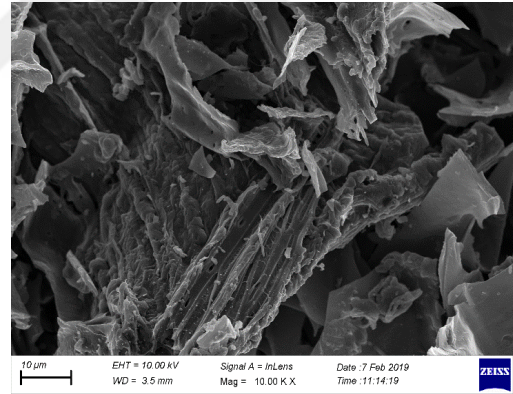
b)

Şekil 4.18. Hidrotermal yöntemle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C'ta piroliz işleminden sonra elde edilen biyoçarın farklı büyütme oranlarında kaydedilen SEM görüntüleri.

H₂SO₄ çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C'ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen biyoçarın farklı büyütme oranlarında kaydedilen SEM görüntüleri Şekil 4.19'da gösterilmektedir.



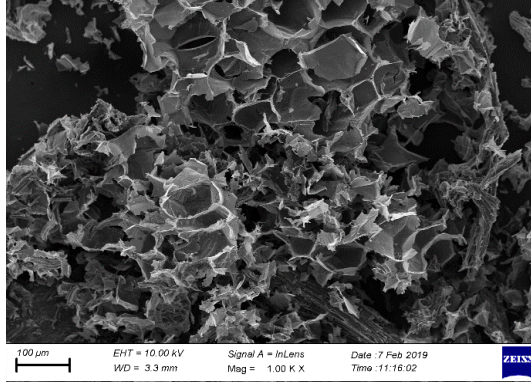
a)



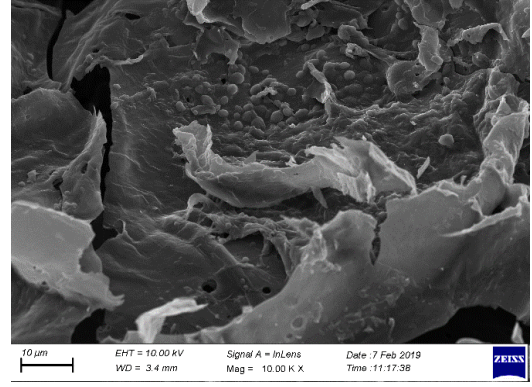
b)

Şekil 4.19. H₂SO₄ çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C'ta piroliz işleminden sonra elde edilen biyoçarın farklı büyütme oranlarında kaydedilen SEM görüntüleri.

HCl çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C'ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen biyoçarın farklı büyütme oranlarında kaydedilen SEM görüntüleri Şekil 4.20'de gösterilmektedir.



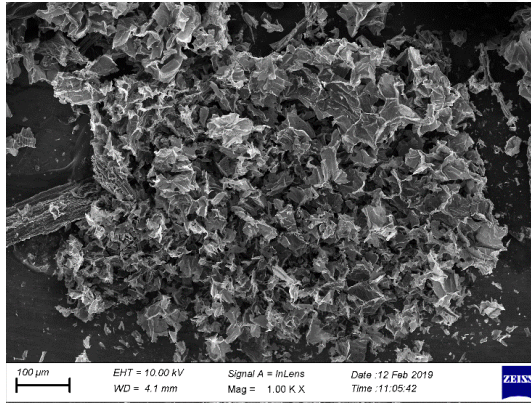
a)



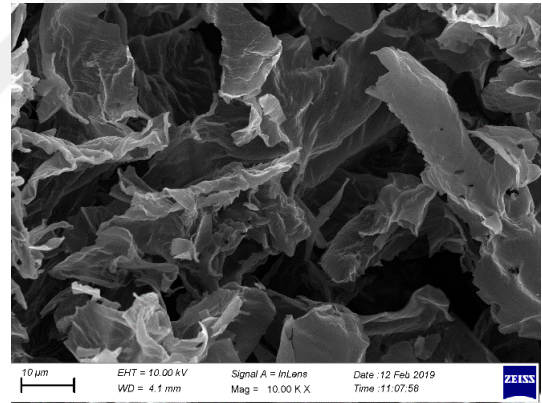
b)

Şekil 4.20: HCl çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C'ta piroliz işleminden sonra elde edilen biyoçarın farklı büyütme oranlarında kaydedilen SEM görüntüleri.

NaOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C'ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen biyoçarın farklı büyütme oranlarında kaydedilen SEM görüntüleri Şekil 4.21'de gösterilmektedir.



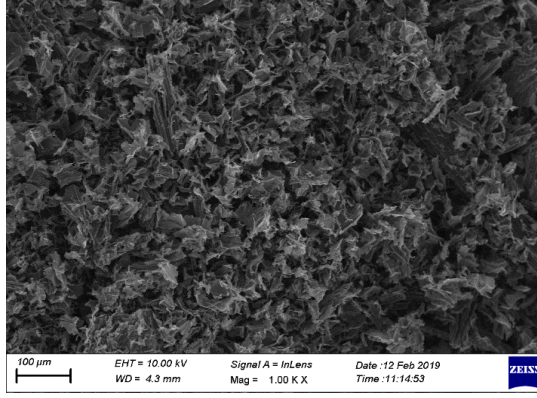
a)



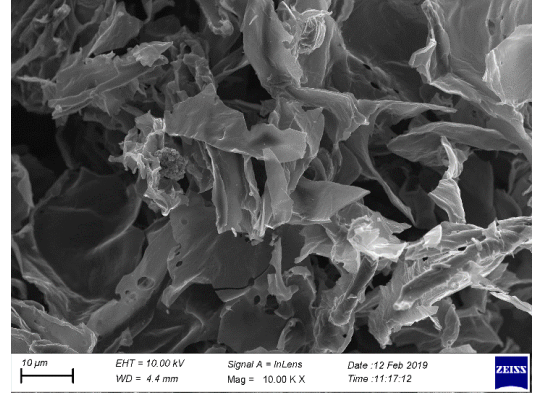
b)

Şekil 4.21: NaOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C'ta piroliz işleminden sonra elde edilen biyoçarın farklı büyütme oranlarında kaydedilen SEM görüntüleri.

KOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C'ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen biyoçarın farklı büyütme oranlarında kaydedilen SEM görüntüleri Şekil 4.22'de gösterilmektedir.



a)



b)

Şekil 4.22: KOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin 550°C'ta piroliz işleminden sonra elde edilen biyoçarın farklı büyütme oranlarında kaydedilen SEM görüntüleri.

SEM analizleri sonuçları incelendiğinde; piroliz işleminden sonra elde edilen tüm ürünlerin yüzey morfolojilerinin, piroliz edilmemiş hammaddenin yüzey morfolojisinden farklı oldukları görülmektedir.

Sonuç olarak yapılan tüm işlemler sonucunda, elde edilen veriler literatürdeki sonuçlarla karşılaştırmalı olarak incelenmiştir: Örneğin Durak H. (2016) yaptıkları çalışmada *Xanthium strumarium* yıllık bitkisinden elde edilen biyokütlenin katalizör ile gerçekleştirilmiş piroliz işlemi sonucunda en yüksek biyoyağ veriminin 550°C'ta %27,97 oranında gerçekleştiği görülmüştür [54]. Benzer şekilde Ertaş ve Alma (2010), tarafından yapılan bir çalışmada, *Laurus nobilis* bitkisinden elde edilen biyokütlenin pirolizi sonucu en yüksek biyoyağ veriminin; 500°C'ta %21,91 oranında gerçekleştiği sonucuna varılmıştır [59]. Gerçekleştirmiş olduğumuz çalışmada *Sinapis alba* bitkisinden elde edilen biyokütlenin piroliz işlemi sonucunda en yüksek biyoyağ verimi; 350°C'ta %16,65 oranında NaOH çözeltisi ile ön işleme tabi tutulmuş maddeden elde edilmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında elde edilen biyoyağ verimi literatürdeki çalışmaların ortalamasına yakın bir değerdedir.

Aysu ve Durak (2015), tarafından yapılan bir çalışmada, çok yıllık meyan kökü bitkisinin katalizör kullanılarak gerçekleştirildiği piroliz işlemi sonucunda en yüksek dönüşüm ürün verimi; 550°C'ta %74,50 oranında bulunmuştur [50]. Bizim gerçekleştirmiş olduğumuz çalışmada *Sinapis alba* bitkisinden elde edilen biyokütlenin piroliz işlemi sonucunda dönüşüm ürün verimi; 550°C'ta %79 oranında

H₂SO₄ çözeltisi ile ön işleme tabi tutulmuş maddeden elde edilmiştir. Görüldüğü üzere bu değer literatürde gerçekleştirilen çalışmada elde edilen değerden daha yüksektir.

Kim, K. H. vd (2011), bir başka çalışmada Liriodendron tulipifera yıllık bitkisinden elde edilen biyokütlenin 400-500°C'larda hızlı piroliz işlemi sonucunda sıvı ürünlerinin enerji değerleri 15-17 Mj/kg olarak bulunmuştur [58]. Bizim gerçekleştirmiş olduğumuz çalışmada Sinapis alba bitkisinden elde edilen biyokütlenin piroliz işlemi sonucunda sıvı ürünlerin en yüksek enerji değeri; 550°C'ta, 24,039 Mj/kg olarak hammaddenin piroliz işlemi sonucunda elde edilmiştir. Bu değer literatürdeki genel bulgularla karşılaştırıldığında; elde ettiğimiz enerji değeri ortalamaya yakın olarak bulunmuştur.



5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Sinapis alba bitkisi saf olarak ve ön işlemler uygulanarak 350°C, 450°C ve 550°C sıcaklıklarda piroliz yöntemiyle sıvı, katı ve gaz ürünlere dönüştürülmüştür. Yapılan denemeler sonunda elde edilen sıvı ve katı ürünler elementel analiz, FT-IR, GC-MS, ¹H NMR ve SEM analiz yöntemleri ile incelenmiştir.

Sıcaklığın biyoyağ ürünü üzerine etkisinin araştırıldığı çalışmada, asit ile ön işleme tabi tutulmuş biyokütlenin sıcaklıkla sıvı ürün verimleri artarken, hammaddenin, HTL yöntemi ve baz çözeltisiyle ön işlemler görmüş biyokütlelerin sıcaklıkla sıvı ürün verimlerinin azaldığı dikkat çekmiştir. HCl ve H₂SO₄ çözeltileriyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütlelerin 550°C'ta sıvı ürün verimleri sırasıyla %14,86 ve %13,75 değerlerine ulaşmıştır. 450°C'taki denemeler için -tüm maddelerde lineer olarak gelişme de- sıvı ürün verimi; asit ile ön işleme tabi tutulan maddeler hariç diğerlerinde azalmıştır. 350°C'ta yapılan denemelerde KOH çözeltisi ve HTL yöntemi ile ön işleme tabi tutulmuş biyokütlelerde ve hammaddede ürün verimi sırasıyla %14,5, %13,28, %11,72 oranlarında gerçekleşmiştir. Bu işlem sonucunda en yüksek sıvı ürün verimi 350°C'ta NaOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş biyokütleden %16,65 oranında sağlanmıştır. Katı ürün verimi ise sıcaklık arttığında bariz bir şekilde azalmış olup, maksimum katı ürün verimi 350°C'ta %31,39 oranıyla işlem görmemiş hammaddeden elde edilmiştir. Sıcaklığa bağlı dönüşüm grafiği incelendiğinde tüm maddelerin dönüşümlerinin sıcaklıkla arttığı gözlemlenmektedir. Maksimum dönüşüm verimini %79 oranında, 550°C sıcaklık değerinde, H₂SO₄ çözeltisi ile ön işleme tabi tutulmuş madde de gerçekleştirmiştir.

Piroliz işleminden sonra hammaddenin ve ön işleme tabi tutulmuş maddelerin biyoyağ ürünlerine elementel analiz işlemi yapılmıştır. Bu işlem sonucunda maddelerin içerdikleri karbon miktarları karşılaştırılmış ve en fazla karbon miktarına piroliz işlemi görmüş hammaddenin sahip olduğu anlaşılmıştır. Piroliz işlemi görmeden önce %41,60 miktarında karbona sahip hammaddenin piroliz işleminden sonra karbon miktarının %58,44'e ulaştığı kaydedilmiştir. Ayrıca hammaddenin piroliz işleminden önce enerji değeri 12,457 Mj/kg iken, piroliz ile biyoyağ haline getirildikten sonraki enerji değeri 2 kat artarak 24,039 Mj/kg enerji değerine ulaşmıştır. Piroliz işleminden sonra elde edilen biyoçar ürünlerin elementel analiz sonuçları yorumlandığında, en

fazla karbon miktarının %75,91 oranında NaOH çözeltisi ile ön işleme tabi tutulmuş maddede bulunduğu görülmüştür. Benzer şekilde piroliz işlemi görmüş katı maddelerin enerji değerleri incelendiğinde en yüksek enerji veriminin 28,061 Mj/kg ile NaOH çözeltisiyle ön işleme tabi tutulmuş maddede bulunduğu hesaplanmıştır.

GC-MS analizi sonucunda aromatik (mono aromatik, poli aromatik) alifatik ve oksijenli bileşikler elde edilmiştir. Bu GC-MS analizinde 3 karbonlu yapıdan 53 karbonlu yapıya kadar bileşik okunmuş olup, 127 farklı yapıya rastlanmıştır. Sonuçlardan anlaşılabileceği üzere piroliz işleminden sonra maddeler istenilen özellikleri kazanmıştır. Elde edilen sıvı ürünlerin GC-MS sonuçları incelendiğinde FT-IR spektrumları ve GC-MS sonuçlarının birbirleriyle uyumlu oldukları görülmüştür. FI-IR ve ¹H NMR spektroskopisi analiz sonuçları karşılaştırılmalı olarak incelendiğinde, benzer fonksiyonel gruplara ait pikler olduğu sonucuna varılmıştır. SEM cihazıyla alınan görüntülerde, her maddede reaksiyonların gerçekleşmesi sonucunda katı yüzeyde farklılaşmalara ve yapısal bozunmalara rastlanmıştır.

Denemeler genel olarak değerlendirildiğinde, piroliz denemelerinde biyoyağ ve biyoçar ürünleri için artan enerji değerleri piroliz işleminin amacına uygun olarak gerçekleştiği sonucuna varılmıştır. Böylece piroliz yöntemiyle biyokütle daha yüksek enerjili ve kullanılabilir bir kaynağa dönüşmüştür.

Sonuç olarak piroliz işlemi sonucunda, Sinapis alba bitkisi daha yüksek enerjili maddelere dönüşmüş, enerji alanında kullanılabilecek sıvı ve katı ürünler elde edilmiştir. Sinapis alba bitkisinin piroliz edilmesiyle elde edilen bu ürünlerin, yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılabilecekleri sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Koç, E., ve Kaplan, E., 2008. Dünyada ve Türkiye’de Genel Enerji Durumu-I Dünya Değerlendirmesi, Termodinamik Dergisi, 187,70-80.
- [2] Şenel, M. C., 2012. Rüzgâr Türbinlerinde Güç İletim Mekanizmalarının Tasarım Esasları-Dinamik Davranış, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- [3] Karagöl, E. T. ve Kavaz, İ., 2017. Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji, Analiz Dergisi, 197.
- [4] Topal, M., ve Arslan, E. I., 2008. Biyokütle Enerjisi ve Türkiye VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES.
- [5] Şensöz, M.C., 2012. Türbinlerde Güç İletim Mekanizmalarının Tasarım Esasları-Dinamik Davranış. Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- [6] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, (2016). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı, ilgili ve ilişkili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri Raporu.
- [7] Türkiye Petrolleri Mayıs 2017, (2016). Ham Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu.
- [8] URL-1 <www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energyeconomics/statistical-review/bp-stats-review->, Erişim tarihi: 03.02.2019.
- [9] Ren 21, 2012. Renewables 2012 Global Status Report, Renewables Energy Policy Network for the 21st Century (REN21), Paris, France.
- [10] Enerji Tabii ve Kaynaklar Bakanlığı, 2012.2012 Yılı Enerji Dengesi Raporu, Ankara.
- [11] The International Geothermal Association(IGA), 2012.Geothermal in the World Report, USA.
- [12] World Wind Energy Associaton, 2012. Worldwide Wind Energy Statistics 2012-Half Year Report, World Wind Energy Associaton, Bonn, Germany.
- [13]World Bioenergy Association, 2017. World Global Bioenergy Statistics 2017 Report, London.
- [14] Makina Mühendisleri Odası, 2012. Türkiye’nin Enerji Görünümü, MMO Dergisi, 588, Ankara.
- [15] Türkiye Petrolleri, 2017, “2016 Yılı Ham Petrol ve Doğal Gaz Sektör Raporu, Ankara.

- [16] Karagöl, T. E., ve Kavaz, İ., 2017. Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji, Analiz, Dergisi, 4,197,5-32.
- [17] Makine Mühendisleri Odası, 2018. Türkiye’nin Enerji Görünümü, MMO Dergisi,691, Ankara.
- [18] IHA, International Hydropower Association (2018),Hydropower Status Report, USA.
- [19] Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı, 2016. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Yenilenebilir Enerji Raporu, Ankara.
- [20] Türkiye Rüzgâr Enerjisi Birliği (TÜREB), 2018. Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistik Raporu, İstanbul.
- [21] URL-2 <<https://www.enerjiportali.com/yenilenemez-enerji-kaynaklari-nedir>>, Erişim tarihi: 12.03.2019.
- [22] Ağaçbiçer, G.,2017. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Ekonomisine Katkısı ve Yapılan Swot Analizleri, Termodinamik Dergisi, 5,196,3-4.
- [23] Oktit, Ş., 2000. Fotovoltaik Güneş Pilleri ve Güç Sistemleri Dünyası, Bugünü, Yarını, Türkiye’de 8. Enerji Kongresi, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Gelişimi, 2,47-62.
- [24] Kumbur, H., Özer, Z., Duygu, H., Özsoy, E., ve Avcı, D., 2017. Türkiye’de Geleneksel ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli ve Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması, Mersin Üniversitesi Çevre Mühendisliği Dergisi, 2-43.
- [25] Uzunoğlu, M., Yüksel, R., ve Mert, O., 2001. Güneş Enerjisi ve Kullanım Alanları, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, TMMOB, 89-95.
- [26] Yelmen, B., ve Çakır. M., T., 2017. Yeşil Enerji Kaynakları ve Teknolojileri, Aksaray Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Dergisi, 2,5-12.
- [27] URL-3 <www.tubitak.gov.tr/btpd/btspd/platform/enerji/altgrup/cevre/bolum2>, Erişim tarihi: 23.02.2019.
- [28] Ersöz, A., Yolcular, S., ve Olgun, Ö., 2001. Geleceğin Yakıtı Hidrojen, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, TMMOB, 239-244.
- [29] Basım, A., 2004. Türkiye’ nin Enerji Sorunları ve Çözüm Önerileri, Tugad Dergisi, 3,4-5.

- [30] Akgül, M., Güler, C., ve Çetin, N.S., 2001. Enerji Kaynağı Olarak Lignoselülozik Maddelerden Yararlanma, IV Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi Bildiriler Kitabı, 571-580.
- [31] Frank, R. C., 2007. Bioenergy for a Sustainable Environment, Energy, Outlook, 7-11.
- [32] Schmidhuber, S., 2011. Biyokütle Sektör Raporu, Biomass Sustainability Analysis, 6.
- [33] Şen, H.M., 2006. Türkiye' nin Genel Enerji Durumu, TÜ Enerji Çalıştay ve Sergisi, Bildiriler ve Sunumlar, Enerji Enstitüsü Yayınları, 1,10-23.
- [34] Skog, K. E., ve Rosen, H. N., 1997. United States Wood Biomass for Energy and Chemicals: Possible Changes in Supply, End uses, and Environmental Impacts, Forest Products, 47,2-63-69.
- [35] Özçimen, D., 2007. Çeşitli Bitkisel Atıkların Karbonizasyon Yoluyla Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [36] Nag, A., 2008. Biofuels Refining and Performance, Mc Graw-Hill Companies, New York, 23,12-45.
- [37] Velden, M.V., Baeyens, J., Brems, A., Janssens, B. ve Dewil, R., 2010, Fundamentals, Kinetics and Endothermicity of the Biomass Pyrolysis Reaction, Renewable Energy, 35,232- 242.
- [38] Demirbaş, A., 2010. Biorefineries: for Biomass Upgrading Facilities, Springer-Verlag London Limited, London- Chemistry, 3,12-34.
- [39] Saxena, R.C., Seal, D., Kumar, S., ve Goyal, H.B., 2008. Thermo-chemical Routes for Hydrogen Rich Gas from Biomass, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12,1909-192.
- [40] Goyal, H.B., Seal, D., ve Saxena, R.C., 2008. Bio-fuels from Thermochemical Conversion of Renewable Resources: A Review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12,504- 517.
- [41] Xianwen, D., Chuangzhi, W., Haibin, L., Yong, C., 2000. The Fast Pyrolysis of Biomass in CFB Reactor, Energy Fuels, 14,552-557.
- [42] Onay, Ö., ve Koçkar, O. M., 2003. Slow, Fast and Flash Pyrolysis of Rapeseed, Renewable Energy, 28,2417-2433.

- [43] Shafizadeh, F., Milne, L.K., ve Mudge T.A., 1985. Pyrolytic Reactions and Products of Biomass, in: Fundamentals of Biomass Thermochemical Conversion, Elsevier, 183-217.
- [44] Yorgun, S., Şensöz, S., ve Koçkar, Ö. M., 2001. Characterization of the Pyrolysis Oil Produced in the Slow Pyrolysis of Sunower-Extracted Baggasse, Biomass and Bioenergy, 20,141-148.
- [45] Yorgun, S., Şensöz, S., Koçkar, Ö. M. 2001. Characterization of the Pyrolysis Oil Produced in the Slow Pyrolysis of Sunower-Extracted Baggasse, Biomass and Bioenergy, 20,141-1489.
- [46] Altschmitt, M., Streicher, W., ve Wiese, A., 2007. Technology, Economics and Environment, Springer, Renewable Energy, 20,13-4.
- [47] Mohan, D., Pittman, C.U. ve Steele, P.H., (2006), “Pyrolysis of Wood/Biomass for Bio-oil: A Critical Review”, Energy & Fuels, 20:848-889].
- [48] Oisik D., Ajit K., ve Sarmah, A., Mechanism of Waste Biomass Pyrolysis: Effect of Physical and Chemical Pre-treatments Science of the Total Environment, Elsevier, 67,13-70.
- [49] Aysu, T., Durak, H., Güner, S., Aydın, S., ve Nevzat E., 2016. Bio-oil Production Via Catalytic Pyrolysis of *Anchusa azurea*: Effects of Operating Conditions on Product Yields and Chromatographic Characterization, Bioresource Technology, 205,7–14.
- [50] Aysu, T., ve Durak H., 2015. Catalytic Pyrolysis of Liquorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) in a Fixed-bed Reactor: Effects of Pyrolysis Parameters on Product Yields and Character and Applied Pyrolysis, Journal of Analytica, 156–172.
- [51] Durak, H., ve Aysu, T., 2015. Effect of Pyrolysis Temperature and Catalyst on Production of Bio-oil and Bio-char From Avocado Seeds, Res. Chem. Intermed 41,80-67.
- [52] Ateş, F., Pütün, E., ve Pütün, A.E., 2004. Fast Pyrolysis of Sesame Stalk: Yields and Structural Analysis of Bio-oil, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 71,2-779-790.
- [53] Wang, C., Du, Z., Pan, J., Li, J., ve Yang, Z., 2007. Direct Conversion of Biomass to Biopetroleum at Low Temperatur, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 78,438-444.
- [54] Durak, H., 2016. Pyrolysis of *Xanthium Strumarium* in a Fixed Bed Reactor: Effects of Boron Catalysts and Pyrolysis Parameters on Product Yields and Character, Journal of Analytica, 38, 10,1400–1409.

- [55] Zabaniotou, A. A., Ioannidou, O., Antonakou, E., ve Lappas, A., 2008, Experimental Study of Pyrolysis for Potential Energy, Hydrogen and Carbon Material Production From Lignocellulosic Biomass, International Journal of Hydrogen Energy, 33,2433-2444.
- [56] Onay, Ö., ve Koçkar, O.M., 2004. Fixed-bed Pyrolysis of Rapeseed, Biomass and Bioenergy, 26,289-299.
- [57] Dandik, L. ve Aksoy, H.A., 1999. Effect of Catalysts on the Pyrolysis of Used Oil Carried Out in a Fractionating Pyrolysis Reactor, Renewable Energy, 16,1007-1010.
- [58] Kim, K. H., Eom, I. Y., Lee, S. M., Choi, D., Yeo, H., Choi, J. W, 2011. Investigation of Physicochemical Properties of Bio-oils Produced From Yellow Poplar Wood (*Liriodendron tulipifera*) at Various Temperatures and Residence. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 92,2-9.
- [59] Ertaş M, Alma H, M., 2010. Pyrolysis of Laurel (*Laurus nobilis* L.) Extraction Residues in a Fixed-bed Reactor: Characterization of Bio-oil and Bio-char. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 88, 22-29.
- [60] Eroğlu, A., E., Polat R., Özbay G, 2018. Pyrolysis of Goat Manure to Produce Bio-oil. Engineering Science and Technology, an International Journal. 22, 452-457.
- [61] Bridgwater, A.V, 2012. Review of Fast Pyrolysis of Biomass and Product Upgrading. Biomass and Bioenergy.38, 68-94.
- [62] URL-4 <<https://hort.purdue.edu/newcrop/dukeenergy/Sinapisalba.html>>, Erişim tarihi: 27.03.2019.
- [63] URL-5 <<https://www.dersimiz.com/bilgibankasi/dulong-ve-petit-yasasi-hakkinda-bilgi-3593>>, Erişim tarihi: 17.05.2019.

EKLER

Çizelge A.1. Biyokütlenin 550°C'ta piroliz edilmesinden sonra elde edilen sıvı ürünlerin GC-MS analiz sonuçları.

No	Bileşik formülü	Bileşik adı	Hammadde (%)	Yöntem 1 (%)	Yöntem 2 (%)	Yöntem 3 (%)	Yöntem 4 (%)	Yöntem 5 (%)
11	C ₆ H ₁₀ O ₂	2-methoxy-3,4-dihydro-2~{H}-pyran	0,59	-	-	-	-	0,78
12	C ₆ H ₈ O ₂	3-methylcyclopentane-1,2-dione	2,40	3,56	1,25	2,06	1,85	2,34
13	C ₇ H ₁₀ O	2,3-dimethylcyclopent-2-en-1-one	0,95	0,80	-	-	0,26	0,51
14	C ₇ H ₈ O	3-methylphenol	5,57	5,76	2,79	2,96	2,01	4,44
15	C ₇ H ₈ O ₂	2-methoxyphenol	4,32	-	2,44	2,54	1,59	1,88
16	C ₈ H ₁₀ O	2,6-dimethylphenol	5,69	5,36	-	0,68	-	0,30
17	C ₆ H ₆ O ₃	3-hydroxy-2-methylpyran-4-one	0,64	-	1,09	1,23	0,59	0,52
18	C ₇ H ₁₀ O ₂	3-ethyl-2-hydroxycyclopent-2-en-1-one	0,99	1,42	-	-	-	0,45
19	C ₆ H ₇ NO	3-aminophenol	0,44	-	-	-	-	-
20	C ₈ H ₁₀ O ₂	2-methoxy-4-methylphenol	2,80	1,95	-	2,75	2,80	-
21	C ₆ H ₆ O ₂	benzene-1,2-diol	2,07	3,40	2,72	3,26	2,89	2,54

22	C ₆ H ₁₀ O ₂	ethyl 2-methylprop-2-enoate	0,65	-	-	-	-	-
23	C ₉ H ₁₂ O	2-ethyl-4-methylphenol	0,72	-	-	-	-	-
24	C ₉ H ₁₂ O	3-propan-2-ylpheno	0,32	-	-	-	-	-
25	C ₇ H ₈ O ₃	3-methoxybenzene-1,2-dio	3,89	5,08	4,14	-	4,56	-
26	C ₉ H ₁₂ O ₂	2-(2-methoxyphenyl)ethanol	3,42	3,70	2,33	-	2,25	4,01
27	C ₉ H ₁₀ O ₂	4-ethenyl-2-methoxyphenol	4,68	3,97	1,14	3,95	3,60	3,80
28	C ₈ H ₁₀ O ₃	2,6-dimethoxyphenol	9,97	9,79	7,50	5,76	6,49	6,33
29	C ₁₀ H ₁₄ O ₂	2-methoxy-4-propylphenol	0,64	-	1,14	1,62	2,31	2,15
30	C ₉ H ₁₁ F	1-fluoro-4-propan-2-ylbenzene	2,07	2,56	0,73	1,00	-	1,63
31	C ₁₀ H ₁₂ O ₂	2-methoxy-4-[(~{E})-prop-1-enyl]phenol	5,74	5,78	-	1,24	-	-
32	C ₉ H ₈ O ₂	2-methyl-1-benzofuran-5-ol	0,60	-	-	-	-	-
33	C ₁₀ H ₁₀ O ₂	3-(3-methylphenyl)prop-2-enoic acid	0,35	-	-	-	-	-
34	C ₉ H ₁₀ N ₂	5,6-dimethyl-1~{H}-benzimidaz	0,37	--	-	-	-	-
35	C ₉ H ₁₂ O ₂	4-propylbenzene-1,3-diol	0,37	-	-	1,58	-	0,39

36	C ₉ H ₁₀ O ₃	(2-methoxyphenyl) acetate	1,37	-	-	-	-	-
37	C ₈ H ₈ O ₂	4-(hydroxyethyl)benzaldehyde	0,77	-	-	-	-	-
38	C ₁₀ H ₁₄ O ₃	1,2,5-trimethoxy-3-methylbenzene	3,49	-	2,60	-	-	3,43
39	C ₉ H ₁₂ O ₃	4-(2-hydroxyethyl)-2-methoxyphenol	0,78	-	-	-	-	-
40	C ₆ H ₄ O ₂	cyclohexa-2,5-diene-1,4-dione	3,16	2,59	1,10	2,56	2,5	-
41	C ₁₁ H ₁₄ O ₃	2,6-dimethoxy-4-prop-2-enylphenol	5,49	5,79	6,45	10,23	8,64	8,19
42	C ₄ H ₄ N ₂ O	1~{H}-pyrimidin-2-one	0,92	0,92	-	-	-	-
43	C ₁₂ H ₂₀ O	4,4-dimethyladamantan-2-ol	0,35	-	-	-	-	-
44	C ₉ H ₁₀ O ₄	4-hydroxy-3,5-dimethoxybenzaldehyde	0,48	0,31	0,76	-	1,07	-
45	C ₂₄ H ₃₄ O ₂	6~{tert}-butyl-2-(3~{tert}-butyl-2-hydroxy-5,6-dimethylphenyl)-3,4-dimethylphenol	0,34	-	-	-	-	-
46	C ₁₀ H ₁₀ O ₃	(~{E})-3-(4-hydroxy-2-	1,49	-	-	-	-	-

		methoxyphenyl)prop-2-enal						
47	C ₁₁ H ₁₄ O ₄	1-(2,6-dihydroxy-4-methoxyphenyl)butan-1-one	2,22	-	-	4,15	2,31	2,33
48	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	hexadecanoic acid	1,83	1,68	1,24	1,08	0,45	0,40
49	C ₁₁ H ₁₂ O ₄	3-(4-hydroxy-3,5-dimethoxyphenyl)prop-2-enal	0,34	-	-	0,53	-	1,06
50	C ₁₂ H ₁₈ O ₃	1-(2,5-dimethoxyphenyl)butan-1-ol	0,44	-	-	-	-	-
51	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	(9~{Z},12~{Z})-octadeca-9,12-dienoic acid	0,44	0,36	-	-	-	-
52	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	octadec-9-enoic acid	0,87	0,73	0,26	-	-	-
53	C ₁₅ H ₃₂	pentadecane	0,43	-	-	-	-	-
54	C ₃ H ₆ O ₂	propanoic acid	-	0,35	-	-	-	-
55	C ₄ H ₈ O ₂	1-hydroxybutan-2-one	-	0,53	-	-	-	-
66	C ₅ H ₈ O	cyclopentanone	-	0,63	-	-	-	-
67	C ₄ H ₆ N ₂ O ₂	1,3-diazinane-2,4-dione	-	0,87	5,22	3,81	-	-
68	C ₄ H ₄ O ₂	2~{H}-furan-5-one	-	1,04	0,53	-	1,44	-
59	C ₅ H ₁₀ O	2-methylbut-3-en-2-ol	-	0,61	-	-	-	-
60	C ₆ H ₁₂ O	2-HEXEN-1-OL	-	0,59	-	-	-	-

61	C ₉ H ₁₆	5,5-dimethylhept-3-yne	-	0,52	-	-	-	-
62	C ₁₀ H ₈	naphthalene	-	0,40	-	-	-	0,33
63	C ₉ H ₁₂ O	3-propan-2-ylpheno	-	0,47	-	-	-	-
64	C ₇ H ₈ O ₂	4-methylbenzene-1,2-diol	1,76	1,96	1,54	1,58	1,44	1,53
65	C ₈ H ₈ O ₃	4-hydroxy-3-methoxybenzaldehyde	-	0,91	0,85	-	2,71	2,31
66	C ₈ H ₁₀ O ₂	2,6-dimethylbenzene-1,4-diol	-	0,42	-	-	-	-
67	C ₁₀ H ₉ FO ₃	4-(4-fluorophenyl)-4-oxobutanoic acid	-	0,47	-	-	-	-
68	C ₉ H ₁₀ O ₃	1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)ethanone	-	0,77	-	-	-	1,12
69	C ₁₀ H ₁₄ O ₃	1,2,5-trimethoxy-3-methylbenzene	-	3,07	-	2,52	3,33	-
70	C ₁₂ H ₁₆	1,4-dimethyl-1,2,3,4-tetrahydronaphthalene	-	0,39	-	-	-	-
71	C ₁₁ H ₁₅ NO ₄	2,6-dimethoxy-4-(~{N}-methoxy-~{C}-methylcarboximidoyl)phenol	-	1,50	-	1,29	-	3,14
72	C ₁₀ H ₁₂ O ₅	2-(4-hydroxy-3,5-	-	2,07	-	-	-	-

		dimethoxyp henyl)aceti c acid						
73	C ₁₈ H ₃₈	octadecane	-	0,73	-	-	-	-
74	C ₅ H ₄ O ₂	furan-2- carbaldehy de	-	-	2,91	4,06	-	-
75	C ₆ H ₈ O	2- methylcycl opent-2-en- 1-one	-	-	0,30	-	1,15	0,62
76	C ₆ H ₆ O ₂	5- methylfura n-2- carbaldehy de	-	-	2,24	2,78	-	-
77	C ₃ H ₄ N ₄ O	5-amino- 2~{H}- 1,2,4- triazin-3- one	-	-	0,45	-	-	-
78	C ₈ H ₁₀ O	3,5- dimethylph enol	-	-	0,86	2,07	0,90	0,96
79	C ₈ H ₁₀ O	4- ethylphenol	-	-	0,59	-	-	1,25
80	C ₈ H ₁₀ O ₂	2-methoxy- 3- methylphen ol	-	-	0,57	-	-	-
81	C ₈ H ₁₀ O ₂	2-methoxy- 4- methylphen ol	-	-	4,61	-	-	2,52
82	C ₆ H ₁₀ O ₂	ethyl but-2- enoate	-	-	0,88	-	-	-
83	C ₆ H ₆ O ₃	5- (hydroxym ethyl)furan- 2- carbaldehy de	-	-	2,75	2,19	1,69	-
84	C ₄ H ₁₀ N ₂	pyrrolidin- 3-amine	-	-	0,85	-	-	-
85	C ₆ H ₁₂ N ₂ O	3- aminoazepa n-2-one	-	-	0,55	-	-	-
86	C ₉ H ₁₀ O ₃	3-ethoxy-4- hydroxyben zaldehyde	-	-	0,26	-	-	-

87	C ₈ H ₈ O ₄	4-hydroxy-3-methoxybenzoic acid	-	-	7,13	-	7,54	-
88	C ₉ H ₁₀ O ₃	1-(4-hydroxy-3-methoxyphenyl)ethanone	-	-	0,61	-	1,01	-
89	C ₇ H ₁₄ O ₂	heptanoic acid	-	-	1,88	-	-	-
90	C ₁₀ H ₁₂ O ₄	1-(4-hydroxy-3,5-dimethoxyphenyl)ethanone	-	-	1,38	-	2,52	-
91	C ₇ H ₅ NS ₂	3~{H}-1,3-benzothiazole-2-thione	-	-	3,06	-	-	-
92	C ₅₃ H ₈₀ O ₂	Plastoquinone	-	-	0,47	-	-	-
93	C ₁₇ H ₃₆	heptadecane	-	-	0,89	--	-	-
94	C ₂₆ H ₂₂	1,2,2-triphenylethylbenzene	-	-	1,56	1,69	-	-
95	C ₅ H ₆ O	cyclopent-2-en-1-one	-	-	-	-	0,99	1,37
96	C ₈ H ₁₇ NO	2,2-diethyl-3-methyl-1,3-oxazolidine	-	-	-	-	1,18	-
97	C ₄ H ₄ N ₂ O ₂	4-hydroxy-1~{H}-pyrimidin-6-one	-	-	-	-	0,27	0,23
98	C ₅ H ₄ O ₃	furan-2-carboxylic acid	-	-	-	-	0,27	-
99	C ₈ H ₁₆ O	2-ethylhexanal	-	-	-	-	0,77	-
100	C ₈ H ₁₀ O	3,4-dimethylphenol	-	-	-	-	0,89	-
101	C ₈ H ₁₀ O	2,3-dimethylphenol	-	-	-	-	0,63	-

102	C ₅ H ₆ N ₂ O ₃	5-(hydroxymethyl)-1~{H}-pyrimidine-2,4-dione	-	-	-	-	0,54	-
103	C ₉ H ₈ O	7-methyl-1-benzofuran	-	-	-	-	0,25	-
104	C ₈ H ₁₀ O ₂	4-ethylbenzene-1,3-dione	-	-	-	-	1,32	-
105	C ₆ H ₁₀ O ₅	Anhydro-d-mannosan	-	-	-	-	1,97	-
106	C ₁₉ H ₂₈ O	Androst-2-en-17-one	-	-	-	-	0,97	-
107	C ₅ H ₁₀ O ₂	2-methylbutanoic acid	-	-	-	0,29	-	-
108	C ₅ H ₄ O ₂	cyclopent-4-ene-1,3-dione	-	-	-	0,34	-	-
109	C ₄ H ₈ N ₂	2-methyl-4,5-dihydro-1~{H}-imidazole	-	-	-	0,44	-	1,25
110	C ₆ H ₁₃ N	1-methylpiperidine	-	-	-	0,55	-	-
111	C ₇ H ₁₂ O	(~{E})-hept-4-enal	-	-	-	0,44	-	-
112	C ₅ H ₈ N ₂ S	4,5-dimethyl-1,3-thiazol-2-amine	-	-	-	0,54	-	-
113	C ₇ H ₈ O ₃	3-methoxybenzene-1,2-diol	-	-	-	4,45	-	4,07
114	C ₈ H ₁₀ O ₃	3,4-dimethoxyphenol	-	-	-	1,22	-	-
115	C ₉ H ₁₂ O ₃	1,2,4-trimethoxybenzene	-	-	-	5,88	-	6,75
116	C ₁₃ H ₁₁ N	9~{H}-fluoren-2-amine	-	-	-	1,11	-	-

117	C ₁₆ H ₃₂ O ₃	2-hydroxyhexadecanoic acid	-	-	-	1,12	-	-
118	C ₇ H ₁₂ S	(1~{E})-1-ethylsulfanyl-3-methylbuta-1,3-diene	-	-	-	-	-	0,54
119	C ₈ H ₁₆ O ₂	octanoic acid	-	-	-	-	-	1,24
120	C ₁₀ H ₁₂ O ₃	2-(methoxymethyl)-3,5-dimethylcyclohexa-2,5-diene-1,4-dione	-	-	-	-	-	4,04
121	C ₁₈ H ₂₀ N ₂ O ₆	Gallaldehyde3,5-dimethylether	-	-	-	-	-	1,10
122	C ₁₅ H ₁₄ O ₂	methyl 3-benzylbenzoate	-	-	-	-	-	0,50
123	C ₁₃ H ₁₂	benzylbenzene	-	-	-	-	-	0,51
124	C ₁₉ H ₁₄ N ₂ O ₂ S	2-benzhydrylsulfanyl-5-(furan-2-yl)-1,3,4-oxadiazole	-	-	-	-	-	0,44
125	C ₁₆ H ₃₄	hexadecane	-	-	-	-	-	0,48
126	C ₂₆ H ₂₀	1,2,2-triphenylethenylbenzene	-	-	-	-	-	0,50
127	C ₂₉ H ₅₀ O	Stigmast-5-en-3-ol	-	-	-	-	-	0,88

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Şenol ALAYONT
Adres : Havaalanı Polis Loj. St. Edremit/VAN
E-posta adresi : senol_alayont@hotmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Aksaray Üniversitesi, 2010-2015
Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, 2015-2019

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. Saray Tuz Kurumu / Yaz Stajı
2. Termo Form Plastik Dış Tic. San. A.Ş./ Mesleki Deneyim