



**ASPIR YAĞLI TOHUMUNUN KATALİTİK
HIZLI PİROLİZİ
Yüksek Lisans Tezi**

Tareq Saleh Ahmed AL-AMODI

Eskişehir 2023

ASPIR YAĞLI TOHUMUNUN KATALİTİK HIZLI PİROLİZİ

Tareq Saleh Ahmed AL-AMODI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimyasal Teknolojiler Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ömer Mete KOÇKAR

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ağustos 2023

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Tareq Saleh Ahmed AL-AMODI'nin ASPİR YAĞLI TOHUMUNUN KATALİTİK HIZLI PİROLİZİ başlıklı çalışması 16/08/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, Kimya Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye

: Prof. Dr. Ömer Mete KOÇKAR

Üye

: Prof. Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ

Üye

: Dr. Öğr. Üyesi. Evren ARIÖZ

Prof. Dr. Semra KURAMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

16/08/2023

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ğrencisi Tareq Saleh Ahmed AL-AMODI, ASPİR YAğLI TOHUMUNUN KATALİTİK HIZLI PİROLİZİ başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danişmanı

Prof. Dr. Ömer Mete KOÇKAR

ÖZET

ASPIR YAĞLI TOHUMUNUN KATALİTİK HIZLI PİROLİZİ

Tareq Saleh Ahmed AL-AMODI

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimyasal Teknolojiler Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ağustos 2023

Danışman: Prof. Dr. Ömer Mete KOÇKAR

Yapılan çalışmada hammadde olarak Aspir tohumu olarak seçilmiştir, Çalışmanın ilk aşamasında Aspir tohumunun hızlı pirolizine, çeşitli piroliz parametrelerinin (piroliz sıcaklığı, ısıtma hızı, sürükleyici gaz akış hızı) etkisi araştırılmıştır. Maksimum sıvı ürün verimi, 550 °C piroliz sıcaklığında, 300 °C/dak ısıtma hızında, 200 cm³/dak azot akış hızında ve 1,25>Dp>0,85 mm parçacık boyutu aralığında elde edilmiştir. Bu koşullarda elde edilen maksimum sıvı ürün verimi %38,24 olarak bulunmuştur. Çalışmanın ikinci bölümünde ise, elde edilen sıvı ürünün kalitesini arttırmak için Aspir tohumunun katalitik pirolizi gerçekleştirilmiş; katalizör cinsinin ve sıcaklığının ürün verimlerine ve bileşimlerine olan etkisi araştırılmıştır. Çeşitli spektroskopik ve kromatografik yöntemler kullanılarak, elde edilen piroliz sıvı ürünlerinin karakterizasyonu yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Aspir tohumu, Hızlı piroliz, Katalitik piroliz, Biyo-yakıt.

ABSTRACT

CATALYTIC FAST PYROLYSIS OF ASPIR OIL SEED

Tareq Saleh Ahmed AL-AMODI

Department of Chemical Engineering

Programme in Chemical Technologies

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, August 2023

Supervisor: Prof. Dr. Ömer Mete KOÇKAR

In this study, safflower seed was chosen as raw material. In the first part of this study, the effect of various pyrolysis parameters (pyrolysis temperature, heating rate, entraining gas flow rate) on the fast pyrolysis of safflower seed was investigated. Maximum liquid product yield was obtained at pyrolysis temperature of 550 °C, heating rate of 300 °C/min, nitrogen flow rate of 200 cm³/min and particle size range of 1.25>Dp>0.85 mm. The maximum liquid product yield obtained under these conditions was found to be 38,24%, In the second part of the study, catalytic pyrolysis of Safflower seed was carried out to increase the quality of the liquid product obtained. The effect of catalyst type and temperature on product yields and compositions was investigated, By using various spectroscopic and chromatographic methods, the obtained pyrolysis liquid products were characterized.

Keywords: Safflower, Fast pyrolysis, Catalytic pyrolysis, Bio-oil.

TEŞEKKÜR

Danışmanlığımı üstlenen, tezimin gerçekleşmesi için gerekli ortamı sağlayan, ilgi ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Ömer Mete KOÇKAR'a,

Çalışmalarım esnasında büyük ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, her zaman destekleyen ve yanımda olan, değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi. Evren ARIÖZ'e,

Bugünlere gelmemde büyük katkıları bulunan, hiçbir zaman maddi ve manevi desteğini esirgemeyen her konuda bana destek olan değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Tareq Saleh Ahmed AL-AMODI



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Tareq Saleh Ahmed AL-AMODI

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI	I
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	II
DANIŞMAN ONAYI	III
ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
TEŞEKKÜR	VI
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XIV
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	XV
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ.....	5
2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	6
2.1.1. Güneş enerjisi	7
2.1.2. Rüzgar Enerjisi.....	9
2.1.3. Jeotermal enerjisi	11
2.1.4. Hidrojen Enerjisi.....	13
2.1.5. Hidrolik enerjisi.....	14
3. BİYOKÜTLE	16
3.1. Biyokütle Enerjisi.....	17
3.2. Türkiye'nin Biyokütle Potansiyeli.....	18
3.3. Dünya Biyokütle Potansiyeli	20
3.4. Biyokütle Özellikleri	21
3.5. Biyokütle Kimyasal Yapısı	22
3.5.1. Selüloz.....	22

3.5.2. Hemiselüloz	22
3.5.3. Lignin.....	22
3.6. Biyokütle Uygulanan Dönüşüm Süreçleri.....	22
3.6.1. Yanma.....	25
3.6.2. Gazlaştırma	25
3.6.3. Sıvılaştırma	26
3.6.4. Piroliz.....	27
3.7. Pirolizden Elde Edilen Ürünler.....	30
3.7.1. Katı ürün (Char)	31
3.7.2. Sıvı Ürün	31
3.7.3. Gaz ürün.....	33
3.8. Piroliz Yöntemleri	33
3.9. Pirolize Etki Eden Faktörler	35
3.9.1. Biyokütle bileşimi	35
3.9.2. Parçacık boyutu	35
3.9.3. Isıtma hızı.....	36
3.9.4. Sürükleyici gaz akış hızı.....	37
3.9.5. Sıcaklık	37
3.9.6. Basınç.....	37
3.9.7. Piroliz ortamı	37
3.9.8. Katalizör	38
4. KATALİTİK PİROLİZ	39
5. ASPİR TOHUMU	41
6. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	43
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	46
7.1. Piroliz Deneyleri	47
7.1.1. Katalizörsüz piroliz deneyleri	47
7.1.2. Katalizörlü piroliz deneyleri.....	49
7.2. Sıvı Ürünün Sütun Kromatografisinde Fraksiyonlanması	49
8. DENEYSEL ÇALIŞMALARDAN ELDE EDİLEN SONUÇLAR	50
8.1. Katalizör Kullanılmadan Yapılan Çalışmaların Sonuçları	50

8.2. Katalizör Kullanılarak Yapılan Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçları	58
8.3. Gaz Kromatografisi Analiz Sonuçları.....	61
9. TARTIŞMA VE YORUMLARI.....	63
KAYNAKÇA.....	61
ÖZGEÇMİŞ	



TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. Türkiye'nin bölgelerinde güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu	9
Tablo 2.2. Türkiye bölgelerinde rüzgar enerjisinin potansiyeli	10
Tablo 2.3. Türkiye'deki mevcut ve gelecekteki jeotermal ısı ve elektrik üretim projeleri	13
Tablo 3.1. Türkiye'nin biyokütle enerjisinin potansiyeli ve kaynakları	20
Tablo 7.1. Aspir tohumu analiz sonuçları	46
Tablo 8.1. 400 °C sıcaklığında, 100 cm ³ /dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları	50
Tablo 8.2. 500 °C sıcaklığında, 100 cm ³ /dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları	50
Tablo 8.3. 550 °C sıcaklığında, 100 cm ³ /dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları	51
Tablo 8.4. 600 °C sıcaklığında, 100 cm ³ /dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları	51
Tablo 8.5. 700 °C sıcaklığında, 100 cm ³ /dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları	51
Tablo 8.6. 400 °C sıcaklığında, 100 cm ³ /dk azot akış hızında ve 100 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları	52
Tablo 8.7. 500 °C sıcaklığında, 100 cm ³ /dk azot akış hızında ve 100 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları	52
Tablo 8.8. 550 °C sıcaklığında, 100 cm ³ /dk azot akış hızında ve 100 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları	52
Tablo 8.9. 600 °C sıcaklığında, 100 cm ³ /dk azot akış hızında ve 100 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları	53
Tablo 8.10. 700 °C sıcaklığında, 100 cm ³ /dk azot akış hızında ve 100 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları	53
Tablo 8.11. 400 °C sıcaklığında, 200 cm ³ /dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları	53
Tablo 8.12. 500 °C sıcaklığında, 200 cm ³ /dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları	54

Tablo 8.13. 550 °C sıcaklığında, 200 cm ³ /dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları.....	54
Tablo 8.14. 600 °C sıcaklığında, 200 cm ³ /dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları.....	54
Tablo 8.15. 700 °C sıcaklığında, 200 cm ³ /dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları.....	55
Tablo 8.16. Farklı piroliz sıcaklığında,100 cm ³ /dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deneylerin katı, sıvı ve gaz ürün verim sonuçları.....	55
Tablo 8.17. Farklı piroliz sıcaklığında,200 cm ³ /dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deneylerin katı, sıvı ve gaz ürün verim sonuçları.....	56
Tablo 8.18. Farklı piroliz sıcaklığında,100 cm ³ /dk azot akış hızında ve 100 °C/dk ısıtma hızında yapılan deneylerin katı, sıvı ve gaz ürün verim sonuçları.....	56
Tablo 8.19. 550 °C sabit sıcaklığında, 200 cm ³ /dk azot akış hızında, 300 °C/dk ısıtma hızında ve 1.katalizörden kütlece %1 oranı yapılan deney sonuçları.....	58
Tablo 8.20. 550 °C sabit sıcaklığında, 200 cm ³ /dk azot akış hızında, 300 °C/dk ısıtma hızında ve 1.katalizörden kütlece %3 oranı yapılan deney sonuçları.....	58
Tablo 8.21. 550 °C sabit sıcaklığında, 200 cm ³ /dk azot akış hızında, 300 °C/dk ısıtma hızında ve 1.katalizörden kütlece %5 oranı yapılan deney sonuçları.....	59
Tablo 8.22. 550 °C sabit sıcaklığında, 200 cm ³ /dk azot akış hızında, 300 °C/dk ısıtma hızında ve 1.katalizörden kütlece %10 oranı yapılan deney sonuçları.....	59
Tablo 8.23. 550 °C sabit sıcaklığında, 200 cm ³ /dk azot akış hızında, 300 °C/dk ısıtma hızında ve 2.katalizörden kütlece %1 oranı yapılan deney sonuçları.....	59
Tablo 8.24. 550 °C sabit sıcaklığında, 200 cm ³ /dk azot akış hızında, 300 °C/dk ısıtma hızında ve 2.katalizörden kütlece %3 oranı yapılan deney sonuçları.....	60

Tablo 8.25. 550 °C sabit sıcaklığında, 200 cm ³ /dk azot akış hızında, 300 °C/dk ısıtma hızında ve 2.katalizörden kütlece %5 oranı yapılan deney sonuçları	60
Tablo 8.26. 550 °C sabit sıcaklığında, 200 cm ³ /dk azot akış hızında, 300 °C/dk ısıtma hızında ve 2.katalizörden kütlece %10 oranı yapılan deney sonuçları	60



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Enerji kaynaklarının genel sınıflandırılması	6
Şekil 3.1. Biyokütlenin termokimyasal dönüşümleri	24
Şekil 3.2. Piroliz ürünleri ve uygulamaları	28
Şekil 5.1. Aspir bitkisi, yetiştirme alanı ve tohumu	41
Şekil 7.1. Öğütülmüş Aspir tohumu	47
Şekil 7.2. Piroliz düzeneği	48
Şekil 8.1. Farklı piroliz sıcaklıklarında 300 °C /dk ısıtma hızında ve 100 cm ³ /dk N ₂ akış hızında katı, sıvı ve gaz	55
Şekil 8.2. Farklı piroliz sıcaklıklarında 300 °C /dk ısıtma hızında ve 200 cm ³ /dk N ₂ akış hızında katı, sıvı ve gaz	56
Şekil 8.3. Farklı piroliz sıcaklıklarında 100 °C /dk ısıtma hızında ve 100 cm ³ /dk N ₂ akış hızında katı, sıvı ve gaz	57
Şekil 8.4. Aspir tohumundan katalizör kullanılmadan elde edilen sıvı ürün n- pentan eluatının GC kromatografisi	61
Şekil 8.5. %5 oranında birinci katalizör kullanılarak Aspir tohumundan elde edilen katranın GC kromatografisi	62
Şekil 8.6. %5 oranında ikinci katalizör kullanılarak Aspir tohumundan elde edilen katranın GC kromatografisi	62

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

KWh	: Kilowatt saat
MTCO _{2e}	: Metrik Ton Kabondioksit Eşdeğeri
GtCO _{2e}	: Giga Ton Kabondioksit Eşdeğeri
GW	: Gigawatt
MW	: Megawatt
GWh	: Gigawatt-saat
MWt	: Termal Enerji Üretimi
J	: Joule
EJ	: Ekzajoule
PV	: Fotovoltaik
PVT	: Fotovoltaik Termal
TW	: Terawatt

1. GİRİŞ

Endüstriyel evrim de enerji talebini artıran bir diğer faktördür. Sanayileşme, daha fazla enerji kullanımına yol açmaktadır. Sanayileşme, dünya nüfusunun artması ve yaşam standartlarının yükselmesi ile daha da hızlanmaktadır. Nüfus artışı ve endüstriyel evrim yüzünden dünyanın enerji talebi önemli ölçüde artmaktadır. Dünya nüfusu 1950'de 2 milyardan 2023'te 8 milyara yükseldi ve 2050'de 9,7 milyara ulaşacağı tahmin edilmektedir. Bu nüfus artışı, enerji talebinde önemli bir artışa neden olmaktadır. Artan enerji talebi, enerji kaynaklarının tükenmesine ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Enerji kaynaklarının tükenmesini önlemek için yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapılması gerekmektedir. Enerji verimliliğini artırmak ve enerji israfını önlemek de önemli bir konudur[1].

Yenilenebilir enerji kaynakları, doğal olarak yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerji kaynaklarıdır. Güneş, rüzgar, hidrolik, jeotermal ve biyokütle enerjisi gibi kaynaklar, sınırsız kaynaklar olarak kabul edilirler. Bu kaynakların kullanımı, enerji ihtiyacının çevre dostu bir şekilde karşılanmasına yardımcı olurken, ekonomik ve çevresel açıdan birçok avantaj sağlar[2]. Yenilenebilir enerji kaynakları, dünya genelinde hızla yaygınlaşarak, enerji ihtiyacını sürdürülebilir bir şekilde karşılamaya yardımcı olmaktadır. Bu kaynakların kullanımı, fosil yakıtların aksine sınırsız kaynaklardan elde edildiği için, enerji bağımsızlığı için de önemli bir adım olarak kabul edilir. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtların aksine fiyat dalgalanmalarından etkilenmezler ve uzun vadeli enerji planlaması yapmak için daha güvenilir bir seçenek sunarlar[3].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının ekonomik açıdan da birçok avantajı vardır. Fosil yakıtların aksine, yenilenebilir enerji kaynakları uzun vadede daha düşük maliyetli olabilirler. Bunun nedeni, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı için gereken maliyetlerin, kaynakların kendisinin ücretsiz olması nedeniyle daha düşük olmasıdır. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, yerel ekonomileri destekleyerek, iş imkanları yaratarak ve bölgesel kalkınmayı teşvik ederek, ekonomik büyümeyi de sağlar. Yenilenebilir enerji kaynaklarının çevresel açıdan da önemi büyüktür[4]. Fosil yakıtların kullanımı, sera gazı emisyonlarına neden olarak küresel iklim değişikliğine katkıda bulunurken, yenilenebilir enerji kaynakları bu etkiyi azaltır. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, hava kirliliği ve su kirliliği gibi diğer çevresel etkileri de azaltır.

Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, sürdürülebilir bir gelecek için önemlidir[5].

Yenilenebilir enerji kaynakları ayrıca enerji güvenliği için de önemlidir. Fosil yakıtların kullanımı, siyasi ve ekonomik istikrarsızlıktan etkilenebilirken, yenilenebilir enerji kaynakları, sınırsız kaynaklardan elde edildiği için, enerji bağımsızlığı için önemli bir adım olarak kabul edilir. Dünya genelinde, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hızla artmaktadır. Bu kaynakların kullanımı, enerji ihtiyacının çevre dostu bir şekilde karşılanmasına yardımcı olurken, ekonomik ve çevresel açıdan birçok avantaj sağlar. Bununla birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, teknolojik gelişmeler ve politik destek gibi faktörlere bağlı olarak değişebilir. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını teşvik etmek için, politikaların ve teşviklerin de önemli olduğu kabul edilmektedir[6].

Biyokütle enerjisi, yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir ve fosil yakıtlara alternatif olarak kullanılabilir. Bu enerji kaynağı, hem ekonomik hem de çevresel açıdan birçok avantaj sağlar. Biyokütle enerjisi, sınırsız bir kaynak olarak kabul edilir, Bitki, hayvan ve mikroorganizmaların atıkları, tarımsal atıklar, orman atıkları, endüstriyel atıklar, gübre, çamur gibi birçok kaynak, biyokütle enerjisi üretmek için kullanılabilir. Bu kaynakların kullanımı, enerji ihtiyacının çevre dostu bir şekilde karşılanmasına yardımcı olurken, organik atıkların bertaraf edilmesine de yardımcı olmaktadır[7].

Biyokütle enerjisi, ekonomik açıdan da birçok avantaj sağlar. Biyokütle enerjisi, fosil yakıtların aksine sınırsız bir kaynaktan elde edildiği için, enerji bağımsızlığı için de önemli bir adım olarak kabul edilir. Ayrıca, biyokütle enerjisi üretimi, yerel ekonomileri destekleyerek, iş imkanları yaratarak ve bölgesel kalkınmayı teşvik ederek, ekonomik büyümeyi de sağlar. Biyokütle enerjisi, çevresel açıdan da önemi büyüktür. Fosil yakıtların kullanımı, sera gazı emisyonlarına neden olarak küresel iklim değişikliğine katkıda bulunurken, biyokütle enerjisi bu etkiyi azaltır. Ayrıca, biyokütle enerjisi üretimi, organik atıkların doğru bir şekilde bertaraf edilmesine yardımcı olarak, çevre kirliliği ve su kirliliği gibi diğer çevresel etkileri de azalmaktadır[8].

Biyokütle enerjisi, enerji güvenliği açısından da önemlidir. Fosil yakıtların kullanımı, siyasi ve ekonomik istikrarsızlıktan etkilenebilirken, biyokütle enerjisi, sınırsız bir kaynak olması nedeniyle enerji bağımsızlığı için önemli bir adım olarak kabul edilir. Biyokütle enerjisi, dünya genelinde hızla yaygınlaşarak, enerji ihtiyacının çevre dostu bir şekilde karşılanmasına yardımcı olurken, ekonomik ve çevresel açıdan birçok avantaj

sağlar. Bununla birlikte, biyokütle enerjisi üretimi, uygun olmayan yöntemlerle yapıldığında, çevresel etkilere neden olabilir. Bu nedenle, biyokütle enerjisi üretimi, doğru yöntemlerle yapılması ve çevresel etkileri minimize etmek için uygun tedbirlerin alınması gerekmektedir[9].

Piroliz, organik maddelerin, yani bitki, hayvan ve mikroorganizmaların çürümesi veya yanması sonucunda oluşan biyokütleyi, yüksek sıcaklık ve düşük oksijen ortamında termal ayrıştırmaya tabi tutarak, katı, sıvı ve gaz halinde yakıta dönüştürme işlemidir. Bu işlem, biyokütle enerjisi üretimi için önemli bir yöntemdir, Biyokütlenin yakılması veya gazlaştırılmasına göre daha yüksek bir enerji verimliliği sağlar. Bu yöntemde, biyokütle, yüksek sıcaklıkta ayrıştırılarak katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç farklı yakıta dönüştürülür. Katı yakıt, biyokütle kalıntılarından oluşur ve genellikle tarımsal atıkların yakılması için kullanılır. Sıvı yakıt, biyokütlenin sıvılaştırılması sonucu elde edilen biyoyakıtlardır ve genellikle ulaşım sektöründe kullanılmaktadır. Gaz yakıtı ise biyogazdır ve evlerde, sanayide ve elektrik üretiminde kullanılmaktadır[10].

Piroliz işlemi, biyokütle atıklarının bertaraf edilmesine ve enerji üretimine katkı sağlayarak, çevresel açıdan önemlidir. Bu işlem, organik atıkların çevre kirliliğine neden olmadan bertaraf edilmesine yardımcı olmaktadır. Ayrıca, fosil yakıtların kullanımının neden olduğu sera gazı emisyonlarına karşı mücadelede de önemli bir rol oynar, Piroliz işlemiyle üretilen biyoyakıtlar, fosil yakıtların yerine kullanılarak, sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Piroliz işlemi, biyokütle enerjisi üretimi için önemli bir yöntemdir[11]. Bu yöntem, organik atıkların çevre dostu bir şekilde bertaraf edilmesine, enerji ihtiyacının sürdürülebilir bir şekilde karşılanmasına ve ekonomik kalkınmaya katkı sağlar. Ayrıca, fosil yakıtların kullanımının neden olduğu çevresel etkilere karşı mücadelede de önemli bir rol oynamaktadır. Ancak, piroliz işlemi de doğru yöntemlerle ve çevresel etkileri minimize edecek tedbirlerle yapılması gerekmektedir[12].

Piroliz işlemiyle biyo yağ üretimi, biyokütlenin sıvılaştırılması yoluyla gerçekleştirilir. Bu işlemde, biyokütle yüksek sıcaklık ve düşük oksijen ortamında termal ayrıştırmaya tabi tutulmaktadır. Bu işlem sonucu, biyokütle kalıntılarından ayrılan sıvı, biyo yağ olarak adlandırılır. Biyo yağ, sıvı yakıt olarak kullanılır ve genellikle ulaşım sektöründe kullanılmaktadır. Biyo yağın, fosil yakıtlara göre birçok avantajı vardır, Biyo yağ, yenilenebilir bir kaynak olduğu için, fosil yakıtların kullanımıyla oluşan sera gazı

emisyonlarını azaltmaya yardımcı olmaktadır. Ayrıca, biyo yağ, biyokütlenin atık ürünlerinden elde edildiği için, atık yönetimi sorununa da bir çözüm sunmaktadır[12].

Biyo yağ, fosil yakıtlara göre daha az kükürt içerir ve bu nedenle çevre dostudur. Ayrıca, biyo yağın üretimi, yerel ekonomileri destekleyerek, iş imkanları yaratarak ve bölgesel kalkınmayı teşvik ederek, ekonomik büyümeyi de sağlar. Piroliz işlemiyle biyo yağ üretimi, biyokütle atıklarının değerlendirilmesine ve enerji üretimine katkı sağlamak için önemli bir yöntemdir. Biyo yağ, sıvı yakıt olarak kullanılabilmesi nedeniyle, fosil yakıtların yerine kullanılarak, enerji ihtiyacının çevre dostu bir şekilde karşılanmasına yardımcı olmaktadır[13].

Ancak, biyo yağ üretimi de doğru yöntemlerle yapılması ve çevresel etkilerin minimize edilmesi için uygun tedbirlerin alınması gerekmektedir. Piroliz işlemi, biyo yağ üretimi için sürdürülebilir bir yöntem olabilir, ancak biyokütlenin sürdürülebilir bir şekilde üretilmesi ve işlenmesine bağlıdır. Ayrıca, biyo yağ üretimi, uygun olmayan yöntemlerle yapıldığında, çevresel etkilere neden olabilir. Bu nedenle, biyo yağ üretimi, doğru yöntemlerle yapılması ve çevresel etkileri minimize etmek için uygun tedbirlerin alınması gerekmektedir[13].

2. ENERJİ

Dünya'daki enerji üretimi ve tüketimi, her geçen yıl artmaktadır, 2021 yılında dünya genelinde üretilen enerji miktarı, 18,2 trilyon kWh olarak tahmin edilmektedir. Bu miktarın yaklaşık %80'i fosil yakıtlardan, %14'ü nükleer enerjiden, %5'i hidroelektrik enerjiden ve %1'i yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir. Enerji üretiminde en büyük payı alan ülke Çin'dir. Çin, 2021 yılında 4,9 trilyon kWh enerji üretmiştir. Çin'i, ABD (4,2 trilyon kWh), Hindistan (1,4 trilyon kWh), Rusya (1,1 trilyon kWh) ve Japonya (0,5 trilyon kWh) izlemektedir[14].

Enerji tüketimi açısından en büyük ülke Çin'dir, Çin, 2021 yılında 5,3 trilyon kWh enerji tüketmiştir. Çin'i, ABD (4,1 trilyon kWh), Hindistan (1,8 trilyon kWh), Japonya (0,5 trilyon kWh) ve Rusya (0,4 trilyon kWh) izlemektedir. Dünya genelinde enerji üretimi ve tüketimi, her geçen yıl artmaktadır. Bu artışın, nüfus artışı, ekonomik büyüme ve yaşam standartlarının yükselmesi gibi faktörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Enerji üretimi ve tüketiminin artışı, çevre kirliliği ve iklim değişikliği gibi sorunlara neden olmaktadır. Bu nedenle, enerji üretimi ve tüketiminin sürdürülebilir bir şekilde yapılması gerekmektedir[15].

Enerji üretimi ve tüketimini sürdürülebilir bir şekilde yapmak için, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtlara göre çevre dostu ve sınırsızdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından bazıları, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidroelektrik enerjisi, biyokütle enerjisi ve jeotermal enerjidir. Enerji üretimi ve tüketimini sürdürülebilir bir şekilde yapmak için, enerji verimliliğinin artırılması da gerekmektedir. Enerji verimliliği, enerjinin daha verimli kullanılması anlamına gelir. Enerji verimliliğini artırmak için, enerji tasarruflu cihazların kullanılması, binalarda yalıtımın yapılması ve enerjinin bilinçli kullanılması gibi önlemler alınabilir. Enerji üretimi ve tüketiminin sürdürülebilir bir şekilde yapılması, çevre kirliliğinin azaltılması ve iklim değişikliğinin etkilerinin hafifletilmesi için önemlidir[16].



Şekil 2.1. Enerji kaynaklarının genel sınıflandırılması [17]

2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları, sürekli devam eden doğal süreçlerdeki var olan enerji akışından elde edilir. Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidroelektrik enerji, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları, doğal süreçlerin sonucu olarak sürekli olarak yenilenirler. Bu kaynakların kullanımı, ekolojik dengeyi bozmadan sürdürülebilir bir enerji üretimini mümkün kılar. Doğal süreçlerin sonucu olarak yenilenen bu enerji kaynakları, fosil yakıtlar gibi tükenmeyecekleri için gelecek nesillere de enerji sağlamada önemli bir rol oynamaktadır[18]. Yenilenebilir enerji kaynakları, karbon salınımını azaltarak çevre dostu bir enerji üretimini sağlamaktadır. Fosil yakıtların kullanımı, atmosfere karbondioksit (CO₂) ve diğer sera gazlarının salınımını artırarak küresel iklim değişikliğine neden olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ise enerji üretimi sırasında sera gazı salınımını minimize ederek çevre dostu bir enerji üretimini mümkün kılarlar. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi, küresel iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir araç haline gelmektedir[18].

Yenilenebilir enerji kaynakları, ekonomik açıdan da avantajlıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, elektrik, ısı ve mekanik enerji üretiminde düşük maliyetli

bir seçenek olarak karşımıza çıkar. Ayrıca, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, enerji bağımsızlığı sağlayarak ülkelerin enerji tedarikinde dışa bağımlılığını azaltır. Bu da ülkelerin enerji güvenliği açısından önemli bir faktördür. O yüzden, yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilir bir enerji üretimini sağlayarak çevreye zarar vermeden enerji ihtiyacını karşılamada önemli bir rol oynamaktadır. Güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidroelektrik enerji, jeotermal enerji ve biyokütle enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları, doğal süreçlerin sonucu olarak sürekli olarak yenilenirler ve fosil yakıtların aksine tükenmeyecekleri için gelecek nesillere de enerji sağlayacaklardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar, enerji tedarikinde bağımsızlığı arttırarak ekonomik açıdan da avantaj sağlamaktadır[19].

2.1.1. Güneş enerjisi

Güneş enerjisi, dünya üzerindeki en zengin ve sınırsız enerji kaynağıdır, Güneş, her gün yaklaşık 173,000 terawatt (TW) enerji üretirken, dünya yılda yaklaşık 16 TW enerji tüketmektedir, Güneş enerjisi, güneş ışınlarının kullanılması yoluyla elde edilir, Güneş ışınları, güneş panelleri aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Bu işlem, fotovoltaik (PV) hücrelerin güneş ışınlarını yakalaması ve bunları elektrik enerjisine dönüştürmesiyle gerçekleşir. Güneş enerjisi, diğer enerji kaynaklarına göre çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi üretimi sırasında herhangi bir sera gazı veya diğer kirlenici madde salınımı yoktur. Bu nedenle, güneş enerjisi, düşük karbon salınımı ile çevre dostu bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Ayrıca, güneş enerjisi, birçok ülkede enerji bağımsızlığı sağlamaya yardımcı olan yerel bir enerji kaynağıdır[20].

Güneş enerjisi, dünya üzerindeki herhangi bir yerden elde edilebilir. Güneş enerjisi, güneş ışınlarının yoğunluğu en yüksek olan bölgelerde daha verimli bir şekilde kullanılabilir. Bu nedenle, güneş enerjisi, özellikle güneşli bölgelerde kullanıldığında daha ekonomik bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi, farklı şekillerde kullanılabilir, Güneş enerjisi, elektrik enerjisi, ısıtma ve soğutma, su ısıtma, endüstriyel süreçler ve tarım gibi alanlarda kullanılabilir. Güneş enerjisi, ayrıca uzay araçlarında da kullanılır. Güneş pilleri, uzay araçlarında güç kaynağı olarak kullanılır[20].

Güneş enerjisi, düşük bakım ve işletme maliyetleriyle çekici bir enerji kaynağıdır. Güneş panelleri, uzun yıllar boyunca verimli bir şekilde çalışabilirler ve düşük bakım gerektirirler, Güneş enerjisi sistemleri, genellikle elektrik faturalarının düşürülmesine ve maliyet tasarrufuna yardımcı olmaktadır. Güneş enerjisi, dünya genelinde hızla yayılmaktadır. Dünya genelinde, güneş enerjisi kapasitesi her yıl artmaktadır. 2020

yılında, dünya genelinde kurulu güneş enerjisi kapasitesi 760 gigawatt (GW) seviyesine ulaşmıştır. Bu, dünya genelindeki toplam kurulu güç kapasitesinin yaklaşık %3'üne denk gelir[21].

Güneş enerjisi, bazı dezavantajları da beraberinde getirir. Güneş enerjisi, güneş ışığına bağlıdır ve güneş ışığı olmadığında enerji üretimi düşer veya durur. Bu nedenle, güneş enerjisi, enerji depolama sistemleriyle birlikte kullanıldığında daha verimli hale gelir. Ayrıca, güneş panellerinin üretimi sırasında kullanılan bazı malzemeler çevre dostu olmayabilir ve geri dönüştürülebilirliği düşüktür. Sonuç olarak, güneş enerjisi, dünya üzerindeki en bol ve sınırsız enerji kaynaklarından biridir. Güneş enerjisi, çevre dostu bir enerji kaynağıdır ve enerji üretimi sırasında herhangi bir sera gazı salınımı oluşmaz. Güneş enerjisi, elektrik, ısıtma, soğutma, su ısıtma, endüstriyel süreçler ve tarım gibi birçok alanda kullanılabilir. Güneş enerjisi, düşük bakım ve işletme maliyetleriyle çekici bir enerji kaynağıdır ve enerji bağımsızlığı sağlamaya yardımcıdır[22].

Güneş enerjisi farklı ülkelerde, hükümetler ve özel sektör yatırımları sayesinde güneş enerjisi kullanımı hızla artmaktadır. Bu, güneş enerjisi sistemlerinin fiyatlarının düşmesi ve teknolojilerinin gelişmesi gibi faktörlere bağlıdır. Güneş enerjisi, dünya genelindeki toplam enerji tüketiminde önemli bir rol oynamaya başlamıştır. Güneş enerjisi, elektrik üretimi için en yaygın kullanım alanıdır. Güneş panelleri, güneş ışınlarını elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik (PV) hücrelerden oluşur. Güneş panelleri, birçok farklı boyutta ve kapasitede üretilmektedir. Güneş enerjisi sistemleri, evler, ofisler, fabrikalar, okullar ve hastaneler gibi birçok farklı yapıda kullanılabilir[23].

Güneş enerjisi, günümüzde birçok ülkenin enerji politikalarında önemli bir yer tutmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, çevre dostu bir enerji üretimi sağlayarak küresel iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir araç haline gelmiştir. Güneş enerjisi, fosil yakıtların kullanımının azaltılması ve sürdürülebilir enerji üretimi hedeflerine ulaşılması için önemli bir rol oynamaktadır. Güneş enerjisi, gelecekte de önemli bir enerji kaynağı olarak kalacak gibi görünmektedir. Güneş enerjisi teknolojilerinin gelişmesi ve fiyatlarının düşmesiyle birlikte, güneş enerjisi daha yaygın ve ekonomik hale gelmektedir. Güneş enerjisi, enerji bağımsızlığı sağlamaya yardımcı olurken, çevre dostu bir enerji kaynağı olarak gelecek nesillere de enerji sağlayacak bir seçenek olacaktır[24].

Türkiye'nin coğrafi bölgelerine göre güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi potansiyeli Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Türkiye'nin bölgelerinde güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu[25]

Bölge	Güneşlenme süresi (saat/gün)	Güneş radyasyonu (cal/cm ² gün)
Güneydoğu Anadolu	8,2	344,8
Akdeniz	8,1	328,3
Doğu Anadolu	7,3	322,4
İç Anadolu	7,2	310,3
Ege	7,5	308,0
Marmara	6,6	275,9
Karadeniz	5,4	264,5
Ortalama	7,2	309,6

2.1.2. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi, rüzgarın hareket enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi yoluyla elde edilen bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisi, çevre dostu, sürdürülebilir ve düşük maliyetli bir enerji kaynağı olarak kabul edilir. Rüzgar enerjisi, dünya genelindeki elektrik üretiminin yaklaşık %7'sine denk gelen 743 GW kapasiteye sahiptir. Rüzgar enerjisi, rüzgar türbinleri adı verilen yapılar aracılığıyla elde edilir. Rüzgar türbinleri, yüksek bir kule ve üstünde dönen kanatları içeren yapılar olarak tasarlanır, Kanatlar, rüzgarın hareket enerjisini dönme enerjisine dönüştürür ve bir jeneratör yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Elektrik enerjisi, genellikle elektrik şebekelerine bağlanarak kullanılmaktadır[26].

Rüzgar türbinlerinin verimliliği, kanatların boyutu, şekli, sayısı ve hızı gibi birçok faktöre bağlıdır. Rüzgar türbinleri, genellikle sabit bir hızda dönmek yerine, kanat açısını değiştirerek rüzgar hızına uyum sağlayacak şekilde tasarlanırlar. Bu, türbinlerin daha verimli bir şekilde çalışmasına ve daha fazla enerji üretmesine yardımcı olur, Rüzgar enerjisi, dünya genelindeki birçok farklı yerde kullanılabilir. Rüzgar türbinleri, genellikle açık arazilerde veya denizlerde kurulur. Denizdeki rüzgar türbinleri, açık deniz rüzgar çiftlikleri olarak adlandırılır ve genellikle suyun altında çelik veya beton direklere sabitlenirler. Denizdeki rüzgar türbinleri, kara tabanlı türbinlerden daha büyük boyutlara sahip olabilirler ve daha yüksek rüzgar hızlarına maruz kalabilirler[27].

Rüzgar enerjisi, diğer enerji kaynaklarına göre birçok avantaja sahiptir. Rüzgar enerjisi, çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Rüzgar türbinleri, herhangi bir sera gazı veya diğer kirlenici madde salınımı yapmazlar. Bu nedenle, rüzgar enerjisi, düşük karbon salınımı ile çevre dostu bir enerji kaynağı olarak kabul edilir. Rüzgar enerjisi,

yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Rüzgar, hiçbir zaman tükenmeyecek bir kaynaktır ve dünya üzerindeki herhangi bir yerden elde edilebilmektedir[28].

Rüzgar enerjisi, diğer enerji kaynaklarına göre daha ucuz bir enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisi sistemleri, düşük işletme ve bakım maliyetleri ile çekicidir. Ayrıca, rüzgar enerjisi, enerji bağımsızlığı sağlamaya yardımcı olurken, enerji maliyetlerini düşürür. Rüzgar enerjisi, birçok ülkede yerli bir enerji kaynağıdır. Enerji ithalatını azaltır ve enerji bağımsızlığı sağlar. Rüzgar enerjisi, farklı ölçeklerde uygulanabilir ve elektrik ihtiyacının değişkenliğine uyum sağlayabilir. Rüzgar enerjisi sistemleri, genellikle modüler bir yapıya sahiptir ve ihtiyaç duyulduğunda daha fazla türbin eklenerek kapasite artırılabilir[29].

Rüzgar enerjisi, diğer enerji kaynaklarına göre birçok avantajı olsa da, bazı dezavantajları da vardır. Rüzgar türbinleri, çevresel etkileri nedeniyle bazı eleştirilere maruz kalır. Rüzgar türbinleri, kuşların ölümüne veya göç yollarının engellenmesine neden olabilir. Ayrıca, rüzgar türbinleri bazı insanların yaşadığı alanlara yakın kurulduğunda, gürültü kirliliği veya görüş engelleri gibi etkileri olabilir, Rüzgar enerjisi de, rüzgar hızının değişken olması nedeniyle bazı zorluklarla karşılaşabilir. Rüzgar türbinleri, belirli bir rüzgar hızına ihtiyaç duyarlar ve rüzgar hızı düşük olduğunda, türbinlerin enerji üretimi düşer. Ayrıca, rüzgar hızı çok yüksek olduğunda, türbinlerin zarar görmesini önlemek için durdurulmaları gerekebilir. Sonuç olarak, rüzgar enerjisi, dünya genelinde yaygın olarak kullanılan bir yenilenebilir enerji kaynağıdır[30]. Rüzgar enerjisi, düşük karbon salınımı, sürdürülebilirlik, yerli kaynaklarla enerji bağımsızlığı, düşük işletme ve bakım maliyetleri gibi birçok avantaja sahiptir. Ancak, bazı çevresel etkileri ve değişken rüzgar hızı nedeniyle bazı zorlukları da vardır. Rüzgar enerjisi, diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte kullanılarak, dünya genelindeki enerji ihtiyacını karşılamaya yardımcı olabilir ve çevre dostu bir gelecek için önemli bir rol oynayabilmektedir[31].

Tablo2.2.'da gösterildiği gibi Marmara Bölgesinin yıllık ortalama rüzgar hızı ve yoğunluğu bakımından potansiyelinin yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 2.2. Türkiye bölgelerinde rüzgar enerjisinin potansiyeli [32]

Bölge	Yıllık ortalama rüzgar hızı (m/s)	Yıllık ortalama rüzgar yoğunluğu (W/m ²)
Marmara	3,29	51,91
Doğu Anadolu	2,69	29,33
Ege	2,65	23,47

Tablo 2.3. (Devam) Türkiye bölgelerinde rüzgar enerjisinin potansiyeli [32]

Bölge	Yıllık ortalama rüzgar hızı (m/s)	Yıllık ortalama rüzgar yoğunluğu (W/m ²)
İç Anadolu	2,46	20,14
Karadeniz	2,38	21,31
Akdeniz	2,24	21,36
Ortalama	2,58	25,82

2.1.3. Jeotermal enerjisi

Jeotermal enerji, yer kabuğunun altındaki sıcak kayaların ve yeraltı sularının enerjisiyle üretilen bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bu enerji, jeotermal kaynaklar olarak adlandırılan yeraltı rezervuarlarında birikir ve sondajlarla açılan kuyular aracılığıyla su ve buharın yüzeye çıkarılmasıyla elde edilir. Jeotermal enerji, genellikle elektrik üretimi, ısıtma ve soğutma gibi farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Jeotermal kaynaklar, yer kabuğunun altındaki magmatik, volkanik ve jeotermal kaynaklı sıcaklıklı su ve buharın enerjisiyle üretilir. Yer kabuğunun altındaki sıcak kayalar, üzerlerindeki suyu ısıtır ve buharlaştırır. Bu buhar, yer yüzeyine doğru yükseldiğinde, jeotermal kaynaklar olarak adlandırılan yeraltı rezervuarlarında birikir. Jeotermal kaynaklar, dünya genelinde farklı sıcaklık seviyelerinde olabilirler. Yüksek sıcaklıklı jeotermal kaynaklar, 150°C'nin üzerindeki sıcaklıklara sahipken, düşük sıcaklıklı jeotermal kaynaklar, 30°C'nin altındaki sıcaklıklara sahiptirler[33].

Jeotermal enerji, genellikle üç farklı şekilde kullanılır: elektrik üretimi, ısıtma ve soğutma. Elektrik üretimi, genellikle jeotermal kaynakların yüksek sıcaklıklı buharının kullanımıyla gerçekleştirilir. Buhar, türbinler aracılığıyla döndürülerek elektrik üretilir. Elektrik üretimi için en uygun jeotermal kaynaklar, 150°C'nin üzerindeki sıcaklıklara sahip olanlardır. Düşük sıcaklıklı jeotermal kaynaklar ise, ısıtma ve soğutma gibi farklı amaçlar için kullanılır. Bu kaynaklar, binaların ısıtılması veya soğutulması için kullanılır, Jeotermal enerjinin avantajları ve dezavantajları vardır[34]. Avantajları arasında, çevre dostu ve yenilenebilir bir enerji kaynağı olması, düşük işletme ve bakım maliyetleriyle çekici bir enerji kaynağı olması, enerji ithalatını azaltması ve enerji bağımsızlığı sağlaması sayılabilir. Ayrıca, jeotermal enerjinin farklı ölçeklerde uygulanabilir olması da bir avantajdır. Dezavantajları arasında ise, bazı bölgelerdeki çevresel etkileri ve yüksek maliyetleri sayılabilir. Jeotermal enerjinin çevresel etkileri, jeotermal kaynakların yüksek sıcaklıklı olması ve yeraltı su kaynaklarının tükenmesine veya kirlenmesine neden olabilmesinden kaynaklanır. Ayrıca, jeotermal enerji sistemleri, bazı bölgelerde toprak

kayması, depremler ve diğer doğal afetlerin oluşmasına neden olabilirler. Bu nedenle, jeotermal enerji sistemleri, doğru bir şekilde planlanmalı ve işletilmelidir[35].

Jeotermal enerji, dünya genelinde farklı ülkelerde yaygın olarak kullanılan bir enerji kaynağıdır. İzlanda, dünyadaki jeotermal enerji üretiminin yaklaşık %25'ini karşılamaktadır, ABD, Filipinler, Japonya ve Yeni Zelanda gibi diğer ülkeler de önemli jeotermal enerji kaynaklarına sahiptirler, Türkiye'de de jeotermal enerji potansiyeli oldukça yüksektir ve bu potansiyelin büyük bir kısmı henüz kullanılmamaktadır. Jeotermal enerjinin elektrik üretiminde kullanılması, düşük karbon salınımı ile çevre dostu bir enerji kaynağı olarak kabul edilir, Jeotermal enerji, rüzgar ve güneş enerjisi gibi diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından farklı olarak, sürekli olarak üretilebilir, Bu nedenle, jeotermal enerji, enerji arzının çeşitlendirilmesi ve enerji bağımsızlığı sağlanması açısından önemlidir. Ayrıca, jeotermal enerji sistemleri, elektrik üretimi için gereken yakıtın tedarikindeki zorlukları ortadan kaldırmaktadır[36].

Jeotermal enerjinin ısıtma ve soğutma amaçlı kullanımı, binaların enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılabilir. Bu uygulama, binaların ısıtılması ve soğutulması için kullanılan geleneksel yakıtların kullanımının azaltılmasına ve çevre dostu bir enerji kaynağı olan jeotermal enerjinin kullanılmasına olanak tanır, Jeotermal enerji, ısıtma ve soğutma için kullanıldığında, diğer enerji kaynaklarına göre daha yüksek verimlilik sağlar, Jeotermal enerjinin dezavantajları arasında, yüksek maliyetleri ve bazı çevresel etkileri sayılabilir, Jeotermal enerjinin elektrik üretimi için kullanımı, yüksek maliyetli sondaj, kurulum ve bakım maliyetleri gerektirmektedir. Ayrıca, jeotermal enerji sistemlerinin çevresel etkileri, yeraltı su kaynaklarının tükenmesine veya kirlenmesine neden olabilmesinden kaynaklanır. Bu nedenle, jeotermal enerji sistemleri doğru bir şekilde planlanmalı ve işletilmelidir[37].

Jeotermal enerjinin dünya genelindeki potansiyeli oldukça yüksektir. Ancak, bu potansiyelin büyük bir kısmı henüz kullanılmamaktadır. Jeotermal enerjinin kullanımı, dünya genelinde artmaktadır. Bu artış, jeotermal enerjinin enerji üretimindeki payının artmasına ve dünya genelindeki enerji arzının çeşitlendirilmesine katkıda bulunacaktır. Ayrıca, jeotermal enerjinin ısıtma ve soğutma amaçlı kullanımı, binaların enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılabilir ve bu da enerji tasarrufu sağlar. Türkiye'de jeotermal enerji, özellikle son yıllarda önem kazanmıştır. Türkiye, dünya genelindeki jeotermal enerji potansiyeli açısından önemli bir yere sahiptir. Türkiye'de, özellikle Batı Anadolu'da jeotermal kaynaklar yoğun olarak bulunmaktadır. Türkiye'deki jeotermal enerji

potansiyeli, elektrik üretimi, ısıtma ve soğutma amaçlı kullanım için önemli fırsatlar sunmaktadır[38].

Tablo 2.4. Türkiye'deki mevcut ve gelecekteki jeotermal ısı ve elektrik üretim projeleri [39]

Yıl	Toplam kapasite (MWe)	Elektrik üretimi (GWh)	Termal Üretim (MWt)	TEP (x1000) (termal)
2002	20	90	965	430,721
2003	45	202,5	1187	511,462
2004	60	202,5	2122	914,341
2005	100	360	2926	1,260,774
2010	300	1250	3765	1,622,288
2015	400	2150	4670	2,145,410
2020	600	3500	6365	2,742,610
2025	1250	4625	8182	3,225,660
2030	1500	5625	10,150	3,890,545

2.1.4. Hidrojen Enerjisi

Hidrojen enerjisi, hidrojen gazının yakılması veya kimyasal reaksiyonlar yoluyla enerji elde edilmesi işlemidir. Hidrojen, evrenin en yaygın elementlerinden biridir ve suda bulunur, Hidrojen, yakıt hücreleri, motorlar ve türbinler gibi farklı teknolojiler aracılığıyla enerji üretmek için kullanılabilir. Hidrojen enerjisi, çevre dostu bir enerji kaynağı olarak kabul edilir, çünkü hidrojen, yakıt olarak kullanıldığında su buharı dışında atık bırakmaz, Hidrojen enerjisi, genellikle üç farklı şekilde kullanılır: yakıt hücreleri, hidrojen yakıtlı araçlar ve endüstriyel uygulamalar. Yakıt hücreleri, hidrojen ve oksijen kullanarak elektrik üretirler. Bu işlem sırasında, hidrojen ve oksijen birleşerek su moleküllerine dönüşürler. Yakıt hücreleri, özellikle taşıtların güç kaynağı olarak kullanılırlar. Hidrojen yakıtlı araçlar, hidrojen gazını yakarak güç üreten araçlardır, Bu araçlar, yakıt hücresi teknolojisine benzer şekilde çalışırlar, ancak hidrojen yakıtı doğrudan araç motorunda yakılır. Endüstriyel uygulamalar, hidrojenin çeşitli endüstrilerde kullanılmasını içerir. Örneğin, hidrojen, petrokimya ve metal üretiminde kullanılmaktadır[40].

Hidrojen enerjisi, bazı avantajları ve dezavantajları olan bir enerji kaynağıdır. Avantajları arasında, çevre dostu bir enerji kaynağı olması, yenilenebilir bir enerji kaynağı olması, yüksek enerji yoğunluğuna sahip olması ve kullanımı kolay olması gibi faktörler sayılabilir. Ayrıca, hidrojen enerjisi, fosil yakıtların alternatifi olarak

kullanılabilir ve enerji bağımsızlığı sağlayabilir, Hidrojen enerjisi, düşük karbon salınımı ile çevre dostu bir enerji kaynağı olarak kabul edilir, Hidrojen yakıt kullanıldığında, sadece su buharı dışında hiçbir atık bırakmaz. Dezavantajları arasında ise, hidrojen üretim maliyetlerinin yüksek olması, hidrojen depolama ve taşıma zorlukları, hidrojen yakıt hücreli araçlar ve hidrojen yakıt kullanılan endüstriyel uygulamaların maliyetinin yüksek olması sayılabilir. Hidrojen üretimi, genellikle doğal gazdan veya kömürden elde edilen hidrokarbonların gazlaştırılması yoluyla yapılır. Bu işlem, çevresel etkilere neden olabilen sera gazı salınımı ile sonuçlanabilir. Ancak, hidrojen üretimi için yenilenebilir enerji kaynakları da kullanılabilir, Bu kaynaklar, hidrojenin üretimi sırasında sera gazı salınımını önleyerek hidrojenin çevre dostu bir enerji kaynağı olarak kullanılmasını sağlar[40].

Hidrojen enerjisi, dünya genelinde farklı ülkelerde yaygın olarak kullanılan bir enerji kaynağıdır, Japonya, hidrojen enerjisi kullanımı konusunda lider bir ülke olarak kabul edilir. Ülke, hidrojen yakıt hücreli araçların üretimine ve kullanımına büyük yatırımlar yapmaktadır. ABD, Çin ve Avrupa Birliği de hidrojen enerjisi alanında büyük yatırımlar yapmaktadır ve hidrojen ekonomisi için stratejiler geliştirmektedirler. Hidrojen enerjisi, gelecekte önemli bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Fosil yakıtların tükenmesi ve çevresel etkilerinin artması nedeniyle, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik talep her geçen gün artmaktadır, Hidrojen enerjisi, çevre dostu bir enerji kaynağı olarak bu talebe yanıt verebilir. Hidrojenin, enerji depolama ve taşıma konusunda da potansiyel olarak önemli bir rol oynayabileceği düşünülmektedir, Hidrojen enerjisi, uluslararası işbirliği ve yatırımlarla daha yaygın olarak kullanılabilir hale getirilebilir. Hidrojen üretiminde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik yatırımlar artırılmalı ve hidrojen üretim maliyetleri düşürülmelidir. Ayrıca, hidrojen depolama ve taşıma teknolojilerinin geliştirilmesi de önemlidir. Hidrojen enerjisi, gelecekte enerji sektörünün önemli bir bileşeni olabilir ve dünya genelinde enerji dönüşümüne katkı sağlayabilir[41].

2.1.5. Hidrolik enerjisi

Hidrolik enerjisi, suyun potansiyel enerjisinden elde edilen bir enerji türüdür. Suyun yüksekten aşağıya akması, türbinleri çevirerek elektrik üretir. Hidrolik enerji, yenilenebilir, temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır, Hidroelektrik santralleri, suyun yüksekten aşağıya aktığı yerlerde inşa edilir. Suyun aktığı nehirler, barajlar ile

tutularak depolanmaktadır, Depolanan su, türbinleri çevirerek elektrik üretir, Hidroelektrik santralleri, büyük miktarlarda elektrik üretebilirler[42].

Hidroelektrik enerjisi, dünya genelinde en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynağıdır. Dünyadaki toplam elektrik üretiminin yaklaşık %20'si hidroelektrik santrallerinden elde edilmektedir. Hidroelektrik enerjisi, Türkiye'de de önemli bir enerji kaynağıdır. Türkiye'deki hidroelektrik santralleri, toplam elektrik üretiminin yaklaşık %30'unu karşılamaktadır. Hidroelektrik enerjisinin birçok avantajı vardır. Hidroelektrik enerjisi, yenilenebilir, temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Hidroelektrik santralleri, çevreye zarar vermezler. Ayrıca, hidroelektrik santralleri, büyük miktarlarda elektrik üretebilirler. Hidroelektrik enerjisinin bazı dezavantajları da vardır. Hidroelektrik santrallerinin inşası, çok maliyetli olabilir. Ayrıca, hidroelektrik santralleri, sulak alanları ve ekosistemleri tahrip edebilirler[42].

3. BİYOKÜTLE

Biyokütle, canlı organizmalardan veya canlı organizmalardan elde edilen organik maddelerin bütünüdür. Biyokütle, enerji üretimi, yakıt üretimi, gübre üretimi ve diğer endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Biyokütle, yenilenebilir bir enerji kaynağıdır, Biyokütle, bitki ve hayvan atıklarından, atık yağlardan ve evsel atıklardan elde edilebilir. Biyokütle, fosil yakıtlara göre daha çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Biyokütle, yakıldığında havaya karbondioksit salgılar, ancak bu karbondioksit, bitkilerin fotosentez sırasında atmosferden aldıkları karbondioksit ile aynıdır. Bu nedenle, biyokütle, fosil yakıtlara göre sera gazı emisyonlarını azaltmaya yardımcı olmaktadır[43].

Biyokütle, enerji üretimi için çeşitli şekillerde kullanılmaktadır, Biyokütle, yakıt olarak kullanılarak elektrik, ısı ve ulaşım için kullanılabilir, Biyokütle, biyoyakıt olarak da kullanılmaktadır, Biyoyakıtlar, benzin ve dizel yakıtlara alternatif olarak kullanılabilen sıvı yakıtlardır, Biyoyakıtlar, bitkisel yağlardan, hayvansal yağlardan ve atık yağlardan elde edilebilir, Biyokütle, gübre üretiminde de kullanılmaktadır, Biyokütle, gübre üretiminde kullanılan organik madde kaynağıdır, Biyokütle, kompost olarak kullanılarak toprağa uygulanabilir, Biyokütle, toprağın verimliliğini artırmaya ve bitkilerin büyümesini desteklemeye yardımcı olur[44].

Biyokütle, diğer endüstriyel uygulamalarda da kullanılmaktadır. Biyokütle, kağıt üretiminde, plastik üretiminde ve ilaç üretiminde kullanılmaktadır. Biyokütle, yenilenebilir bir enerji kaynağıdır ve çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Biyokütle, enerji üretimi, yakıt üretimi, gübre üretimi ve diğer endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır[45].

Biyokütlenin bazı avantajları şunlardır[45]:

- Yenilenebilir bir enerji kaynağıdır,
- Fosil yakıtlara göre daha çevre dostu bir enerji kaynağıdır,
- Düşük maliyetlidir,
- Lokal olarak üretilir,

Biyokütlenin bazı dezavantajları şunlardır[45]:

- Büyüyen bitki ve hayvan atıklarının depolanması ve taşınması zor olabilir,
- Biyokütle enerjisi santralleri, hava kirliliğine neden olabilir,
- Biyokütle enerjisi santralleri, gürültüye neden olabilir,

Biyokütle, yenilenebilir bir enerji kaynağıdır ve fosil yakıtlara göre çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Biyokütle enerjisi, elektrik üretmek, ısı üretmek ve yakıt olarak kullanılabilir. Biyokütle enerjisinin kullanımı, çevre kirliliğinin azaltılması ve enerji güvenliğinin sağlanmasına yardımcı olacaktır[46].

Biyokütlenin enerjisinin kullanımının artırılması için, bazı önlemler alınabilir, Bu önlemler şunlardır[46]:

- Biyokütle enerjisi teknolojilerinin geliştirilmesi,
- Biyokütle enerjisi yatırımlarının teşvik edilmesi,
- Biyokütle enerjisi kullanımının yaygınlaştırılması,

3.1. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle enerjisi, organik maddelerin yakılması veya parçalanması yoluyla elde edilen bir enerji kaynağıdır. Bu organik maddeler, tarımsal atıklar, orman ürünleri, gıda atıkları, hayvan gübresi ve diğer biyolojik maddelerdir. Biyokütle enerjisi, yenilenebilir bir enerji kaynağıdır ve fosil yakıt kaynaklarına alternatif olarak kullanılabilir. Biyokütle enerjisi, dünya genelinde birçok ülkede kullanılmaktadır. Dünya genelinde biyokütle enerjisi üretiminde lider ülkeler; ABD, Brezilya, Almanya, İsveç, Finlandiya ve Danimarka'dır. Bu ülkeler, biyokütle enerjisi üretimi konusunda yüksek bir teknoloji seviyesine sahiptirler[47].

Biyokütle enerjisi kaynakları biyokütle enerjisi, birçok farklı kaynaktan elde edilebilir. Bu kaynaklar arasında tarımsal atıklar, orman ürünleri, gıda atıkları, hayvan gübresi, su yosunları ve diğer biyolojik maddeler yer alır. Bu kaynakların her biri, farklı bir yöntemle enerjiye dönüştürülebilir[47].

Tarımsal atıklar, biyokütle enerjisi üretmek için en yaygın kullanılan kaynaklardan biridir. Bu atıklar arasında mısır sapları, buğday sapları, pirinç kabukları ve diğer tarımsal atıklar yer alır. Tarımsal atıklar, biyokütle enerjisi üretimi için uygun bir kaynak olmasının yanı sıra, dünya genelinde bol miktarda bulunmaktadır. Tarımsal atıkların biyokütle enerjisi üretimi için kullanılması, çiftçilerin gelirlerini artırırken, tarımsal atıkların doğru bir şekilde yönetilmesine de yardımcı olmaktadır. Bu sayede, çiftçilerin tarlalarında daha az atık birikir ve çevre kirliliği azaltılmış olur[48].

Orman ürünleri, biyokütle enerjisi üretmek için kullanılabilir bir diğer kaynaktır. Orman ürünleri arasında ağaçlar, odun atıkları, yapraklar ve diğer bitki artıkları yer alır. Orman ürünleri, biyokütle enerjisi üretimi için uygun bir kaynak olmasının yanı sıra,

orman yönetimi uygulamalarının bir parçası olarak da düzenli olarak toplanabilmektedir, Orman ürünleri, biyokütle enerjisi üretimi için uygun bir kaynak olmasının yanı sıra, ormanların sürdürülebilir yönetimi için de önemlidir. Orman ürünleri, ormanların sürdürülebilir kullanımını sağlayarak ormanların devamlılığını ve sağlığını korur[48].

Gıda atıkları, biyokütle enerjisi üretimi için kullanılabilir bir diğer kaynaktır. Gıda atıkları arasında sebze, meyve, et ve diğer gıda artıkları yer alır. Gıda atıkları, biyokütle enerjisi üretimi için uygun bir kaynak olmasının yanı sıra, çevre kirliliği sorunlarının da önüne geçebilir. Gıda atıklarının biyokütle enerjisi üretimi için kullanılması, çöp depolama alanlarının azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Bu sayede, çevre kirliliği azaltılmış olur ve aynı zamanda enerji üretimi için kullanılan fosil yakıt kaynaklarının tüketimi de azaltılmış olmaktadır[48].

Hayvan gübresi, biyokütle enerjisi üretimi için kullanılabilir bir diğer kaynaktır. Hayvan gübresi, çiftliklerde bol miktarda bulunur ve doğru bir şekilde yönetilmediğinde çevre kirliliği sorunlarına neden olabilir. Hayvan gübresi, biyokütle enerjisi üretimi için uygun bir kaynak olmasının yanı sıra, çiftçilerin gelirlerini arttırmalarına da yardımcı olabilir. Hayvan gübresi, biyokütle enerjisi üretimi için uygun bir kaynak olmasının yanı sıra, tarım faaliyetlerinin sürdürülebilirliği için de önemlidir. Bu sayede, çiftliklerdeki atıkların doğru bir şekilde yönetilmesi sağlanarak çevre kirliliği azaltılmış olmaktadır[49].

Su yosunları, biyokütle enerjisi üretimi için kullanılabilir bir diğer kaynaktır, Su yosunları, sudaki organik maddelerin birikmesi sonucu oluşan bir bitki türüdür. Su yosunları, biyokütle enerjisi üretimi için uygun bir kaynak olmasının yanı sıra, su kaynaklarının temizlenmesinde de kullanılabilir. Su yosunlarının biyokütle enerjisi üretimi için kullanılması, su kaynaklarının temizlenmesine yardımcı olurken, aynı zamanda yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak da kullanabilmektedir[49].

3.2. Türkiye'nin Biyokütle Potansiyeli

İkinci Türkiye'nin biyokütle potansiyeli oldukça yüksek olan bir ülkedir. Zengin biyolojik çeşitlilik ve tarım alanlarına sahip olması, biyokütle kaynakları açısından zengin bir ülke olmasını sağlamaktadır. Türkiye'de biyokütle enerjisi üretimi için çeşitli biyolojik materyaller kullanılabilir ve bu kaynaklar potansiyel olarak büyük bir enerji üretim kapasitesi sunmaktadır. Türkiye, tarımsal atıklar, orman artıkları, hayvan gübresi ve endüstriyel atıklar gibi çeşitli biyokütle kaynaklarına sahiptir. Tarımsal faaliyetler sırasında ortaya çıkan tarımsal atıklar, biyokütle enerjisi üretimi için önemli bir kaynaktır.

Buğday sapları, mısır koçanları, pamuk sapları, ayçiçeği kabukları gibi atıklar biyokütle yakma veya biyogaz üretimi için kullanılabilir[50].

Türkiye'nin büyük ormanlık alanları bulunmaktadır ve bu alanlardan elde edilen orman artıkları, biyokütle enerjisi üretiminde kullanılabilir. Orman bakımı ve kesim işlemleri sırasında oluşan odun atıkları ve odun kırıkları, biyokütle yakma için uygundur. Hayvancılık sektörü Türkiye'de önemli bir rol oynamaktadır ve bu sektörde ortaya çıkan hayvan gübresi, biyogaz üretimi için önemli bir kaynaktır. Biyogaz üretimi sırasında hayvan gübresi, mikrobiyal fermantasyon ile metan gazına dönüştürülür ve elektrik enerjisi üretimi için kullanılabilir. Endüstriyel sektörlerin faaliyetleri sonucunda oluşan endüstriyel atıklar, biyokütle enerjisi üretimi için değerlendirilebilir, Özellikle tarım, gıda, kağıt ve kereste endüstrileri gibi sektörlerde oluşan atıklar, biyokütle enerjisi potansiyelini artmaktadır[50].

Türkiye, biyokütle enerjisi üretimi için enerji bitkilerinin yetiştirilmesi konusunda da potansiyele sahiptir, Mısır, şeker kamışı, ayçiçeği, palmiye yağı gibi bazı bitkiler, biyokütle sıvı yakıtları üretmek için kullanılabilir. Biyokütle enerjisi, Türkiye'nin enerji politikalarında ve enerji arzının sürdürülebilirliğinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu yenilenebilir enerji kaynağı, çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sunar, Biyokütle enerjisi üretimi sırasında açığa çıkan karbondioksit, biyokütle kaynaklarının büyüme sürecinde emilen karbonla dengelenir, bu nedenle biyokütle enerjisi fosil yakıtlara göre düşük karbon ayak izine sahiptir. Biyokütle enerjisi, Türkiye'nin enerji politikalarında ve enerji arzının sürdürülebilirliğinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu yenilenebilir enerji kaynağı, çevresel sürdürülebilirlik açısından önemli avantajlar sunar, Biyokütle enerjisi üretimi sırasında açığa çıkan karbondioksit, biyokütle kaynaklarının büyüme sürecinde emilen karbonla dengelenir, bu nedenle biyokütle enerjisi fosil yakıtlara göre düşük karbon ayak izine sahiptir[51].

Türkiye biyokütle enerjisi potansiyeli açısından zengin bir ülkedir, Tarımsal atıklar, orman artıkları, hayvan gübresi ve endüstriyel atıklar gibi çeşitli biyokütle kaynakları, enerji üretimi için değerlendirilebilir. Enerji politikalarının ve teşviklerin doğru bir şekilde yönlendirilmesiyle, Türkiye biyokütle enerjisi potansiyelini tam anlamıyla değerlendirebilir ve enerji arz güvenliğini ve çevresel sürdürülebilirliği sağlayabilir[51].

Tablo 3.1. *Türkiye'nin biyokütle enerjisinin potansiyeli ve kaynakları[51]*

Biyokütle Kaynağı	Potansiyel Miktarı (ton/yıl)	Kaynak
Tarımsal Atıklar	60 Milyon	Mısır, şekerpancarı, buğday, ayçiçeği vb, Tarımsal ürün artıkları
Orman Ürünleri	25 – 30 milyon m ³ odun üretimi	Ağaç kesim atıkları, orman yan ürünleri vb,
Hayvan Gübresi	21 milyon büyükbaş 44 milyon küçükbaş hayvan	Sığır, koyun, keçi, tavuk, hindi vb, Hayvan gübreleri
Gıda Atıkları	30 milyon	Restoran, lokanta, market vb, Yerlerde oluşan gıda atıkları

3.3. Dünya Biyokütle Potansiyeli

Dünya biyokütle potansiyeli, dünya yüzeyindeki bitki örtüsü, tarım ürünleri, ormanlar ve denizlerdeki biyolojik kaynaklar gibi canlı organik materyallerin toplamıdır. Bu organik materyallerin, biyokütle enerjisi olarak kullanılması mümkündür ve dünya enerji tüketiminin önemli bir kısmının biyokütle kaynaklarından karşılanması hedeflenmektedir. Dünya biyokütle potansiyeli, çeşitli faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Örneğin, dünya genelindeki iklim koşulları, toprak kalitesi, bitki örtüsü, tarım ürünleri ve diğer biyolojik kaynaklar, biyokütle potansiyelini etkileyen faktörler arasındadır. Buna rağmen, yapılan araştırmalar, dünya biyokütle potansiyelinin oldukça yüksek olduğunu göstermektedir, Örneğin, dünya genelindeki tarım arazileri ve ormanlık alanlar, biyokütle enerjisi üretimi için kullanılabilir önemli kaynaklar arasındadır. Ayrıca, denizlerdeki algler ve diğer deniz ürünleri de biyokütle enerjisi üretiminde kullanılabilecek potansiyele sahiptir[52].

Dünya biyokütle potansiyeli, sadece enerji üretimi için değil, aynı zamanda diğer endüstriyel amaçlar için de kullanılabilir. Örneğin, biyokütle kaynaklarından elde edilen malzemeler, inşaat sektörü, tekstil sektörü ve diğer endüstrilerde kullanılabilecek hammaddeler olarak da değerlendirilebilir. O yüzden, dünya biyokütle potansiyelinin oldukça yüksek olduğu ve biyokütle enerjisi üretiminin gelecekte enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi açısından önemli bir rol oynayacağı düşünülmektedir. Ancak, biyokütle kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde kullanılması ve çevresel etkilerinin en aza indirgenmesi için uygun yönetim stratejilerinin geliştirilmesi gerekmektedir[52].

Dünya biyokütle potansiyeli, enerji üretimi için kullanılabilen biyokütle miktarını belirlemek için kullanılır. Biyokütle, yenilenebilir bir enerji kaynağıdır ve fosil yakıtların yerine kullanılması, çevre dostu bir enerji kaynağıdır. Biyokütle, fosil yakıtların aksine

sınırsız bir kaynak olarak kabul edilir çünkü biyolojik olarak üretilebilir, Dünya biyokütle potansiyeli, ülkeden ülkeye değişebilir. Örneğin, tropikal ülkelerde biyokütle potansiyeli daha yüksek olabilirken, kutup bölgelerinde daha düşük olabilir. Ayrıca, biyokütle potansiyeli, çevresel faktörler, iklim koşulları, toprak kalitesi ve yönetim uygulamaları gibi faktörlere de bağlıdır[53].

3.4. Biyokütle Özellikleri

Biyokütle kaynaklarının özelliği, dönüşüm sürecinin seçimini ve sonraki aşamalarda ortaya çıkabilecek sorunları belirlemektir. Enerji dönüşüm sürecinde kullanılan malzeme özellikleri, uygulanan süreçler boyunca çok önemlidir. Aşağıdakiler, bir biyokütlenin enerji kaynağı olarak aranan özelliklerden bazılarıdır[54]:

- Nem oranı
- Isıl değer
- Sabit karbon ve uçucu madde miktarı
- Kül miktarı
- Alkali metal içeriği
- Selüloz / lignin oranı

Biyokütlenin içinde bulunan iki tür nem, hava ile temasa geçtikçe ortaya çıkar, Hasat sırasında, su topraktan biyokütleyle nemli hava koşullarında geçebilir. Bu nem zamanla biyokütledeki diğer maddelerin özelliklerini etkiler. Biyokütlenin nem oranı, biyokütlenin üretebileceği enerjiyi azaltır. Maddelerin havada yandıklarında verdikleri enerji, onların ısı değerini belirler. Biyokütlelerin enerjiye dönüştürülme oranı, kullanılan teknolojiye bağlıdır. Ürün verimi, normal koşullarda maddenin ısı değeri kuru (nem oranı sıfır kabul edilerek) ve ısı değeri kuru olarak hesaplanır[55].

Kimyasal enerji, yakıtların uçucu ve sabit karbon formlarında saklanır, Sabit karbon ve uçucu miktarı biyokütlenin tutuşma, daha sonraki aşamalarda gazlaşma ve oksidasyonun nasıl gerçekleşeceğini gösterir. Fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında, biyoyakıt daha düşük enerji içeriğine sahiptir çünkü daha yüksek karbon oranına sahiptir, "Kül", hava ile yakıtı yaktığımızda oluşan katı maddedir. Uygulanan süreç ve enerji dönüşüm maliyetleri, biyokütlenin kül oranı tarafından etkilenir, Yakıtın büyüklüğüne orantılı olarak yakıttan elde edilebilecek enerji miktarı da azalacaktır, Külün kimyasal bileşimi, termokimyasal dönüşüm sürecinde büyük sorunlara neden olabilir[56], Sadece biyokimyasal dönüşüm süreçleri, bir biyokütledeki lignin ve selüloz oranını belirler,

Lignin biyolojik olarak parçalanabilirliği selerozdan daha düşüktür, Lignin içeren bitkilerin dönüşümü, seleroz içeren bitkilerin dönüşümünden daha düşüktür, Bu oran, biyokimyasal işlemler için biyokütle seçimini etkiler [56].

3.5. Biyokütle Kimyasal Yapısı

Lignin, hemiselüloz, selüloz ve ekstraktif maddeler, biyokütlenin bileşenleridir. Bitkisel kaynaklı biyoküteller lignoselüloziktir ve yüzde kırk ila elli selüloz, yüzde otuz ila otuz beş hemiselüloz, yüzde yirmi ila otuz lignin ve geriye kalan kısım ekstraktiftir [57].

3.5.1. Selüloz

Kuru odunun %40-50'sini oluşturan selüloz fiberler, odunun sağlamlığını artırır. Yüksek molekül ağırlığına sahip C1 konfigürasyonunda bulunan glukopironiz birimlerinin lineer polimerleridir, Anhidroselüloz, levoglukonlar ve selüloz 240-250 °C'de parçalanır. Helyum altında 12 °C/dak ısıtma hızı ile selerozun pirolizi, 335 °C'de başlar ve 360 °C'de sona erer [57].

3.5.2. Hemiselüloz

Hemiselüloz, kuru odunda % 25-35, yumuşak odunda % 28 ve sert odundada % 35'tir. Hemiselüloz, arabinoz, mannoz, glukoz ve galaktoz gibi farklı polimerleşmiş monosakkaritlerin bir kombinasyonudur. Selüloz, hemiselülozdan daha ağır bir molekül ağırlığına sahiptir. Selüloza kıyasla, sakarat monomerlerinin tekrar sayısı oldukça azdır. Hemiselüloz, selüloza göre daha uçucu olduğundan, 200 ila 260°C arasında bozunarak daha az katı ürün ve katran üretmektedir. Yavaş pirolizde hemiselüloz kaybı 130-194°C'de gerçekleşir ve çoğu 180°C'nin üzerinde gerçekleşir [57].

3.5.3. Lignin

Lignin, yumuşak odunda %23-33 ve sert odunda %16-25 oranında bulunur, Lignin 280-500°C'de parçalanır, Lignin, yarı selüloz ve selülozdan daha zor dehidre edilir, DTA analizinde yavaş ısıtma hızında 290–389 °C'de ekzotermik bir reaksiyon meydana gelir, 420 °C'de ikinci bir ekzotermik reaksiyon meydana gelir ve bu reaksiyon 500 °C'ye kadar yükselir. Lignin odada 280°C'de başlar ve 350-450°C'de en yüksek hıza ulaşır ve 450-500°C'de sona erir [57].

3.6. Biyokütle Uygulanan Dönüşüm Süreçleri

Biyokütle, üretimi sırasında insanlar tarafından doğal olarak oluşan veya

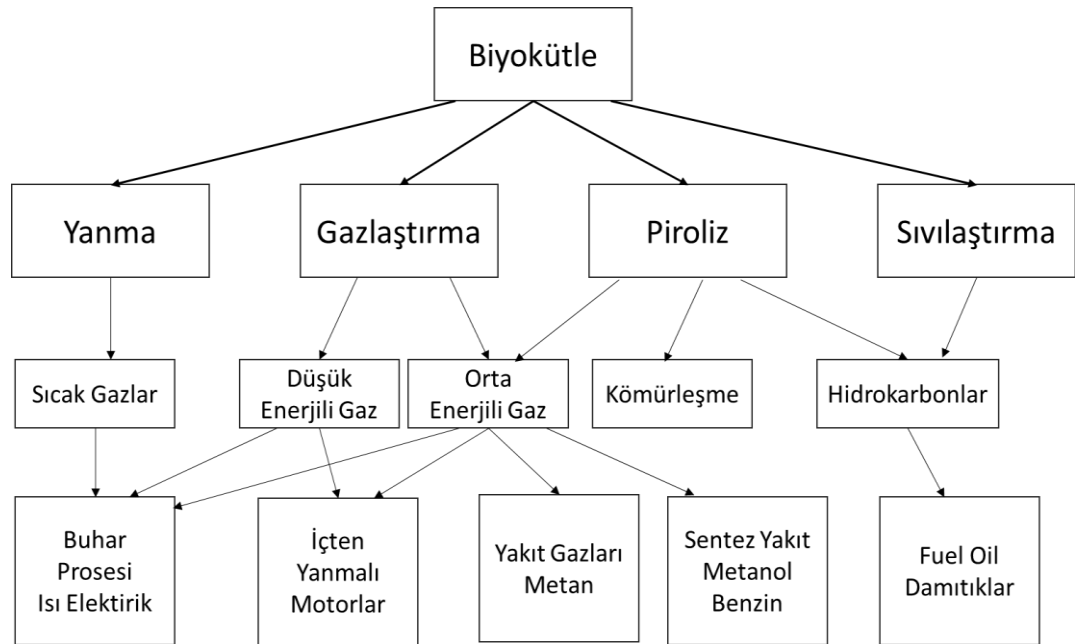
Üretilen organik maddelerden oluşur. Biyokütle kaynakları, tarım atıkları, orman ürünleri, hayvansal atıklar, endüstriyel atıklar ve diğerk organik atıklar gibi çeşitli kaynaklardan elde edilebilir. Biyokütlenin enerji kaynağı olarak kullanılması, fosil yakıtların tükenmesi ve çevresel etkileri nedeniyle önem kazanmaktadır. Biyokütlenin enerjiye dönüştürülmesi için bir dizi süreç kullanılabılır. Bu süreçler arasında biyokütle gazlaştırma, biyokütle pirolizi, biyokütle sıvılaştırma ve biyokütle fermentasyonu bulunmaktadır[58].

Biyokütle gazlaştırma, biyokütleyi yanıcı gazlara dönüştürmek için kullanılan bir süreçtir. Bu süreçte biyokütlenin yüksek sıcaklık ve basınç altında ısıtılması ve buharlaştırılması için oksijensiz bir ortam oluşturulur. Bu işlem sonucunda oluşan gaz, metan, hidrojen, karbon monoksit ve diğerk yanıcı gazlardan oluşur. Bu gazlar, enerjiretmek için kullanılabılır veya kimyasal üretim için kullanılabılır. Biyokütle gazlaştırması, birçok avantaja sahiptir. Bu süreç, biyokütlenin üretiminde kullanılan malzemelerin azaltılmasına ve atıkların geri dönüştürülmesine yardımcı olabilir. Ayrıca, biyokütle gazlaştırması, diğerk biyokütle dönüşüm yöntemlerine göre daha yüksek enerji verimliliğı sağlayabilir. Ancak, biyokütle gazlaştırması da bazı dezavantajlara sahiptir. Bu süreç, yüksek maliyetli ekipmanlar ve karmaşık işlemler gerektirir. Ayrıca, gazlaştırma süreci sırasında oluşabilecek çevresel etkiler, emisyonlar ve atıklar gibi sorunlar da meydana gelebilir. Bu nedenle, biyokütle gazlaştırması uygulanmadan önce, sürecin olası sorunları ve çözümleri hakkında detaylı bir analiz yapılması önemlidir[58].

Biyokütle pirolizi, biyokütleyi yüksek sıcaklıkta yanıcı gazlara dönüştürmek için kullanılan bir süreçtir. Bu işlem, biyokütlenin yüksek sıcaklıkta oksijensiz bir ortamda ısıtılması ve buharlaştırılması için kullanılmaktadır. Bu işlem sonunda, karbon, hidrojen ve oksijen içeren bir yanıcı gaz elde edilir. Biyokütle pirolizi, biyokütlenin yanması sırasında oluşan emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olabilir. Ayrıca, biyokütle pirolizi, biyokütlenin enerji yoğunluğunu artırabilir ve biyokütlenin rimi sırasında kullanılan malzemelerin azaltılmasına yardımcı olabilir. Ancak, biyokütle pirolizi de bazı dezavantajlara sahiptir. Bu süreç, yüksek maliyetli ekipmanlar ve karmaşık işlemler gerektirir. Ayrıca, piroliz sırasında oluşabilecek çevresel etkiler ve atıklar gibi sorunlar da meydana gelebilir. Bu nedenle, biyokütle pirolizi uygulanmadan önce, sürecin olası sorunları ve çözümleri hakkında detaylı bir analiz yapılması önemlidir[58].

Biyokütle sıvılaştırma, biyokütleyi sıvı yakıtıya dönüştürmek için kullanılan bir süreçtir. Bu süreçte, biyokütlenin yüksek sıcaklık ve basınç altında işlenmesiyle biyoyakıt üretilir. Bu süreçte, biyokütle öncelikle oksijensiz ortamda ısıtılır ve sıvılaştırılır. Daha sonra, elde edilen sıvı, rafine edilerek biyoyakıt haline getirilir. Biyokütle sıvılaştırması, biyokütlenin enerji yoğunluğunu artıran bir süreçtir. Ayrıca, biyokütle sıvılaştırması, biyokütlenin üretimi sırasında kullanılan malzemelerin azaltılmasına yardımcı olabilir. Biyokütle sıvılaştırması, biyojet yakıtı ve biyodizel gibi çeşitli yakıt türleri üretmek için kullanılabilir. Ama, biyokütle sıvılaştırması da bazı dezavantajlara sahiptir. Bu süreç, yüksek maliyetli ekipmanlar ve karmaşık işlemler gerektirir. Ayrıca, sıvılaştırma sırasında oluşabilecek çevresel etkiler ve atıklar gibi sorunlar da meydana gelebilir. Bu nedenle, biyokütle sıvılaştırması uygulanmadan önce, sürecin olası sorunları ve çözümleri hakkında detaylı bir analiz yapılması önemlidir[59].

Biyokütle fermentasyonu, biyokütleyi biyoetanola veya biyohidrojenedönüştürmek için kullanılan bir süreçtir. Bu süreçte, biyokütle öncelikle oksijensiz bir ortamda fermentasyona uğrar. Fermentasyon sırasında, bakteriler veya mayalar biyokütleyi karbon dioksit, alkol veya hidrojen gibi farklı ürünlere dönüştürür. Biyokütle fermentasyonu, biyokütlenin enerji yoğunluğunu artıran bir süreçtir. Ayrıca, biyokütle fermentasyonu, biyoetanol ve biyohidrojen gibi çeşitli yakıt türleri üretmek için kullanılabilir[59].



Şekil 3.1. Biyokütlenin termokimyasal dönüşümleri[60]

3.6.1. Yanma

Yanma biyokütlenin enerjiye dönüştürülmesinde kullanılan bir yöntemdir. Biyokütle yanması, biyokütlenin doğrudan yakılması yoluyla enerji üretimini sağlar. Bu yöntem, biyokütlenin enerji yoğunluğunu korur ve enerji üretimi için düşük maliyetli bir seçenek olarak kabul edilir. Biyokütle yanma yöntemi, biyokütlenin yakılması sonucu ortaya çıkan ısı enerjisinin kullanımını içerir. Bu ısı enerjisi, elektrik enerjisi üretmek için kullanılabilir veya endüstriyel ısınma, ev ısınması veya buhar üretimi gibi çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Biyokütle yanma işlemi, biyokütlenin yanması sırasında emisyonların oluşmasına neden olabilir, Bu emisyonlar, karbondioksit, azot oksitleri, kükürt dioksit ve partikül madde gibi çevresel kirleticileri içerebilir, Bu nedenle, biyokütle yanma işlemi sırasında emisyonların kontrol edilmesi önemlidir[60].

Biyokütle yanma yöntemi, diğer biyokütle dönüşüm yöntemlerine göre daha düşük bir enerji verimliliği sağlayabilir. Bu nedenle, biyokütle yanma işlemi özellikle küçük ölçekli enerji üretimi için uygun olabilir. Sonuç olarak, biyokütle yanma, biyokütlenin enerjiye dönüştürülmesi için kullanılan bir diğer yöntemdir. Bu yöntem, düşük maliyetli bir seçenek olarak kabul edilir ve çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Ancak, biyokütle yanma işlemi sırasında oluşabilecek emisyonlar ve enerji verimliliği gibi faktörler göz önünde bulundurulmalıdır[60].

3.6.2. Gazlaştırma

Biyokütlenin gazlaştırılması da önemli bir dönüşüm sürecidir, Gazlaştırma, biyokütle malzemesini yüksek sıcaklık ve basınç altında ısıtarak gaz haline dönüştürme işlemidir. Bu süreçte biyokütle, sentez gazı (syngas) olarak adlandırılan bir gaz karışımına dönüşür. Biyokütle gazlaştırma süreci genellikle üç aşamada gerçekleşir. İlk aşama kurutmadır. Biyokütle malzemesi, nem içerebileceği için öncelikle kurutulmalıdır. Kurutma işlemi, biyokütlenin daha verimli bir şekilde gazlaştırılabilmesi için önemlidir. Kurutma işleminden sonra, biyokütle malzemesi piroliz adı verilen bir işleme tabi tutulur. Piroliz, yüksek sıcaklıklarda, oksijenin olmadığı bir ortamda gerçekleşen bir termokimyasal dönüşüm işlemidir. Bu aşamada, biyokütle malzemesi termal bozunma sürecine girer ve katı karbon, gazlar ve katı artıklar oluşur[61].

Piroliz aşamasından sonra, elde edilen katı karbon ve diğer artıklar gazlaştırma işlemine tabi tutulur. Gazlaştırma, biyokütle malzemesinin yüksek sıcaklık ve basınç altında ısıtılmasıyla gerçekleşir. Bu işlem sonucunda biyokütle, sentez gazı olarak

adlandırılan bir gaz karışımına dönüşür. Sentez gazı genellikle hidrojen (H_2), karbon monoksit (CO) ve metan (CH_4) gibi bileşiklerden oluşur. Elde edilen sentez gazı enerji üretimi veya kimyasal üretim için kullanılabilir. Enerji üretimi için sentez gazı, gaz motorları veya gaz türbinleri gibi enerji dönüştürme sistemlerinde kullanılabilir. Ayrıca, sentez gazı kimyasal üretim endüstrisinde farklı ürünlerin sentezi için kullanılabilir. Örneğin, sentez gazı metanol, amonyak veya sentetik yakıt gibi ürünlerin üretiminde kullanılabilir[62]. Biyokütle gazlaştırma süreci birçok avantajı beraberinde getirir. Biyokütle yenilenebilir bir enerji kaynağıdır ve sürdürülebilir enerji üretimine katkı sağlar. Ayrıca, biyokütle gazlaştırma süreci organik atıkların etkili bir şekilde bertaraf edilmesini sağlar. Bu sayede çevresel sorunlar azaltılabilir. Gazlaştırma süreci aynı zamanda enerji verimliliğini artırır ve fosil yakıtlara göre daha düşük emisyon salınımı sağlar. Biyokütle gazlaştırma süreci aynı zamanda esneklik sağlar. Farklı biyokütle kaynakları kullanılarak enerji üretimi yapılabilir. Bu da enerji kaynaklarının çeşitliliğini artırır ve enerji arzının güvenliğini sağlar. Biyokütle gazlaştırma süreci, organik atıkların ve bitkisel kaynakların enerjiye dönüştürülmesinde etkili bir yöntemdir. Gazlaştırma işlemi, biyokütlenin yüksesıcaklık ve basınç altında gaz haline dönüştürülmesini sağlar. Elde edilen sentez gazı, enerji üretimi veya kimyasal üretim için kullanılabilir. Biyokütle gazlaştırma süreci, yenilenebilir enerji üretimine katkı sağlarken aynı zamanda atık bertarafı ve düşük emisyon salınımı gibi avantajları da beraberinde getirir[62].

3.6.3. Sıvılaştırma

Biyokütle sıvılaştırma, biyokütlenin düşük sıcaklık ve yüksek basınç altında sıvı yakıt haline dönüştürülmesi ile enerji üretimini sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem, biyokütlenin enerji yoğunluğunu artırır ve daha yüksek bir enerji verimliliği sağlar. Biyokütle sıvılaştırma işlemi, biyokütlenin önceden hazırlanan bir karışımda sıvılaştırıcı bir madde ile karıştırılması ile başlar. Bu karışım daha sonra düşük sıcaklık ve yüksek basınç altında işlem görür. Bu işlem sırasında biyokütle, sıvı yakıt bileşenlerine ayrılır. Oluşan sıvı yakıt bileşenleri genellikle metanol, etanol ve diğer organik bileşiklerden oluşur. Bu sıvı yakıtlar daha sonra enerji üretmek için kullanılabilir[63].

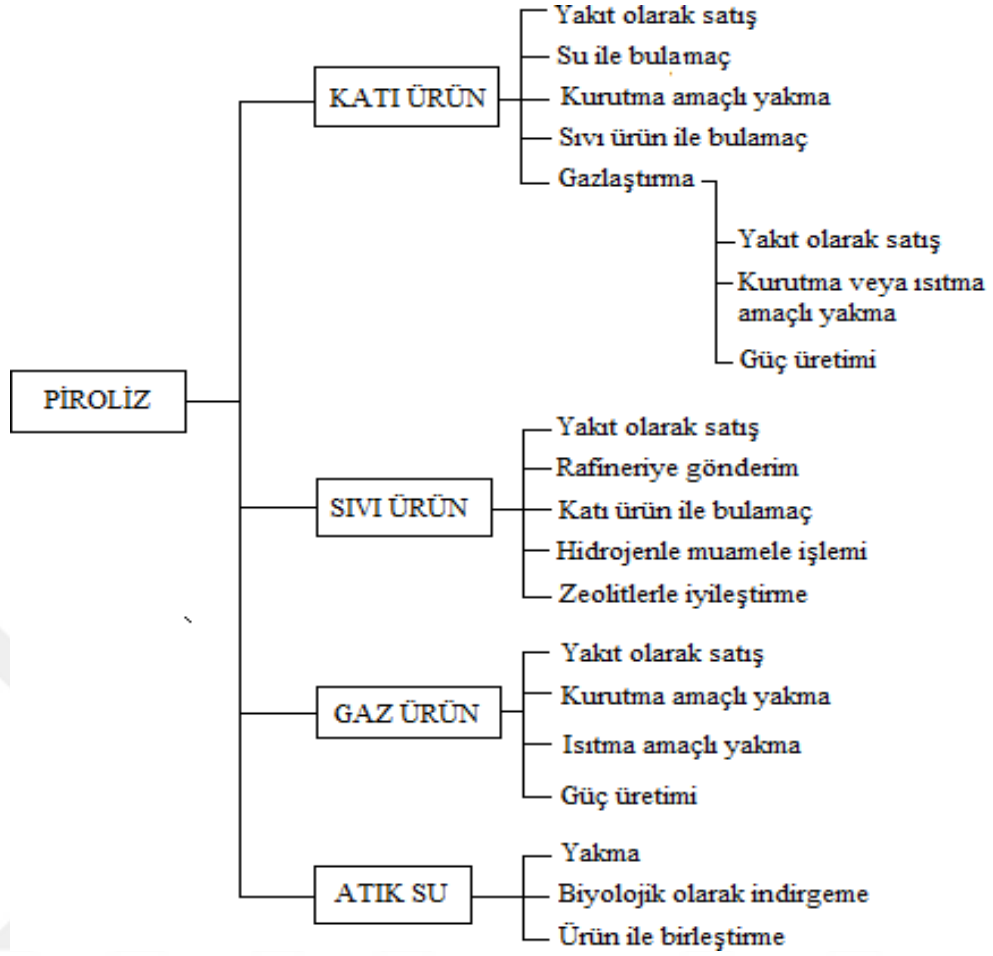
Biyokütle sıvılaştırma işlemi, biyokütlenin yanması sırasında oluşan emisyonları azaltır. Sıvı yakıt olarak kullanılan biyokütle, genellikle daha temiz bir yanma sağlar ve daha düşük emisyon seviyeleri üretir. Bu nedenle, biyokütle sıvılaştırma işlemi daha çevre dostu bir seçenek olarak kabul edilir. Biyokütle sıvılaştırma yöntemi, farklı

biyokütle türlerinin kullanımına izin verir ve farklı boyutlardaki tesislerde uygulanabilir. Ayrıca, sıvı yakıt olarak üretilen biyokütle, diğer yakıtlarla karıştırılabilir ve daha yüksek enerji verimliliği sağlanabilir. Biyokütle sıvılaştırma işlemi, petrol kaynaklarının azalması ve enerji güvenliğine yönelik endişelerin artması nedeniyle giderek daha fazla ilgi çekmektedir[64].

Biyokütle sıvılaştırma işlemi, diğer biyokütle dönüşüm yöntemlerine göre daha yüksek bir maliyetle gerçekleştirilebilir. Ancak, sıvı yakıt olarak kullanılan biyokütle, diğer yakıtlarla karıştırılarak daha yüksek bir enerji verimliliği sağlayabilir. Bu nedenle, biyokütle sıvılaştırma işlemi, enerji güvenliği ve çevre dostu enerji üretimi için önemli bir seçenek olarak görülmektedir[64].

3.6.4. Piroliz

Biyokütle pirolizi, biyokütlenin yüksek sıcaklıkta ve oksijen olmadan termokimyasal dönüşümü ile gaz, katı ve sıvı üretimi sağlayan bir yöntemdir. Bu yöntem, biyokütlenin enerji yoğunluğunu artırır ve daha yüksek bir enerji verimliliği sağlar. Biyokütle pirolizi işlemi, biyokütlenin yüksek sıcaklıkta ve oksijen olmadan termokimyasal dönüşümü ile başlar. Bu işlem sırasında biyokütle, gaz, katı ve sıvı bileşenlere ayrılır. Oluşan gaz bileşenleri genellikle hidrojen, karbon monoksit ve metan gibi gazlardan oluşurken, katı bileşenler ise karbon, katran ve kömür gibi malzemelerdir. Sıvı bileşenler ise genellikle bio-y yağlar ve bio-kömürler gibi yakıtlardır[65].



Şekil 3.2. Piroliz ürünleri ve uygulamaları [66]

Biyokütle pirolizi işlemi, biyokütlenin yanması sırasında oluşan emisyonları azaltır. Piroliz işlemi sırasında oluşan gaz ve katı bileşenler, genellikle biyokütlenin yanması sırasında oluşan emisyonlardan daha düşük seviyelerde olabilir. Bu nedenle, biyokütle pirolizi işlemi daha çevre dostu bir seçenek olarak kabul edilir. Biyokütle pirolizi yöntemi, farklı biyokütle türlerinin kullanımına izin verir ve farklı boyutlardaki tesislerde uygulanabilir. Ayrıca, piroliz işlemi sırasında oluşan malzemeler, kimya endüstrisi gibi diğer alanlarda da kullanılabilir[66].

Biyokütle pirolizi yöntemi, enerji üretiminin yanı sıra diğer endüstriyel uygulamalarda da kullanılabilir. Piroliz işlemi sonucu elde edilen gaz, katı ve sıvı ürünler, aşağıdaki alanlarda kullanılabilir[66]:

1. **Enerji üretimi:** Biyokütlenin pirolizi ile elde edilen gaz, katı ve sıvı yakıtlar, enerji üretimi için kullanılabilir. Özellikle, biyokütle pirolizi işlemi, elektrik üretimi için bir alternatif olarak kullanılabilir.
2. **Kimya endüstrisi:** Piroliz işlemi sonucu elde edilen ürünler, kimya endüstrisinde

kullanılabilir. Örneğin, bio-yağlar, kimyasal üretimde kullanılabilir.

3. **Tarım:** Piroliz işlemi, tarım atıklarının bertaraf edilmesi için de kullanılabilir, Tarım atıkları, biyokütlenin pirolizi ile enerji üretimi için kullanılabilir. Bu sayede atıkların bertaraf edilmesi ve enerji üretimi sağlanabilir.
4. **Çevre Temizliği:** Biyokütle pirolizi, çevre temizliği için de kullanılabilir. Özellikle, biyokütle pirolizi işlemi, atık bertarafı için bir alternatif olarak kullanılabilir.
5. **Metalurji:** Piroliz işlemi sonucu elde edilen gaz, metalurji endüstrisinde kullanılabilir, Özellikle, gaz bileşenleri, metalurji endüstrisinde ısıl işlem uygulamaları için kullanılabilir.

Bu alanların yanı sıra, biyokütle pirolizi yöntemi, farklı endüstriyel uygulamalarda da kullanılabilir. Özellikle, biyokütle pirolizi işlemi, biyokütlenin yenilenebilir enerji kaynakları arasında daha geniş bir kullanım alanına sahip olmasını sağlar[66].

Biyokütle pirolizi yöntemi ile elde edilen ürünlerin kalitesi, elde edilen gaz, katı ve sıvı ürünlerin bileşimi ve özellikleri ile belirlenir. Bu ürünlerin kalitesi, biyokütlenin cinsine, piroliz işlemi koşullarına ve kullanılacak olan ürünlerin özelliklerine göre değişebilir. Piroliz işlemi sonucu elde edilen gazın kalitesi, genellikle ısıl değeri, gaz bileşimi ve kirlilik seviyesi gibi faktörlere göre belirlenir. İdeal olarak, elde edilen gazın ısıl değeri yüksek olmalı, gaz bileşimi ise enerji üretimi için uygun olmalıdır. Ayrıca, gazın kirlilik seviyesinin düşük olması da tercih edilir[67].

Katı ürünlerin kalitesi, genellikle kütle yoğunluğu, nem içeriği ve kalori değeri gibi faktörlere göre belirlenir. İdeal olarak, elde edilen katı ürünlerin kütle yoğunluğunun yüksek, nem içeriğinin düşük ve kalori değerinin ise yüksek olması beklenmektedir. Sıvı ürünlerin kalitesi ise genellikle viskozite, pH değeri, sıcaklık ve ısı değeri gibi faktörlere göre belirlenir. İdeal olarak, elde edilen sıvı ürünlerin viskozitesi düşük, pH değeri nötral veya yakın olmalı, sıcaklık ise düşük olmalıdır. Ayrıca, sıvı ürünlerin ısı değerinin yüksek olması da tercih edilir[67].

Biyokütle pirolizi yöntemi ile elde edilen ürünlerin kalitesinin belirlenmesi, kullanılacak olan alan ve uygulamanın gereksinimlerine göre değişebilir. Bu nedenle, piroliz işlemi öncesi ve sonrasında, ürünlerin kalitesini belirlemek için farklı analiz yöntemleri kullanılabilir[67].

Biyokütle pirolizi işlemi, farklı biyokütle türlerinin kullanımına izin verir. Ancak, piroliz işlemi için en uygun biyokütle türleri, düşük nem içeriğine sahip odun ve bitki

atıkları, tarım atıkları, orman atıkları, bahçe atıkları gibi kuru ve düşük nem içeriğine sahip biyokütlelerdir. Bu tür biyokütleler, piroliz işlemi sırasında daha yüksek bir enerji verimliliği sağlar ve daha yüksek kaliteli gaz, katı ve sıvı ürünler elde edilmesine olanak tanır. Ayrıca, bu tür biyokütlenin piroliz işlemi sırasında oluşan atıkların bertarafı da daha kolaydır[68].

Bununla birlikte, yüksek nem içeriğine sahip biyokütleler de piroliz işlemi için kullanılabilir. Ancak, bu tür biyokütlelerin piroliz işlemi sırasında daha düşük bir enerji verimliliği sağlaması ve daha düşük kaliteli gaz, katı ve sıvı ürünler elde edilmesine neden olması beklenir. Bu nedenle, yüksek nem içeriğine sahip biyokütleler genellikle önceden kurutulur veya piroliz işlemi sırasında nem alma işlemi uygulanır. Bu nedenle, piroliz işlemi için en uygun biyokütle türleri, düşük nem içeriğine sahip odun ve bitki atıkları, tarım atıkları, orman atıkları, bahçe atıkları gibi kuru ve düşük nem içeriğine sahip biyokütlelerdir. Ancak, yüksek nem içeriğine sahip biyokütleler de piroliz işlemi için kullanılabilir, ancak bu durumda piroliz işlemi öncesi veya sırasında nem alma işlemi uygulanması gerekebilir[68].

3.7. Pirolizden Elde Edilen Ürünler

Piroliz işlemi sonucu elde edilen ürünler, genellikle gaz, katı ve sıvı bileşenlerden oluşur. Bu ürünlerin bileşimleri, piroliz işlemi için kullanılan biyokütlenin türüne, piroliz işlemi sırasındaki sıcaklık, basınç ve diğer işlem koşullarına bağlı olarak değişebilir. Bazı yaygın piroliz ürünleri şunlardır[69]:

1. **Gaz:** Piroliz işlemi sırasında oluşan gaz, hidrojen, karbon monoksit, karbondioksit, metan ve benzeri bileşenlerden oluşur. Bu gaz bileşenleri, enerji üretimi, ısıtma, kimya endüstrisi ve diğer endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir.
2. **Katı:** Piroliz işlemi sırasında oluşan katı ürünler, kömür, bio-kömür, aktif karbon, karbon siyahı ve benzeri malzemelerden oluşabilir. Bu malzemeler, enerji üretimi, metalurji, asfalt üretimi, çevre temizliği ve diğer endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir.
3. **Sıvı:** Piroliz işlemi sırasında oluşan sıvı ürünler, bio-yağlar, bio-katranlar ve benzeri malzemelerden oluşabilir. Bu malzemeler, enerji üretimi, kimya endüstrisi, tarım ve diğer endüstriyel uygulamalarda kullanılabilir.

Piroliz işlemi sonucu elde edilen ürünlerin bileşimleri, kullanılacakları alan ve uygulamalara göre değişebilir. Bu nedenle, piroliz işlemi öncesi ve sonrasında, ürünlerin bileşimleri ve kalitesi belirlenerek, kullanım amaçlarına uygun hale getirilmeleri gerekebilir[69].

3.7.1. Katı ürün (Char)

Piroliz işlemi sonucu elde edilen katı ürünler, genellikle kömür, bio-kömür, aktif karbon, karbon siyahı ve benzeri malzemelerden oluşur. Bu malzemeler, piroliz işlemi öncesinde kullanılan biyokütlenin türüne ve piroliz işlemi sırasındaki sıcaklık, basınç ve diğer işlem koşullarına bağlı olarak değişebilir[70].

Birincil katı ürün, piroliz işlemi sırasında oluşan kömürdür. Bu kömür, yüksek ısı değeri olan katı bir yakıttır ve genellikle enerji üretimi için kullanılır. Piroliz işlemi sonucu elde edilen kömür, doğal kömür gibi kullanılabilir ve yakıt olarak kullanıldığında çevre dostu bir yakıt olarak kabul edilir[70].

İkincil katı ürün, piroliz işlemi sırasında oluşan bio-kömürdür. Bio-kömür, yüksek karbon içeriğine sahip, düşük nem içeriğine sahip ve yüksek ısı değeri olan bir malzemedir. Bu malzeme, toprak iyileştirme, su filtreleme, hava temizleme ve enerji üretimi gibi birçok alanda kullanılabilir[71].

Aktif karbon, piroliz işlemi sonucu elde edilen diğer bir katı üründür. Aktif karbon, yüksek yüzey alanına sahip ve adsorpsiyon özellikleri nedeniyle birçok endüstriyel uygulamada kullanılabilir. Örneğin, aktif karbon, içme suyu arıtma, havalandırma sistemleri, kimya endüstrisi ve diğer uygulamalarda kullanılır[71].

Sonuç olarak, piroliz işlemi sonucu elde edilen karbon siyahı, genellikle lastik, boya, mürekkep ve diğer endüstriyel ürünlerin üretiminde kullanılan bir malzemedir[71].

3.7.2. Sıvı Ürün

Hızlı piroliz, diğer bir adıyla flash piroliz, piroliz işlemi için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, yüksek sıcaklık ve kısa süreli bir termal işlem uygulayarak biyokütleyi hızlı bir şekilde parçalar ve gaz, katı ve sıvı ürünler oluşturur. Hızlı piroliz işlemi sırasında, biyokütle, yaklaşık 700-1000°C arasında bir sıcaklıkta, 1-2 saniyeden daha kısa bir sürede işlem görür. Bu yöntem, diğer piroliz yöntemlerine göre daha yüksek bir sıvı ürün verimi sağlar[72].

Hızlı piroliz işlemi, biyokütlenin hızlı bir şekilde termal ayrışmasına neden olur ve gaz, katı ve sıvı ürünler oluşturur. Bu işlem, yüksek sıcaklık ve kısa süreli bir termal işlem uygulayarak biyokütleyi hızlı bir şekilde parçalar. Bu yöntem, diğer piroliz yöntemlerine

göre daha yüksek bir sıvı ürün verimi sağlar. Sıvı ürünler, hızlı piroliz işlemi sırasında oluşan volatil bileşenlerin soğutulması ve yoğunlaştırılmasıyla elde edilir, Bu sıvılar, genellikle su, organik asitler, aldehytler, ketonlar, fenoller, aromatik hidrokarbonlar, alifatik hidrokarbonlar ve diğer organik bileşiklerden oluşur. Sıvı ürünlerin bileşimi, hızlı piroliz işlemi öncesinde kullanılan biyokütlenin türüne, piroliz işlemi sırasındaki sıcaklık, basınç ve diğer işlem koşullarına bağlı olarak değişebilir[72].

Hızlı piroliz işlemi sonucu elde edilen sıvı ürünlerin bileşimi, piroliz işlemi öncesinde kullanılan biyokütlenin türüne ve piroliz işlemi sırasındaki koşullara bağlı olarak değişebilir. Ancak, sıvı ürünlerin genel olarak bileşimi, su, organik asitler, aldehytler, ketonlar, fenoller, aromatik hidrokarbonlar, alifatik hidrokarbonlar ve diğer organik bileşiklerden oluşur. Su, hızlı piroliz işlemi sonucu elde edilen sıvı ürünlerin en büyük bileşenidir. Su, piroliz işlemi sırasında biyokütlenin neminin buharlaşması sonucu oluşur. Su, piroliz işlemi sonucu elde edilen sıvı ürünlerin kalitesini ve stabilitesini etkileyen bir faktördür[72].

Organik asitler, hızlı piroliz işlemi sonucu elde edilen sıvı ürünlerin önemli bir bileşenidir, Organik asitler, genellikle asetik asit, propiyonik asit, levülinik asit ve benzoik asit gibi bileşiklerden oluşur, Bu asitler, sıvı ürünlerin asitlik derecesini ve özelliklerini etkileyen bir faktördür, Aldehytler ve ketonlar, hızlı piroliz işlemi sırasında oluşan bir diğer önemli sıvı ürün grubudur, Bu bileşikler, genellikle formaldehit, asetaldehit, aseton, metil etil keton ve benzeri bileşikler içerir, Aldehytler ve ketonlar, sıvı ürünlerin oksidasyon stabilitesi ve reaktivitesi gibi özelliklerini etkiler. Fenoller, hızlı piroliz işlemi sonucu oluşan sıvı ürünlerin önemli bir bileşenidir. Fenoller, genellikle guayakol, sikloheksenon, kreozol ve diğer benzen halkalı bileşiklerden oluşur, Fenoller, sıvı ürünlerin renk, koku ve oksidasyon stabilitesi gibi özelliklerini etkiler[73].

Aromatik hidrokarbonlar, hızlı piroliz işlemi sonucu elde edilen sıvı ürünlerin önemli bir bileşenidir. Bu bileşikler, genellikle benzen, naftalin ve diğer aromatik bileşiklerden oluşur. Aromatik hidrokarbonlar, sıvı ürünlerin yakıt kalitesi ve stabilitesi gibi özelliklerini etkiler. Alifatik hidrokarbonlar, hızlı piroliz işlemi sonucu elde edilen sıvı ürünlerin bir diğer önemli bileşenidir. Bu bileşikler, genellikle metan, etan, propan ve butan gibi bileşiklerden oluşur. Alifatik hidrokarbonlar, sıvı ürünlerin yakıt kalitesi gibi özelliklerini etkiler[73].

Hızlı piroliz işlemi sonucu elde edilen sıvı ürünler, farklı endüstrilerde çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Örneğin, sıvı ürünler, yakıt olarak kullanılabilir, Bu yakıt,

içten yanmalı motorlarda kullanılabilecek bir biyoyakıt olabilir. Ayrıca, sıvı ürünler, kimyasal endüstride çeşitli kimyasal ürünlerin üretiminde kullanılabilir, Örneğin, organik asitler, fenoller ve aldehitler, endüstride çeşitli kimyasal ürünlerin üretiminde kullanılabilir. Sonuç olarak, hızlı piroliz yöntemi, biyokütleden sıvı ürünlerin elde edilmesinde etkili bir yöntemdir. Sıvı ürünlerin bileşimi, piroliz işlemi öncesinde kullanılan biyokütlenin türüne ve piroliz işlemi sırasındaki koşullara bağlı olarak değişebilir. Sıvı ürünler, yakıt ve kimyasal endüstrilerde çeşitli amaçlar için kullanılabilir[73].

3.7.3. Gaz ürün

Hızlı piroliz yöntemiyle elde edilen gaz ürünleri, biyokütleden hidrojen (H_2), karbon monoksit (CO), karbondioksit (CO_2), metan (CH_4) ve diğer gazlardan oluşur. Bu gazlar, genellikle biyogaz ve sentez gazı olarak adlandırılır[74].

Hidrojen, hızlı piroliz işlemi sonucu elde edilen gaz ürünlerinin en önemli bileşenlerinden biridir. Hidrojen, yüksek ısı değere sahip bir gaz olup, yakıt hücreleri gibi farklı uygulamalarda kullanılabilir. Hidrojen, sıfır emisyonlu araçlar ve enerji depolama sistemleri için de potansiyel bir yakıt olarak görülmektedir, Karbondioksit (CO_2), hızlı piroliz işlemi sonucu elde edilen gaz ürünlerinin bir diğer önemli bileşenidir, CO_2 , piroliz işlemi sırasında oluşur ve atmosferik CO_2 dengesine katkıda bulunabilir[74].

Karbon monoksit (CO), hızlı piroliz işlemi sonucu elde edilen gaz ürünlerinin bir diğer bileşenidir, CO, yüksek ısı değere sahip bir gazdır ve yakıt olarak kullanılabilir. Ancak, CO, zehirleyici bir gazdır ve uygun yakıt hücreleri gibi uygulamalarda kullanımı sınırlıdır. Metan (CH_4), hızlı piroliz işlemi sonucu elde edilen gaz ürünlerinin bir diğer bileşenidir. Metan, doğalgaz gibi farklı uygulamalarda kullanılabilir. Metan, atmosferik emisyonlara katkıda bulunabilen bir sera gazıdır[74].

Hızlı piroliz yöntemiyle elde edilen gaz ürünleri, biyokütlenin enerji üretimi için kullanımının yanı sıra, biyokütle kaynaklı atıkların bertaraf edilmesi için de önemlidir. Bu yöntemle, biyokütle kaynaklı atıkların bertaraf edilmesi, çevre kirliliği kontrolü ve enerji üretimi gibi farklı amaçlar için kullanılabilir[74].

3.8. Piroliz Yöntemleri

Yapılan araştırmalar, çeşitli piroliz yöntemlerinin ürünün dağılımını etkilediğini göstermiştir. Piroliz yöntemleri, kullanılan ekipman ve işlem koşullarına göre farklılık gösterir[75]. Yavaş piroliz yöntemi, düşük sıcaklıkta ($400-600^{\circ}C$) ve yavaş bir hızda piroliz işlemi uygular. Yaklaşık olarak 1-2 saatlik bir sürede tamamlanır. Bu yöntem, katı

biyokütlelerin, örneğin odun ve saman gibi malzemelerin pirolizinde kullanılır. Yavaş piroliz işlemi, malzemeleri daha homojen bir yapıya dönüştürür ve gaz üretimi daha azdır, Yavaş piroliz işlemiyle elde edilen gaz, genellikle biyokütle yakıtı olarak kullanılır, Yavaş piroliz işlemi, ayrıca bio-karbon üretimi için kullanılabilir, Bio-karbon, odun kömürüne benzer bir malzemedir ve yakıt olarak kullanılabilir. Yavaş piroliz işlemi, ayrıca biyokütle kaynaklı atıkların bertarafı için de kullanılabilir. Yavaş piroliz işlemi, atık yönetimi sorunlarına çözüm olabilir ve çevre kirliliği kontrolü için önemlidir[75].

Hızlı piroliz yöntemi, yüksek sıcaklıkta (500-800°C) ve hızlı bir hızda piroliz işlemi uygular. Yaklaşık olarak 10-20 dakikalık bir sürede tamamlanır. Bu yöntem, saman, talaş, atık kağıt ve plastik gibi hızlı ayrışan malzemelerin pirolizinde kullanılır. Hızlı piroliz işlemi, malzemeleri daha küçük moleküllere dönüştürür ve gaz üretimi daha yüksektir. Hızlı piroliz işlemiyle elde edilen gaz, genellikle biyokütle yakıtı olarak kullanılır, Hızlı piroliz işlemi, ayrıca biyo-yağ üretimi için kullanılabilir. Hızlı piroliz işlemi, atık yönetimi sorunlarına çözüm olabilir ve çevre kirliliği kontrolü için önemlidir, Hızlı piroliz işlemi, fosil yakıtların kullanımını azaltarak çevresel avantajlar sağlar ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırır, Bu nedenle, hızlı piroliz yöntemi, sürdürülebilir enerji üretimine katkıda bulunabilir[75].

Torrefaksiyon, düşük sıcaklıkta (200-300°C) ve yavaş bir hızda piroliz işlemi uygular. Yaklaşık olarak 30 dakika ile 1 saat arasında bir sürede tamamlanır, Bu yöntem, biyokütlelerin kalorifik değerini artırmak için kullanılır ve genellikle yakıt olarak kullanılan odun, talaş ve diğer biyokütlelerin işlenmesinde kullanılır. Torrefaksiyon işlemi, biyokütlelerin nem içeriğini azaltır ve kalorifik değerini artırır. Torrefaksiyon işlemiyle elde edilen yakıt, daha yüksek bir enerji yoğunluğuna sahiptir ve daha uzun bir depolama süresine sahiptir. Ayrıca, torrefaction işlemi, biyokütlenin taşınması ve depolanması sırasında oluşabilecek çürüme ve ayrışmayı da azaltır. Torrefaksiyon işlemi, yavaş piroliz işlemine benzer, ancak daha düşük sıcaklıkta gerçekleşir. Bu nedenle, Torrefaksiyon işlemi, yavaş piroliz işlemine göre daha az enerji tüketir ve daha az gaz emisyonu üretir. Torrefaksiyon işlemi, ayrıca hızlı piroliz işlemine göre daha ucuzdur ve daha az teknolojik gereksinimleri vardır[75].

Piroliz yöntemleri, biyokütle kaynaklı atıkların yönetimi, yenilenebilir enerji üretimi ve biyo-yakıt üretimi için kullanılan popüler yöntemlerdir. Ayrıca, piroliz yöntemleri, biyokütlelerin depolanması ve taşınması sırasında oluşabilecek çürüme ve ayrışmayı da azaltır. Piroliz yöntemleri, atık yönetimi sorunlarına çözüm olabilecek

birçok avantaj sağlar, Atıkların bertarafı, enerji üretimi ve biyo-yag üretimi gibi uygulamalar, piroliz yöntemlerinin popüler uygulamaları arasındadır[75].

3.9. Pirolize Etki Eden Faktörler

Piroliz reaksiyonunun mekanizmasını ve kinetiğini etkileyen çok sayıda faktör vardır. Biyokütlenin yapısı, parçacık boyutu, ısıtma hızı, sıcaklık, basınç, piroliz yeri ve katalizör bu faktörlerden bazılarıdır. Diğerleri arasında, bu faktörler, reaksiyon sırası ve reaksiyon kinetiği üzerinde en büyük etkiye sahiptir. Bu faktörler, elde edilen ürün verimlerini etkiler. Piroliz koşulları, bu değişkenlerin proses üzerindeki etkilerinin anlaşılmasıyla anlaşılabilir. Bu koşullar kontrol edilebilir, böylece istenilen ürünlerin üretimi ve istenmeyen ürünlerin miktarı azaltılabilir [76].

3.9.1. Biyokütle bileşimi

Genel olarak, biyokütle, farklı yaşayan ve ölü bitki hücre türlerinden oluşan karmaşık ve heterojen hammadDEDİR. Biyokütlelerin yapısı ve derişimi, onları üreten bitkiye bağlıdır, Odunsular %30 ila %40 arasında selüloz, %25-30 arasında hemiselüloz ve %12 ila 30 arasında lignin içerir. Bu bileşenler, biyokütlelerin pirolizi sırasında ortaya çıkan ürünlerin çeşitliliği ve karmaşıklığından sorumludur. Selüloz ve hemiselüloz, 300°C'nin üzerinde hafif şeker türevleri içeren katransı piroliz ürününe ve küçük miktarda char üretmek üzere kırılır. Aynı zamanda lignin karbonsu chara kondense olur ve fenolik bileşikler içeren küçük miktarda piroliz ürünü üretir. Bununla birlikte, her bir bileşenin düşük verimi nedeniyle biyokütlenin heterojenliği kimyasal olarak değerlendirilmesinde en büyük engeldir. Bu aynı zamanda kömür üretimini ve biyokütle pirolizinin sonucu olan diğer sıvı yakıt türlerini etkiler [77].

3.9.2. Parçacık boyutu

Piroliz işlemlerinde parçacık boyutu genellikle 2 mm'nin altında olmalıdır, çünkü reaktörle hammadde arasındaki ısı transferi parçacık boyutu küçük olduğunda daha etkilidir. Parçacık boyutunun piroliz ürün verimi üzerindeki etkisini incelemek için çok sayıda literatür araştırması yapılmıştır. Piroliz verimi ve ısıtma hızı parçacık boyutuna bağlıdır. Ortalama parçacık büyüklüğü sıcaklıkları, büyük parçalar çok daha yavaş ısınacağından daha düşük olacaktır. Bu nedenle uçucu verimleri daha düşük olmalıdır. Örnek, parçacık büyüklükleri yeteri derecede küçük olduğunda ısınacaktır[78].

3.9.3. Isıtma hızı

Piroliz reaksiyonları, bu reaksiyonların sırası ve son ürünlerin bileşimi, ısıtma süresinin uzunluğu ve yoğunluğu tarafından etkilenir. Piroliz reaksiyonları çok çeşitli sıcaklıklarda gerçekleşir. Bu nedenle, oluşan ürünler hızla ilerler ve bir dizi bozunma reaksiyonuna girerler. Bunun da ötesinde, başlangıçta oluşan ürünlerin sürekli ısıtılması, ikincil ürünler olarak bilinen çeşitli ürünlerin oluşmasına neden olur. Hızlı ısıtma, ikincil reaksiyonların azalmasına ve önceden oluşmuş ürünlerin azalmasına neden olurken, uzun ısıtma süreleri bu reaksiyonların ardı ardına gerçekleşmesine izin verir. Ardından, flash piroliz sırasında yeterince hızlı ısı sağlanırsa, çok az ya da hiç char üretilmez ve işlemler basitleşir[79].

Biyokütle sıcaklığı ile reaktör sıcaklığı önemli ölçüde farklı olabilir. Dolayısıyla, daha yüksek sıcaklıklarda reaksiyonun hızı, reaksiyon kinetiğinden ziyade ısı transfer hızıyla kontrol edilebilir[79].

Char, katran, pirolignoz asit ve gaz, biyokütle pirolizinin ana ürünleridir. Char düşük sıcaklıklarda en yaygın üründür; su onu takip eder, Yumuşak odunlar sert odunlara göre daha az char üretirler de, sert odunlar daha fazla asit üretirler, Isıtma hızı arttıkça, uçucu ürünlerin (gaz ve sıvılar) verimi artar. Alınma zamanı ve sıcaklık, ısınma hızının etkisini incelemek için kullanılabilir, Isıtma hızının artırılması, uçucuların düşük veya orta sıcaklıkta alıkonma süresini kısaltmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda katranın gaza dönüşmesi, birçok reaksiyonda meydana gelir. Düşük ısıtma hızlarında, uçucuların reaksiyon bölgesinden kaçınmak için yeterli süreleri vardır. Hammaddenin boyutu, piroliz için kullanılan cihaz türü ve ısıtma hızı etkiler. Düşük ısıtma hızları, bir parçacığın boyutu arttıkça ısı difüzyon hızının azalmasına neden olur. Büyük parçacıkların pirolizlenmesi, düşük ısıtma hızı ve düşük sıcaklıklarda char'ın maksimum düzeyine ulaşmasına neden olurken, ufak parçacıkların pirolizlenmesi, yüksek ısıtma hızı ve yüksek sıcaklıklarda sıvı ürünlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır [79].

Piroliz ürün dağılımı, herhangi bir sıcaklık ve ısıtma hızında elde edilen ana ürünlerin biodizel ve kar olduğunu göstermektedir. Birçok bozulma reaksiyonu 500°C'den daha düşük sıcaklıklarda meydana geldi ve 750°C'nin üzerinde herhangi bir önemli bozulma meydana gelmedi. Char'ın yüzey alanı 45 m²/g'den küçüktür. Biodizelin %60'ı azotlu alifatik bileşikler (örneğin, nitriller, amidler ve siklik bileşikler), %15 alifatik hidrokarbonlar (genellikle alken ve alkanlar), %10 oksijenlenmiş alifatik bileşikler

(genellikle karboksilik asit) ve %8 oksijenlenmiş aromatik bileşikler (genellikle fenoller) içermektedir [79].

3.9.4. Sürükleyici gaz akış hızı

Piroliz, sürükleyici gaz akış hızına bağlıdır. Sürükleyici gaz akış hızının yüksek olması, piroliz buharlarının ortamdan daha hızlı bir şekilde uzaklaşmasını sağlar, böylece sıvı ürün verimi artar. Bununla birlikte, sürükleyici gaz akış hızının iyi ayarlanması gerekir çünkü çok hızlı bir şekilde soğutma sistemine gönderilen buharlar soğutma sisteminde tutularak yoğunlaşması zorlaşacaktır. Azot gazı, pirolizin sıklıkla kullanılan sürükleyici gazdır[80].

3.9.5. Sıcaklık

Piroliz sıcaklığı, ürünün bileşimi ve dağılımı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Piroliz sıcaklığı arttıkça sıvı ve gaz ürün miktarı artıyor ve katı ürün miktarı azalmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda ikincil reaksiyonlar meydana gelir ve bu da gaz ürün miktarının artmasına neden olur. Piroliz, reaksiyon sıcaklığına bağlı olarak endotermik veya ekzotermik olabilir. Selülozik yapılar, biyokütlelerin ham maddeleridir. Prosesin gerçekleşmesi için gerekli enerji katı üründen veya beslemeden sağlanır. Düşük sıcaklıklarda piroliz hızı kontrol edilirken, yüksek sıcaklıklarda kütle transferi kontrol edilmektedir[81].

3.9.6. Basınç

Uçucu verim de basınçtan etkilenir, düşük basınç verimi artırır, yüksek basınç ise azaltır. Bununla birlikte, yüksek basınç kraking reaksiyonlarını artırır ve uçucu hidrokarbon gazlarını artırır. Bunun tersi de mümkündür; düşük basınçlarda hafif yağlar ve katran daha fazla üretir. Piroliz sıcaklığı yaklaşık 350°C'nin üzerindeyken basınç etkisi görülebilir. Parçalanma reaksiyonları nedeniyle sıvı ürün verimi azalır ve düşük molekül ağırlıklı gaz ürün verimi artar; daha yüksek basınç, reaksiyon bölgesinde uçucuların alıkonma zamanını artırır. Ek olarak, yüksek sıcaklıklarda gaz-katı reaksiyonları meydana gelir. Katran molekülleri ve ağır sıvı ürünler, düşük basınç ve düşük alıkonma zamanında daha ileri bozunma tepkimelerine girmeden ortamdan ayrılır. Katı kalıntı veya char ile tepkimeye girmeden önce gaz ürünleri uzaklaşır[82].

3.9.7. Piroliz ortamı

Piroliz ortamı, ısı transferini ve ikincil reaksiyonların türleri üzerinde bir etkiye sahiptir, Vakum pirolizi inert bir ortamda veya reaktif bir bileşenle gerçekleşebilir. Vakum

pirolizde, birincil bileşenler hızla uzaklaştırılır veya gaz fazına aktarılır. Bu, daha ileri bozunma reaksiyonlarının önüne geçer. Su buharı, biyokütlenin hidrolizi veya ara ürünlerin yeniden düzenlenmesi yoluyla moleküllerin parçalanmasını hızlandırdığı bilinmektedir. Bu hidrotermoliz olayı başlatmak için asit veya alkali bir araç kullanılabilir[83].

Pirolizin gerçekleştiği ortam, ürünün dağılımı ve yapısını etkiler. Piroliz, normal, sürükleyici gazlar (H_2 , He gibi), hidrojen ve su buharı gibi ortamlarda gerçekleşebilir. Sürükleyici gaz ortamında sıvı ürün verimi normal piroliz ortamına göre daha yüksektir, Bunun nedeni, sürükleyici gazın birincil piroliz ürünlerini ortamdan hızla uzaklaştırmasıdır. Bu, ikincil tepkimeleri engeller ve kütle aktarım sınırlarını ortadan kaldırmaktadır [83].

Su buharı ortamında gerçekleştirilen pirolizde sıvı ürün verimi artmaktadır. Su buharı hidrojen bağlarını parçalar, bu da polimerleşmeyi engeller, Uçucu maddelerin desorpsiyonu hızlandığı için sıvı ürün miktarı artmaktadır [83].

3.9.8. Katalizör

Hızlı pirolizden elde edilen ürünler, katalizör kullanılarak ikincil ürünlere dönüştürülebilir [73]. Katkı maddeleri veya doğal kül içeriği olan inorganik maddelerin varlığı, biyokütlenin pirolizini önemli ölçüde etkiler. Asitli reaktifler ve alkali bileşikler bu etkiyi daha fazla gösterirler. Doğal safsızlıklar ve kül içeriği, proses sıcaklığını düşürerek ve char oluşumunun artmasıyla daha net hale gelir. Bu değerlendirme için diferansiyel termal analiz (DTA) ve termogravimetri (TGA) gibi termal analiz teknikleri kullanılabilir. Bu teknikler ayrıca reaksiyon ve buharlaşma ısılarını gösterebilmektedir [84].

Transglukozilasyon reaksiyonu, asit katalizörleri tarafından katalizedilir. Daha fazla miktarda kullanıldıklarında, susuz şekerlerin hidroliz ve yeniden düzenlenmiş reaksiyonlar sonucunda dehidratasyon ürünleri oluşur. Ara ürünlerin kondenzasyonunu hızlandıran asidik katalizörler, charın özelliklerini etkiler. Yüksek char oksidasyonunun türü etkilenir. Bununla birlikte, katalizörler lignin pirolizinde ihmal edilebilir, ancak selüloz odun pirolizinde önemli bir rol oynamaktadır[84].

4. KATALİTİK PİROLİZ

Katalitik piroliz, biyokütle materyallerinin yüksek sıcaklıkta ve katalizörlerin varlığında ısıtılmasıyla gerçekleşen bir termal dönüşüm sürecidir. Katalizörler, piroliz reaksiyonlarını hızlandırarak ve ürün bileşimini değiştirerek piroliz ürünlerinin kalitesini ve miktarını etkiler. Bu yöntem, biyo yağ ve diğer değerli kimyasalların elde edilmesi için verimlilik ve selektivite açısından önemli avantajlar sunar. Katalitik piroliz, biyokütle kaynaklarının daha etkili bir şekilde değerlendirilmesine ve sürdürülebilir enerji üretimine katkı sağlar[85]. Katalitik piroliz süreci, geleneksel piroliz yöntemlerinden farklı olarak, biyokütle materyallerinin yüksek sıcaklıkta ve katalizörlerin etkisi altında ısıtılmasıyla gerçekleştirilir. Katalitik pirolizde, sıcaklık genellikle 400-600°C arasında olur ve katalizörlerin varlığı, termal parçalanma reaksiyonlarını hızlandırarak ve ürün bileşimini kontrol ederek piroliz ürünlerinin kalitesini iyileştirmektedir[82].

Katalitik piroliz süreci, genellikle iki ana adımdan oluşmaktadır[82]:

- 1. Piroliz Reaksiyonu:** İlk adım, biyokütlenin yüksek sıcaklıkta oksijensiz veya sınırlı oksijen ortamında ısıtılmasıdır. Bu adımda, termal parçalanma reaksiyonları gerçekleşir ve gaz, sıvı ve katı ürünler oluşur, Katalitik olmayan pirolizde olduğu gibi, bu adımda da biyokütle materyalleri termal olarak parçalanır ve karbon, hidrojen ve oksijen içeren organik bileşiklerin yanı sıra su buharı ve katı partiküller elde edilmektedir[83].
- 2. Katalitik Reaksiyon:** Piroliz ürünleri, katalizörlerin varlığında ikinci bir reaksiyon aşamasına tabi tutulur. Katalitik reaksiyon aşamasında, katalizörler, gaz ve sıvı ürünlerin kimyasal bileşimini değiştirir ve istenilen ürünleri artırır. Katalitik pirolizde kullanılan katalizörler, genellikle metal oksitler, zeolitler, aktif karbon ve diğer özel malzemeler olabilir. Bu katalizörler, reaksiyon hızını artırır, yan reaksiyonları azaltır ve ürün seçiciliğini optimize eder. Katalitik Pirolizde Kullanılan Katalizörler [83]:

Katalitik pirolizde kullanılan katalizörler, piroliz reaksiyonlarını katalize eden ve ürün bileşimini etkileyen önemli unsurlardır. Katalitik pirolizde kullanılan katalizörlerin seçimi, dönüştürülmek istenen biyokütle materyalinin türüne, işlem koşullarına ve hedeflenen ürünlere bağlı olarak değişebilir. Bazı yaygın kullanılan katalizörler şunlardır[83]:

Metal Oksitler: Nikel, kobalt, demir, bakır gibi metal oksitler, piroliz reaksiyonlarını katalize ederek biyokütle materyallerinden sıvı ve gaz ürünleri elde

edilmesini sağlar, Bu metal oksitler, katalitik aktivite ve seçicilik açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

Zeolitler: Zeolitler, özel bir alüminosilikat yapısına sahip mineral tabanlı katalizörlerdir. Bu malzemeler, piroliz ürünlerinin bileşimini değiştirerek biyo yağın kalitesini iyileştirir ve istenmeyen yan reaksiyonları azaltır.

Aktif Karbon: Aktif karbon, yüksek yüzey alanına ve gözenek yapısına sahip bir katalizördür, Katalitik pirolizde aktif karbon, gaz ve sıvı ürünlerin adsorpsiyonunu kolaylaştırır ve kimyasal reaksiyonlara katkıda bulunmaktadır.

Biyokömür: Biyokömür, piroliz sırasında elde edilen katı artık materyallerden biridir, Bu materyal, piroliz reaksiyonlarında katalitik etkiye sahip olabilir ve sıvı ürünlerin kalitesini etkileyebilir.

Katalitik piroliz, geleneksel piroliz yöntemlerine göre birçok avantaj sunmaktadır[83]:

1. **Ürün Kalitesi ve Seçiciliği:** Katalizörler, piroliz ürünlerinin kalitesini ve bileşimini etkileyerek istenilen ürünleri artırır. Bu nedenle, katalitik pirolizde elde edilen biyo yağ ve diğer ürünler, daha yüksek kalitede ve daha az yan ürün içerebilir.
2. **Daha Düşük Sıcaklık ve Enerji Tüketimi:** Katalizörlerin varlığı, piroliz reaksiyonlarını hızlandırarak daha düşük sıcaklıkta ve daha az enerji tüketimi ile gerçekleştirilebilen bir piroliz sürecini mümkün kılar.
3. **Yan Reaksiyonların Azaltılması:** Katalitik pirolizde kullanılan katalizörler, yan reaksiyonları azaltarak istenmeyen ürünlerin oluşumunu engeller ve işlem verimliliğini artırmaktadır.
4. **Daha Fazla Ürün Çeşitliliği:** Katalitik piroliz, farklı katalizörlerin kullanılmasıyla farklı ürünlerin elde edilmesini sağlar, Bu yöntem, biyo yağın yanı sıra biyokimyasallar ve diğer değerli ürünlerin de üretilmesine olanak tanır.

katalitik piroliz, biyokütle materyallerinin etkili bir şekilde dönüştürülmesi ve değerlendirilmesi için önemli bir süreçtir, Katalizörlerin varlığı, piroliz reaksiyonlarını hızlandırır, ürün kalitesini iyileştirir ve çevresel ve ekonomik faydalar sağlar, Bu yöntem, biyoyakıt üretimi, kimyasal üretimi ve atık yönetimi gibi çeşitli uygulama alanlarında potansiyel sunar ve gelecekte sürdürülebilir enerji üretiminde önemli bir rol oynamaya devam etmektedir[83].

5. ASPIR TOHUMU

Sürdürülebilir bir biyorafineri oluşturmak için hammadde türünün oynadığı önemli rol göz ardı edilmemelidir. Biorafineri için mükemmel hammaddeler, kuru ve yarı kuru yerlerde yetiştirilen yüksek verimli ve kuraklığa dayanıklı bitkilerdir. Aspir, Compositae/Asteraceae familyasına ait bir bitkidir. Orta Asya gen merkezinde doğal olarak bulunur ve 110 ila 160 gün arasında büyür. Yaz boyunca ve uzun günler boyunca kuraklığa dayanabilir. Ağırlıklı olarak kendi kendine gübrenir, ancak %8-10'luk bir yabancı gübre potansiyeli vardır. Bu bitkiler, kıtlık ve kurak zamanlarda çok faydalı olduğu için araştırılmalıdır. Kuru ve yarı kuru iklimlerde yetişen bu bitkiler, yüksek verimliliğe ve kuruluğa dayanıklılığa sahiptir [84].

Yalan safran olarak da bilinen Aspir, kurak havaya oldukça dayanıklı bir sanayi bitkisidir, Kırmızı, sarı, turuncu veya krem çiçekler dik ve dikenlidir. Ek olarak, tohumların yağ oranı yüzde otuz ila elli arasında olduğundan, yemeklik yağ ve biyoyakıt üretiminde fakir ve kuru bölgelerin daha verimli bir şekilde kullanılması için büyük bir potansiyele sahiptir [84].

Aspir, hem Türkiye'de hem de dünya çapında yem ve bitkisel yağ sektörleri için potansiyel bir hammadde kaynağı olarak hizmet edebilir. Aspir birçok farklı yerde yetiştirilebilir. Nadas alanları, tahıl alanlarının daralması ve gıda güvenliğini tehdit etmesi gibi sorunlar için çok büyük bir risk oluşturmaz. Sonuç olarak, dünyanın her yerinde dikkate alınması gereken bir bitkidir. Hastalık ve zararlılara karşı güçlü gen özellikleri nedeniyle tarımsal üretim maliyeti açısından çok faydalıdır. Aspir bitkisi ve tohumlarının yetiştirildiği tarla resimleri şekil 5.1'de gösterilmektedir [85].



Şekil 5.1. Aspir bitkisi, yetiştirme alanı ve tohumu[85]

Aspir, sapı, yaprağı, tohumu ve çiçekleri dahil olmak üzere çok çeşitli amaçlarla kullanılan bir yağ bitkisi olmasına rağmen yeterince değerli değildir. Bitkinin tüm bileşenleri, Pakistan ve Hindistan'da çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılacak şekilde satın alınmaktadır. Hindistan ve Afganistan'da Aspir yapraklarından yapılan çay, düşükleri ve kısırlığı önlemek için tüketilmektedir. Çiçekler, gıda, kozmetik, boya ve ilaç endüstrilerinde kullanılır. Aspir tohumu yüzde kırk yağ içerir, Aspirin yağ içeriği, biyodizel üretiminde kullanılan diğer hammaddelerden daha yüksektir. Aspir tohumu yağı, biyodizel üretiminde kullanılabilecek bir hammadde olabilir [85].



6. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Beis ve arkadaşları (2002), yaptıkları çalışmada, Aspir tohumu ile sabit yataklı yavaş piroliz deneylerinde, piroliz sıcaklığı, ısıtma hızı, partikül boyutu ve süpürme gazı akış hızının piroliz ürün verimleri ve kimyasal bileşimleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. 100 cm³ süpürme gazı (N₂) akış hızı, 500°C nihai piroliz sıcaklığı, 0,425-1,25 mm partikül boyutu aralığı ve 5°C dk⁻¹ ısıtma hızı, toplam %44 yağ verimini sağlamıştır. Aspir tohumunun hızlı pirolizinden elde edilen yağ üzerinde yapılan kromatografik ve spektroskopik çalışmalar, yağın 41,0 MJ/kg kalorifik değeri ve CH_{1,92}O_{0,11}N_{0,02} ampirik formülü ile yenilenebilir yakıt ve kimyasal hammadde olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir[86].

Onay ve Koçkar (2003), yaptıkları çalışmada, Kolza yağlı tohumunun piroliz ürün verimleri ve kimyasal bileşimleri üzerindeki etkilerini belirlemek için piroliz deneyleri yapmışlardır. Özellikle piroliz sıcaklığını, ısıtma hızını, partikül boyutunu ve süpürme gazı akış hızını incelemişlerdir, piroliz sıcaklığı 550-600 °C, 0,6-1,25 mm partikül boyutu ve 100 cm³ dak⁻¹ (N₂) süpürme gazı akış hızı ile %73'lük maksimum yağ verimi elde edilmiştir. Pirolizden elde edilen yağ üzerinde yapılan kromatografik ve spektroskopik çalışmalar, yenilenebilir bir yakıt ve kimyasal hammadde olarak kullanılabileceğini göstermiştir[87].

Açıkgöz ve arkadaşları (2004), yaptıkları çalışmada, Keten tohumu numunesinin piroliz sıcaklığı, ısıtma hızı, partikül boyutu ve süpürme gazı akış hızının piroliz ürün verimleri ve bileşimleri üzerindeki etkilerini belirlemek için sabit yataklı hızlı piroliz deneyleri yapılmıştır, Araştırmacılar, 550 °C piroliz sıcaklığında, 0,6 - 1,8 mm aralığında parçacık boyutunda, 300 °C dk⁻¹ ısıtma hızında ve 100 cm³ min⁻¹ süpürme gazı akış hızında ağırlıkça %57,7'lik maksimum yağ verimi elde ettiğini göstermiştir. Elde edilen yağ üzerinde yapılan kromatografik ve spektroskopik çalışmalar, CH_{1,64}O_{0,11}N_{0,03} ampirik formülü ve 38,45 MJ/kg kalorifik değeri ile yenilenebilir bir yakıt ve kimyasal hammadde olarak kullanılabileceğini göstermiştir[88].

Thangalazhy-Gopakumar ve arkadaşları (2010), yaptıkları çalışmada, Çam talaşının hızlı pirolizini başardılar ve yüksek verimde sıvı ürün elde ettiler. Piroliz sıcaklığı, alıkonma süresi, hammadde türü ve nem içeriğinin üretilen biyoyakıtın kalitesine ve verimine olan etkilerini araştırmışlardır, Elde edilen biyoyakıtın pH'ını, su içeriğini, üst ısı değerini, katı ve kül içeriğini ve ASTM standartlarını karşılaştırmak için analizler yapılmıştır. Biyoyakıt, 32 farklı kimyasaldan oluşur. Bu çalışma, piroliz

sıcaklığının fenol ve fenol türevlerinin derişimlerini artırdığını göstermiştir. Yine de, sıcaklık arttıkça biyoyakıtın pH değeri düşerken, asetik asit ve diğer asitlerin derişimleri ya sabit kalmakta ya da sıcaklık arttıkça yükselmektedir[89].

Aho ve arkadaşları (2008), yaptıkları çalışmada, Çam talaşının katalitik pirolizini 450 °C'de bir akışkan yatak reaktöründe gerçekleştirmişlerdir, Reaktörde katalizör olarak çeşitli yapılardaki asidik zeolitler kullanmışlar. Katalitik piroliz deneylerinde proton formundaki Beta, Y, ZSM-5 ve Mordenit katalizörler kullanılırken, katalizörsüz piroliz deneylerinde kuvars kumu referans madde olarak kullanılmıştır. Çalışmanın bulgularına göre, asidik zeolit katalizörlerinin yapısı, elde edilen biyoyakıtın kimyasal bileşiminin nasıl değiştiğini etkiler. Ketonlar ve fenoller, elde edilen biyoyakıttaki en yaygın bileşiklerdir, ZSM-5 katalizörü, diğer katalizörlere göre ketonların ve asitlerin ve alkollerin oluşumunun düşük olduğunu göstermiştir. Diğer katalizörler (kuvars kumu ve modernit) ile karşılaştırıldığında, poliaromatik hidrokarbonlar daha düşük miktarlarda elde edilmiştir, Kullanılan katalizörler, yapıları bozulmadan yeniden üretilmiştir[90].

Li ve arkadaşları (2016), yaptıkları çalışmada, Mısır sapından piroliz buharlarının katalitik olarak yükseltilmesi için alümina sentezinden elde edilen demir oksit içeren kırmızı çamur kullanılmıştır. Bu çalışma, genel biyo-yağ asitliğinde azalma ve fenol ve keton üretiminde artış olduğunu göstermiştir[91],

Heo ve arkadaşları (2010), yaptıkları çalışmada, Mobilya atık talaşlarının hızlı pirolizi için bir akışkan yatak reaktöründe çeşitli proses koşulları (piroliz sıcaklığı, parçacık boyutu, besleme hızı ve akış hızı) araştırmışlardır. Biyoyakıt üretiminde ideal parçacık boyutu 0,7 mm ve ideal sıcaklık 450 °C'dir. Biyoyakıt üretiminde, yüksek akış ve besleme hızlarının verimi artırırken, aşırı küçük ve büyük parçacık boyutlarının biyoyakıt ürünlerini kötü etkilediği gösterilmiştir. Buna ek olarak, elde edilen gazın akışkanlaştırmada kullanılması, biyoyakıt verimini artırma potansiyeline sahiptir, Yapılan araştırmalara göre, maksimum biyoyakıt verimi ağırlıkça yaklaşık % 65'tir[92].

Rutrowski (2009) tarafından yapılan çalışmada, Çam ağacı talaşının polistiren ve polipropilenle birlikte pirolizinden elde edilen biyoyakıtın kimyasal yapısı üzerindeki $ZnCl_2$ 'nin etkisi araştırılmıştır. Piroliz, 450 °C sıcaklıkta ve 5 °C/dak ısıtma hızında gerçekleştirildi. Pirolizden elde edilen sıvı ürünlerin ağırlıkça % 37 ila 91 verimi vardır. Kanıtlar, karışımın bileşimine ve $ZnCl_2$ eklenmesine göre biyoyakıtın yapısı ve kalitesi değişmektedir. Elde edilen biyoyakıt, FT-IR ve GC-MS yöntemleriyle incelenmiştir. Birlikte piroliz sırasında oluşan sıvının veriminin, karışım içindeki polistiren oranının

artmasıyla arttığı keşfedilmiştir. Odun ve polistiren karışımının pirolizinden elde edilen biyoyakıt, yüksek karbon içeriğine ve düşük oksijen içeriğine sahiptir. Öte yandan, odun ve propilen karışımının pirolizinden elde edilen biyoyakıt, yüksek hidrojen içeriğine sahiptir. Yine de, $ZnCl_2$ 'nin odun-sentetik polimer karışımlarına eklenmesi, biyoyakıtın karbon içeriğinin artmasına neden olduğu kanıtlanmıştır[93].



7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada Aspir tohumlarından hızlı piroliz yöntemi ile petrol eşdeğeri sentetik sıvı ürün elde edilmesi araştırılmıştır. Piroliz işlemi sonucunda elde edilen sıvı ürünün içeriğinin iyileştirilmesi amacı ile yağlı tohumlara farklı oranlarda iki katalizör eklenerek sıvı ürün içeriği incelenmiştir. Çalışmalar katalizörlü ve katalizörsüz olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada, Aspir tohumu 400 °C, 500 °C, 550 °C, 600 °C ve 700 °C sıcaklıklarında 100 °C/dk, ve 300 °C/dk ısıtma hızlarında, 100 cm³/dk ve 200 cm³/dk N₂ akış hızlarında piroliz deneyleri gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada, %1, %3, %5 ve %10 metakaolin ve uçucu kül kullanılarak üretilmiş olan geopolimer numuneleri katalizör olarak kullanılan, 550 °C ile sabit 200 cm³/dk N₂ akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir. Aspir tohumu ile yapılan piroliz çalışmalarında sıcaklığın, ısıtma hızının, azot akış hızının ve katalizörün sıvı ürüne etkileri incelenmiştir. Aspir tohumu analiz sonuçları tablo 7.1’de verilmiştir.

Tablo 7.1. *Aspir tohumu analiz sonuçları*

Karakteristik	Aspir Tohumu
Nem	5,7
Uçucu Madde	80,80
Sabit Karbon	11,32
Kül	2,18
Elemental analiz* (%)	
Karbon	60,46
Hidrojen	9,08
Oksijen	27,36
Nitrojen	3,10
Ampirik formül	CH _{1,81} O _{0,33} N _{0,04}
H/C (molar)	1,8
O/C (molar)	0,33
Kalorifik değer (MJ/kg)	23,86

* Kuru kül içermeyen ağırlık yüzdesi

Piroliz çalışmalarından önce, nem, uçucu madde, sabit karbon ve kül miktarlarını belirlemek için Aspir tohumlarının özellikleri belirlenmiştir. ISO Standartları (ISO 749:1977, ISO 665:2020). Aspir tohumlarının sabit karbon, kül, uçucu madde ve nem içeriğini belirlemektedir. Aspir tohumlarının partikül boyutları 0,85 <dp <1,25 mm aralığında olup öğütülmüş numune kullanılmıştır. Öğütülmüş Aspir tohumu görünümü Şekil 7,1’de paylaşılmıştır.



Şekil 7.1. Öğütülmüş Aspir tohumu

7.1. Piroliz Deneyleri

Piroliz deneyleri katalizörsüz ve katalizörlü olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir.

7.1.1. Katalizörsüz piroliz deneyleri

Hammaddenin hızlı pirolizinde 2,5 cm iç çapında, 90 cm boyunda 310 paslanmaz çelikten yapılmış; uçlarından ısıtmalı bir borusal reaktör kullanılmıştır. Deneyler süresince reaktör sıcaklığının kontrol edilebilmesi amacıyla, borusal reaktörün ortasındabulunan K tipinde (2,5 mm dış çapında) ısı-çift (thermocouple) ile yatağın hemen üstünden sıcaklık ölçümü yapılmıştır. Isıl-çiftlerden alınan sıcaklık ölçümleri denetleme panelinde bulunan sayısal göstergelerle izlenmiştir. Piroliz düzeneği şekil 7.2’de gösterilmiştir.



Şekil 7.2. *Piroliz düzeneği*

Hızlı piroliz sürecinde 3 gram hammadde tartıldı ve 0,3 gram çelik yünü reaktöre yerleştirildi. Piroliz sisteminin diğer parçalarıyla ihtiyaç duyulan bağlantıları yapılmıştır. Deneye başlamadan önce, sürükleyicinin gaz akış hızı ayarlanmıştır. Kontrol panelinden istenen sıcaklık, ısıtma hızı ve deney süresi ayarlanmıştır. Piroliz işlemi, sabit azot akış hızında ve ısıtma hızında istenen piroliz sıcaklığına ulaşıldıktan sonra, deney sona erdikten sonra tekrar kontrol panelinden ayarlanan süre boyunca beklenerek gerçekleştirilmiştir. Piroliz işlemi bittikten sonra, tuzaklarda biriken sıvı ürün (katran ve su karışımı), diklorometan ile yıkanarak ayırma hunisine alınmış ve su ayrılmıştır, Geri kalan karışım sodyum sülfattan geçirilmiş. Daha sonra rotavapor ile sıvı üründen diklorometan ayrılmış ve miktarı hesaplanmıştır. Reaktörde kalan katı ürün verimi tartılarak; gaz ürün verimi ise toplam kütle denkleğinden hesaplanmıştır. Çalışmalar, Aspir tohumu 400 °C, 500 °C, 550 °C, 600 °C ve 700 °C sıcaklıklarında 100 °C/dk ve 300 °C/dk ısıtma hızlarında, 100 cm³/dk ve 200 cm³/dk N₂ akış hızlarında piroliz deneyleri gerçekleştirilmiştir.

7.1.2. Katalizörlü piroliz deneyleri

Kütlece %1, %3, %5, %10 her iki katalizörden ile yapılan deneyler, sıvı ürün verimi incelenmesi için sabit sıcaklık 550 °C, sabit azotun akış hızı 200 cm³/dk ve sabit ısıtma hızı 300 °C/dk gerçekleştirilmiştir.

7.2. Sıvı Ürünün Sütun Kromatografisinde Fraksiyonlanması

Aspir tohumu piroliz sıvı ürününün polar, alifatik ve aromatik bileşiklerini ayırmak için sütun kromatografisi kullanılmıştır, 70-230 mesh boyutundaki silikajel, 600 °C'de dört saat boyunca aktive edilmiştir, Piroliz katranından bir gram örnek, 24 saat boyunca 250 mililitre n-pentanda çözülmeyen asfaltanlardan ayrılmıştır. Çözünen fraksiyonun gaz kromatografisi kullanılarak analizi yapılmıştır.

8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR DAN ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Bu bölüm, deneyin sonuçlarını içerir. Tablolar ve Şekiller, çeşitli piroliz koşullarında yapılan deneylerin sonuçlarını göstermektedir. Piroliz ürününün özellikleri, piroliz sıcaklığı, ısıtma hızı, sürükleyici gaz akış hızı ve katalizörün etkisi ele alınmıştır.

8.1. Katalizör Kullanılmadan Yapılan Çalışmaların Sonuçları

Aspir yağlı tohumu ile yapılan bu çalışmada piroliz değişkenlerinden ısıtma hızının, piroliz sıcaklığının, azot akış hızının piroliz ürünlerinin verimine nasıl etkilediği araştırılmıştır. Deneyler $0,85 < D_p < 1,25$ mm partikül boyutunda, 400 °C, 500°C, 550°C, 600°C ve 700°C farklı piroliz sıcaklıklarında, birinci set ısıtma hızı 300 °C/dk ve N₂ akış hızı 100 cm³/dk olmak üzere, ikinci set ise ısıtma hızı 300 °C/dk ve N₂ akış hızı 200 cm³/dk ve üçüncü set ise ısıtma hızı 100 °C/dk ve N₂ akış hızı 100 cm³/dk olmak üzere farklı parametrelerde yürütülmüştür. Bu parametreler incelenecek optimumum koşulların saptanmasına çalışılmıştır. Sonuçlar Tablo 8.1 - 8.15 arasında verilmiştir

Tablo 8.1. 400 °C sıcaklığında, 100 cm³/dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 400 °C, Isıtma hızı: 300 °C/dk, N ₂ akış hızı: 100 cm ³ /dk					
Deney No	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	60,40	39,60	27,87	4,31	28,23
2	61,12	38,88	28,23	4,27	28,63
3	61,48	38,52	28,59	4,52	28,37
Ortalama	61	39	28,23	4,37	28,41

Tablo 8.2. 500 °C sıcaklığında, 100 cm³/dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 500 °C, Isıtma hızı: 300 °C/dk, N ₂ akış hızı: 100 cm ³ /dk					
Deney No	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	64,74	35,26	33,66	4,31	26,78
2	64,02	35,98	35,46	4,23	24,32
3	65,10	34,90	35,10	3,58	26,42
Ortalama	64,62	35,38	34,74	4,04	25,84

Tablo 8.3. 550 °C sıcaklığında, 100 cm³/dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 550 °C					
Isıtma hızı: 300 °C/dk					
N₂ akış hızı: 100 cm³/dk					
Deney No	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	65,10	34,90	36,91	4,67	23,52
2	65,47	34,53	36,19	3,94	25,33
3	64,74	35,26	37,27	4,31	23,16
Ortalama	65,10	34,90	36,79	4,31	24,00

Tablo 8.4. 600 °C sıcaklığında, 100 cm³/dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 600 °C					
Isıtma hızı: 300 °C/dk					
N₂ akış hızı: 100 cm³/dk					
Deney No	Piroliz Dönüşümü(%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	66,91	33,09	35,46	4,31	27,14
2	67,27	32,73	35,83	4,67	26,78
3	67,27	32,73	36,19	4,67	26,42
Ortalama	67,15	32,85	35,83	4,55	26,78

Tablo 8.5. 700 °C sıcaklığında, 100 cm³/dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 700 °C					
Isıtma hızı: 300 °C/dk					
N₂ akış hızı: 100 cm³/dk					
Deney No	Piroliz Dönüşümü(%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	75,96	24,04	33,66	4,31	38,00
2	75,60	24,40	33,29	4,49	37,82
3	75,24	24,76	32,93	4,67	37,64
Ortalama	75,60	24,40	33,29	4,49	37,82

Tablo 8.6. 400 °C sıcaklığında, 100 cm³/dk azot akış hızında ve 100 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 400 °C					
Isıtma hızı : 100 °C/dk					
N ₂ akış hızı : 100 cm ³ /dk					
Deney No	Piroliz Dönüşümü(%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	58,95	41,05	30,76	4,13	24,07
2	58,59	41,41	30,40	4,31	23,88
3	57,87	42,13	31,48	4,31	22,08
Ortalama	58,47	41,53	30,88	4,25	23,34

Tablo 8.7. 500 °C sıcaklığında, 100 cm³/dk azot akış hızında ve 100 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 500 °C					
Isıtma hızı : 100 °C/dk					
N ₂ akış hızı : 100 cm ³ /dk					
Deney No	Piroliz Dönüşümü(%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	66,91	33,09	34,02	4,31	28,59
2	68,00	32,00	33,66	4,67	29,67
3	67,27	32,73	33,29	4,67	29,31
Ortalama	67,39	32,61	33,66	4,55	29,19

Tablo 8.8. 550 °C sıcaklığında, 100 cm³/dk azot akış hızında ve 100 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 550 °C					
Isıtma hızı : 100 °C/dk					
N ₂ akış hızı : 100 cm ³ /dk					
Deney No	Piroliz Dönüşümü(%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	68,00	32,00	34,74	4,49	28,77
2	67,64	32,36	35,10	4,31	28,23
3	66,91	33,09	34,74	4,67	27,50
Ortalama	67,52	32,48	34,86	4,49	28,17

Tablo 8.9. 600 °C sıcaklığında, 100 cm³/dk azot akış hızında ve 100 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 600 °C Isıtma hızı : 100 °C/dk N₂ akış hızı : 100 cm³/dk					
Deney No	Piroliz Dönüşümü(%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	69,45	30,55	32,57	4,31	32,57
2	70,17	29,83	32,21	4,49	33,47
3	70,21	29,79	31,48	4,13	34,60
Ortalama	69,94	30,06	32,09	4,31	33,55

Tablo 8.10. 700 °C sıcaklığında, 100 cm³/dk azot akış hızında ve 100 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 700 °C Isıtma hızı : 100 °C/dk N₂ akış hızı : 100 cm³/dk					
Deney No	Piroliz Dönüşümü (%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	72,34	27,66	29,67	4,31	38,36
2	72,70	27,30	30,04	4,67	38,00
3	72,16	27,84	29,31	4,31	38,54
Ortalama	72,40	27,60	29,67	4,43	38,30

Tablo 8.11. 400 °C sıcaklığında, 200 cm³/dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 400 °C Isıtma hızı : 300 °C/dk N₂ akış hızı : 200 cm³/dk					
Deney No	Piroliz Dönüşümü(%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	60,76	39,24	32,57	4,67	23,52
2	61,12	38,88	33,29	4,49	23,34
3	61,48	38,52	33,66	4,27	23,56
Ortalama	61,12	38,88	33,17	4,48	23,47

Tablo 8.12. 500 °C sıcaklığında, 200 cm³/dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 500 °C					
Isıtma hızı : 300 °C/dk					
N₂ akış hızı : 200 cm³/dk					
Deney No	Piroliz Dönüşümü(%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	66,19	33,81	35,10	4,31	26,78
2	66,55	33,45	35,83	4,67	26,06
3	66,91	33,09	36,55	4,49	25,87
Ortalama	66,55	33,45	35,83	4,49	26,24

Tablo 8.13. 550 °C sıcaklığında, 200 cm³/dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 550 °C					
Isıtma hızı : 300 °C/dk					
N₂ akış hızı : 200 cm³/dk					
Deney No	Piroliz Dönüşümü(%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	69,08	30,92	38,72	4,23	26,13
2	69,81	30,19	37,64	4,31	27,87
3	70,53	29,47	38,36	4,42	27,76
Ortalama	69,81	30,19	38,24	4,32	27,25

Tablo 8.14. 600 °C sıcaklığında, 200 cm³/dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 600 °C					
Isıtma hızı : 300 °C/dk					
N₂ akış hızı : 200 cm³/dk					
Deney No	Piroliz Dönüşümü(%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	66,55	33,45	36,19	4,02	26,35
2	67,27	32,73	35,46	4,23	27,58
3	68,00	32,00	35,10	4,52	28,37
Ortalama	67,27	32,73	35,58	4,26	27,43

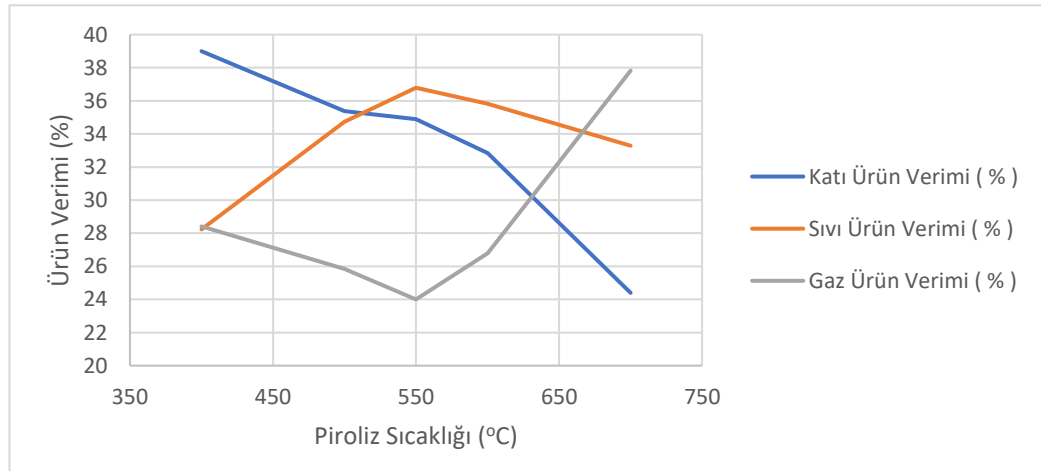
Tablo 8.15. 700 °C sıcaklığında, 200 cm³/dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deney sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 700 °C Isıtma hızı : 300 °C/dk N₂ akış hızı : 200 cm³/dk					
Deney No	Piroliz Dönüşümü(%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	77,41	22,59	33,66	4,31	39,45
2	77,05	22,95	34,38	4,67	38,00
3	77,77	22,23	34,02	4,13	39,63
Ortalama	77,41	22,59	34,02	4,37	39,03

Yapılan bütün deney çalışmaların özeti aşağıdaki tablo 8.16, tablo 8.17 ve tablo 8.18 de verilmiştir.

Tablo 8.16. Farklı piroliz sıcaklığında, 100 cm³/dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deneylerin katı, sıvı ve gaz ürün verim sonuçları

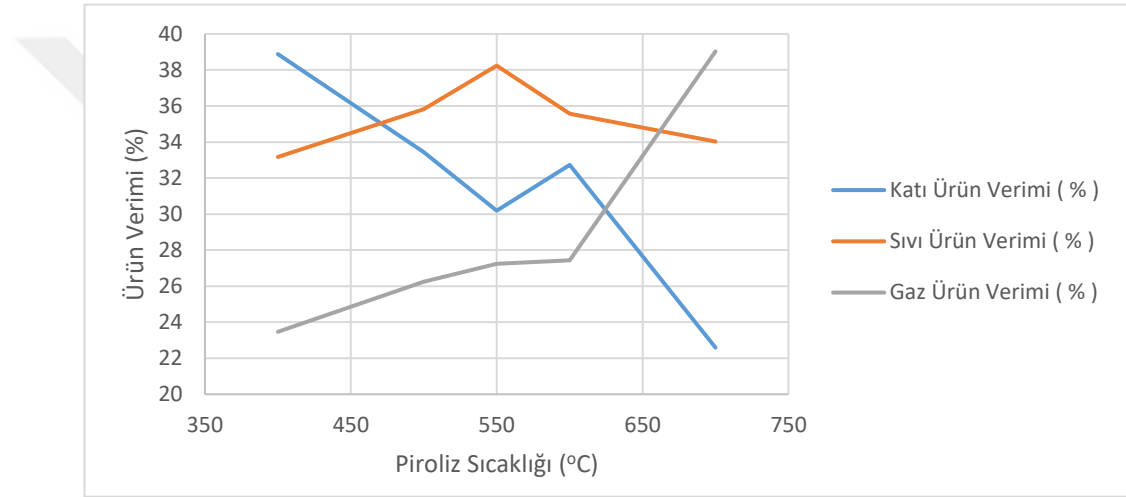
Isıtma hızı : 300 °C/dk N₂ akış hızı : 100 cm³/dk					
Piroliz Sıcaklığı	Piroliz Dönüşümü(%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
400 °C	61	39	28,23	4,37	28,41
500 °C	64,62	35,38	34,74	4,04	25,84
550 °C	65,10	34,90	36,79	4,31	24,00
600 °C	67,15	32,85	35,83	4,55	26,78
700 °C	75,60	24,40	33,29	4,49	37,82



Şekil 8.1. Farklı piroliz sıcaklıklarında 300 °C /dk ısıtma hızında ve 100 cm³/dk N₂ akış hızında katı, sıvı ve gaz ürün verimleri

Tablo 8.17. Farklı piroliz sıcaklığında, 200 cm³/dk azot akış hızında ve 300 °C/dk ısıtma hızında yapılan deneylerin katı, sıvı ve gaz ürün verim sonuçları

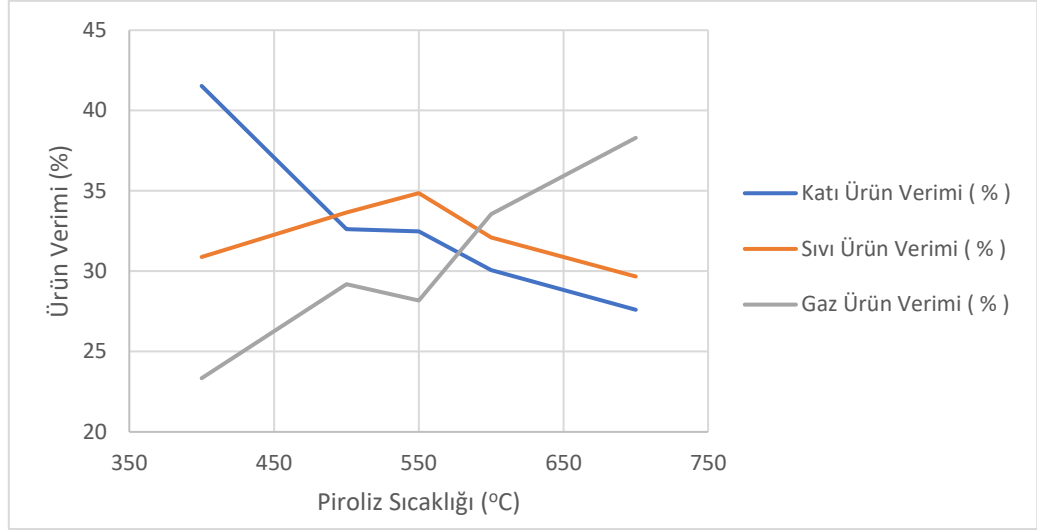
Piroliz Sıcaklığı	Isıtma hızı: 300 °C/dk N ₂ akış hızı: 200 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü(%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
400 °C	61,12	38,88	33,17	4,48	23,47
500 °C	66,55	33,45	35,83	4,49	26,24
550 °C	69,81	30,19	38,24	4,32	27,25
600 °C	67,27	32,73	35,58	4,26	27,43
700 °C	77,41	22,59	34,02	4,37	39,03



Şekil 8.2. Farklı piroliz sıcaklıklarında 300 °C /dk ısıtma hızında ve 200 cm³/dk N₂ akış hızında katı, sıvı ve gaz ürün verimleri

Tablo 8.18. Farklı piroliz sıcaklığında, 100 cm³/dk azot akış hızında ve 100 °C/dk ısıtma hızında yapılan deneylerin katı, sıvı ve gaz ürün verim sonuçları

Piroliz Sıcaklığı	Isıtma hızı : 100 °C/dk N ₂ akış hızı : 100 cm ³ /dk				
	Piroliz Dönüşümü(%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
400 °C	58,47	41,53	30,88	4,25	23,34
500 °C	67,39	32,61	33,66	4,55	29,19
550 °C	67,52	32,48	34,86	4,49	28,17
600 °C	69,94	30,06	32,09	4,31	33,55
700 °C	72,40	27,60	29,67	4,43	38,30



Şekil 8.3. Farklı piroliz sıcaklıklarında 100 °C /dk ısıtma hızında ve 100 cm³/dk N₂ akış hızında katı, sıvı ve gaz ürün verimleri

Şekil 8.1' de görüldüğü gibi 300°C/dk ısıtma hızında ve 100 cm³/dk N₂ akış hızında, piroliz sıcaklığının artması ile piroliz dönüşümünün artışı gözlemlenmiştir. 550 °C piroliz sıcaklığına kadar sıvı ürün miktarında bir artış gözlemlenmiş 400 °C de % 28,23 olan sıvı ürün verimi 550 °C de % 36,79 ye kadar yükselmiştir. Bu sıcaklıktan sonra piroliz sıcaklığının artması sonucunda sıvı ürün veriminde az miktarda da olsa bir düşüş görülmüştür, 700 °C de sıvı ürün verimi % 33,29 dur.

Şekil 8.2' de görüldüğü gibi 300°C/dk ısıtma hızında ve 200 cm³/dk N₂ akış hızında, piroliz sıcaklığının artması ile piroliz dönüşümünün artışı gözlemlenmiştir. 550 °C piroliz sıcaklığına kadar sıvı ürün miktarında bir artış gözlemlenmiş 400 °C de % 33,17 olan sıvı ürün verimi 550 °C de % 38,24 ye kadar yükselmiştir. Bu sıcaklıktan sonra piroliz sıcaklığının artması sonucunda sıvı ürün veriminde az miktarda da olsa bir düşüş görülmüştür, 700 °C de sıvı ürün verimi % 34,02 dir.

Şekil 8.3' de görüldüğü gibi 100°C/dk ısıtma hızında ve 100 cm³/dk N₂ akış hızında, piroliz sıcaklığının artması ile piroliz dönüşümünün artışı gözlemlenmiştir. 550 °C piroliz sıcaklığına kadar sıvı ürün miktarında bir artış gözlemlenmiş. 400 °C de % 30,88 olan sıvı ürün verimi 550 °C de % 34,86 ye kadar yükselmiştir. Bu sıcaklıktan sonra piroliz sıcaklığının artması sonucunda sıvı ürün veriminde az miktarda da olsa bir düşüş görülmüştür, 700 °C de sıvı ürün verimi % 29,67 dir.

8.2. Katalizör Kullanılarak Yapılan Çalışmalardan Elde Edilen Sonuçları

Bu çalışma, iki katalizör kullanmıştır, yapılan deneylerde katalizörlerin miktarı kütlece %1, %3, %5 ve %10 olarak ayarlanmıştır. Sabit sıcaklık 550 °C, sabit ısıtma hızı 300°C/dk ve sabit N₂ akış hızı 200 cm³/dk ayarlanmıştır, buna göre deneylerde her iki katalizör de kütlece %5 yapılan deneyi en yüksek sıvı ürünü verimini çıkarmıştır.

Birinci katalizör deneyleri

Tablo 8.19. 550 °C sabit sıcaklığında, 200 cm³/dk azot akış hızında, 300 °C/dk ısıtma hızında ve 1.katalizörden kütlece %1 oranı yapılan deney sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 550 °C Isıtma hızı: 300 °C/dk N ₂ akış hızı: 200 cm ³ /dk Katalizör miktarı: % 1					
Deney No	Piroliz Dönüşümü(%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	68,02	31,98	39,66	4,35	24,01
2	67,65	32,35	38,74	4,42	24,49
3	66,92	33,08	39,47	4,24	23,21
Ortalama	67,53	32,47	39,29	4,34	23,90

Tablo 8.20. 550 °C sabit sıcaklığında, 200 cm³/dk azot akış hızında, 300 °C/dk ısıtma hızında ve 1.katalizörden kütlece %3 oranı yapılan deney sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 550 °C Isıtma hızı : 300 °C/dk N ₂ akış hızı : 200 cm ³ /dk Katalizör miktarı : % 3					
Deney No	Piroliz Dönüşümü(%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	66,93	33,07	40,48	4,14	22,31
2	67,31	32,69	39,17	4,25	23,88
3	66,19	33,81	39,55	4,63	22,01
Ortalama	66,81	33,19	39,73	4,34	22,73

Tablo 8.21. 550 °C sabit sıcaklığında, 200 cm³/dk azot akış hızında, 300 °C/dk ısıtma hızında ve 1.katalizörden kütlece %5 oranı yapılan deney sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 550 °C, Isıtma hızı : 300 °C/dk N₂ akış hızı : 200 cm³/dk, Katalizör miktarı : % 5					
Deney No	Piroliz Dönüşümü(%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	64,67	35,33	41,13	4,30	19,23
2	64,29	35,71	40,75	4,27	19,27
3	63,53	36,47	39,99	4,23	19,31
Ortalama	64,16	35,84	40,62	4,27	19,27

Tablo 8.22. 550 °C sabit sıcaklığında, 200 cm³/dk azot akış hızında, 300 °C/dk ısıtma hızında ve 1.katalizörden kütlece %10 oranı yapılan deney sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 550 °C, Isıtma hızı : 300 °C/dk N₂ akış hızı : 200 cm³/dk, Katalizör miktarı : % 10					
Deney No	Piroliz Dönüşümü(%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	61,36	38,64	35,39	4,34	21,63
2	62,17	37,83	37,40	4,30	20,47
3	60,96	39,04	36,19	4,26	20,51
Ortalama	61,50	38,50	36,33	4,30	20,87

İkinci katalizör deneyleri

Tablo 8.23. 550 °C sabit sıcaklığında, 200 cm³/dk azot akış hızında, 300 °C/dk ısıtma hızında ve 2.katalizörden kütlece %1 oranı yapılan deney sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 550 °C Isıtma hızı : 300 °C/dk N₂ akış hızı : 200 cm³/dk Katalizör miktarı : % 1					
Deney No	Piroliz Dönüşümü(%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	68,38	31,62	39,84	4,06	24,49
2	67,65	32,35	39,47	4,42	23,76
3	66,92	33,08	40,57	4,24	22,11
Ortalama	67,65	32,35	39,96	4,24	23,45

Tablo 8.24. 550 °C sabit sıcaklığında, 200 cm³/dk azot akış hızında, 300 °C/dk ısıtma hızında ve 2.katalizörden kütlece %3 oranı yapılan deney sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 550 °C, Isıtma hızı : 300 °C/dk N₂ akış hızı : 200 cm³/dk, Katalizör miktarı : % 3					
Deney No	Piroliz Dönüşümü(%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	66,19	33,81	40,85	4,25	21,08
2	66,56	33,44	41,79	4,44	20,33
3	67,12	32,88	40,29	4,07	22,76
Ortalama	66,62	33,38	40,98	4,25	21,39

Tablo 8.25. 550 °C sabit sıcaklığında, 200 cm³/dk azot akış hızında, 300 °C/dk ısıtma hızında ve 2.katalizörden kütlece %5 oranı yapılan deney sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 550 °C, Isıtma hızı : 300 °C/dk N₂ akış hızı : 200 cm³/dk, Katalizör miktarı : % 5					
Deney No	Piroliz Dönüşümü(%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	65,81	34,19	42,47	4,49	18,85
2	65,62	34,38	42,66	4,30	18,66
3	64,94	35,06	41,51	4,11	19,31
Ortalama	65,46	34,54	42,21	4,30	18,94

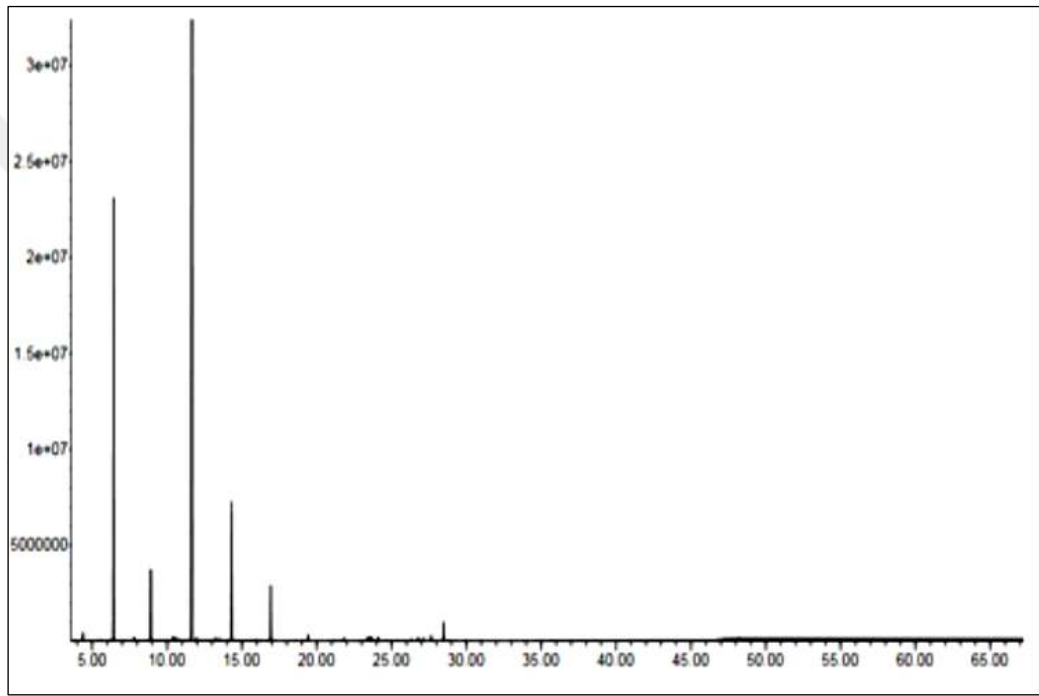
Tablo 8.26. 550 °C sabit sıcaklığında, 200 cm³/dk azot akış hızında, 300 °C/dk ısıtma hızında ve 2.katalizörden kütlece %10 oranı yapılan deney sonuçları

Piroliz sıcaklığı: 550 °C Isıtma hızı : 300 °C/dk N₂ akış hızı : 200 cm³/dk Katalizör miktarı : % 10					
Deney No	Piroliz Dönüşümü(%)	Katı Ürün Verimi (%)	Sıvı Ürün Verimi (%)	Toplanan Su (%)	Gaz Ürün Verimi (%)
1	62,17	37,83	40,21	4,54	17,41
2	62,97	37,03	39,41	4,26	19,30
3	63,77	36,23	38,20	4,38	21,19
Ortalama	62,97	37,03	39,27	4,39	19,30

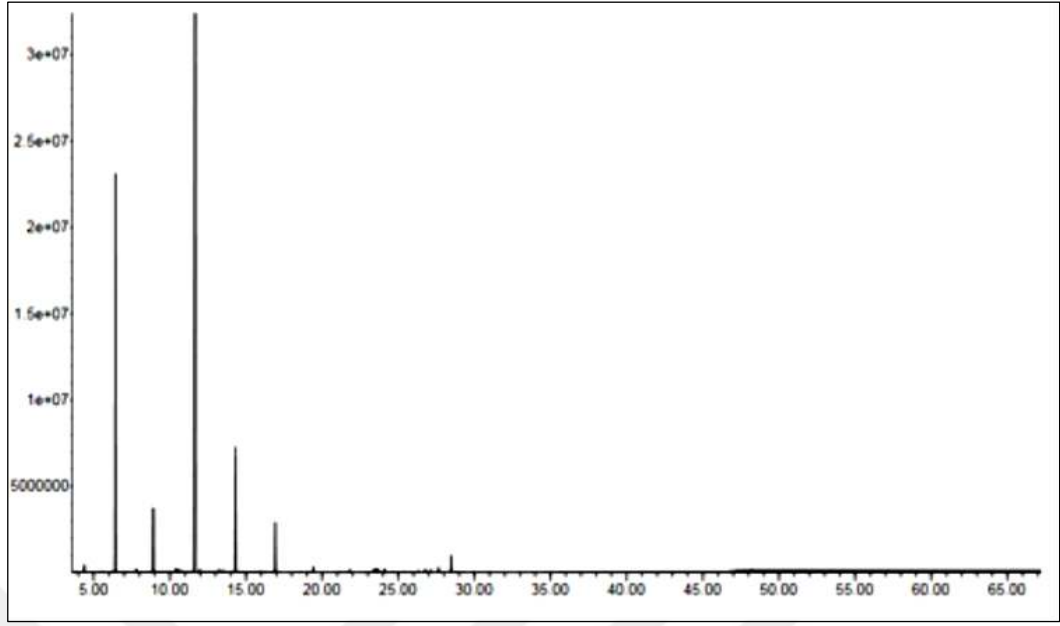
Birinci katalizör deneylerde en yüksek sıvı ürün verimi 40,62 ayrıca ikinci katalizör deneylerde en yüksek sıvı ürün verimi 42,60 tır.

8.3. Gaz Kromatografisi Analiz Sonuçları

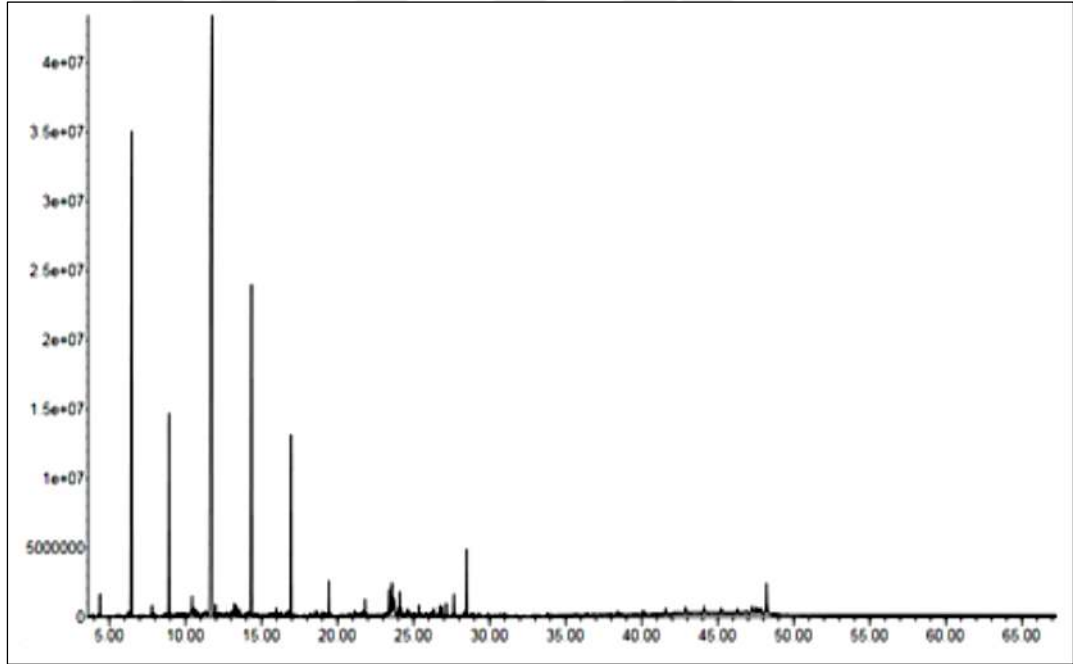
Kütlece %5 oranında katalizörlü ve katalizör kullanılmadan yapılan Aspir tohumun hızlı pirolizinden elde edilen sıvı ürünün GC analiz sonuçları verilmiştir. Aspir tohumunun katalizörsüz ve katalizör kullanılarak elde edilen sıvı ürün n- pentan eluatı GC analizi sonuçları aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Gaz kromotogramında n-pentan fraksiyonunun karbon sayısının genel olarak C8- C22 aralığında olduğu görülmüştür.



Şekil 8.4. *Aspir tohumundan katalizör kullanılmadan elde edilen sıvı ürün n-pentan eluatının GC Kromatografisi.*



Şekil 8.5. %5 oranında birinci katalizör kullanılarak Aspir tohumundan elde edilen katranın GC kromatografı



Şekil 8.6. %5 oranında ikinci katalizör kullanılarak Aspir tohumundan elde edilen katranın GC kromatografı

9. TARTIŞMA VE YORUMLARI

Enerjiye olan talebin artmasıyla birlikte, yaygın olarak kullanılan fosil yakıt rezervlerinin giderek azalmasıyla birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Fosil yakıtların çevreye zararlı etkileri nedeniyle, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı önem kazanmaktadır.

Biyokütlelerin ucuz, bol, sıfır karbon emisyonu ve sürdürülebilir olması nedeniyle yenilenebilir enerji kaynaklarından en önemlilerinden biri olarak kullanımının giderek yaygınlaştırılması hedeflenmektedir. Biyokütleler termokimyasal ve biyokimyasal yöntemlerle dönüştürülür. Termokimyasal yöntemler, biyokütle dönüşümünü kısa sürede gerçekleştirdikleri için avantajlıdır, Hedeflenen nihai ürün, yanma, gazlaştırma, sıvılaştırma ve piroliz gibi dönüşüm süreçlerini belirler.

Piroliz yöntemi, biyokütleden değerli kimyasallar içeren sıvı bir ürün üretmek için kullanılabilir. Piroliz, ısıtma hızlarına göre ikiye ayrılır: hızlı ve yavaş. Hızlı piroliz, biyokütlenin sıvı ürün üretimini artırır ve reaksiyon süresini kısaltır.

Hızlı pirolizde kullanılan biyokütle seçimi, nihai ürünün kalitesini etkilediği için son derece önemlidir. Piroliz yönteminde yağlı tohumlar, daha verimli sıvı ürün elde ettikleri için tercih edilen biyokütle kaynaklarıdır. Aspir tohumu, kurak alanda yetişebilen, zor koşullara dayanıklı ve yüksek yağ içeriği gibi önemli faydaları nedeniyle bu çalışmada hammadde olarak kullanılmıştır.

Aspir tohumunun hızlı pirolizi ile ilgili araştırma iki aşamada yürütüldü. İlk aşamada. Aspir tohumu 400 °C, 500 °C, 550 °C, 600 °C ve 700 °C sıcaklıklarında pirolize edildi, Ayrıca 100 °C/dk, 200 °C/dk ve 300 °C/dk ısıtma hızlarında ve 100 cm³/dk ve 200 cm³/dk N₂ akış hızlarında da deney yapılmıştır. Bu bulgular, Aspir tohumunun hızlı pirolizi için en iyi koşulların 550 °C, 300 °C/dakika ısıtma hızı ve 100 cm³/dk N₂ akış hızı olduğunu göstermektedir.

Piroliz deneyleri, katalizör etkisi ürün dağılımına etkisini incelemek için 550 °C sıcaklıkta, 300 °C/dk ısıtma hızında, on dakikalık bir reaksiyon süresinde. 200 cm³/dk azot akış hızında ve iki farklı katalizör farklı oralarda gerçekleştirmiştir. Parçacık boyutu 1,25>D_p>0,85 mm arasında seçilmiştir. En yüksek sıvı ürün verimi olduğunda 42,38'dur.

Bu çalışmanın amacı, hızlı pirolizle sıvı ürün üretiminin optimizasyonunu sağlamaktır. Bu koşullarda katalitik piroliz ile dizel yakıta eşdeğer sıvı ve faydalı kimyasal ürünler üretmektir.

KAYNAKÇA

- [1] Bridgwater, A.V., Peacocke, G.V.C., Fast pyrolysis processes for biomass. *Sustainable Energy Reviews*, 4(1), 1-73, 2000.
- [2] Czernik, S.R., Bridgwater, A.V., Overview of applications of biomass fast pyrolysis oil. *Energy Fuels*, 18(2), 590–598, 2004.
- [3] Marban, G., Valdes-Solis, T., Towards the hydrogen economy. *International Journal of Hydrogen Energy*, 32(12), 1625-1637, 2007.
- [4] Ji-Lu, Z., Wei-Ming, Y., Na-Na, W., Bio-oil production from cotton stalk. *Energy Conversion and Management*, 49, 1724-1730, 2008.
- [5] Tsai, W.T., Mi, H.H., Chang, Y.M., Yang, S.Y., Chang, J.H., Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in bio-crudes from induction-heating pyrolysis of biomass wastes, *Bioresources Technology*, 98, 2007, 1133-1137.
- [6] Pütün, E., Ateş, F., Pütün A.E., Catalytic pyrolysis of biomass in inert and steam atmospheres. *Fuel*, 87, 815-824, 2008.
- [7] Bridgwater, A.V., Meier, D., Radlein, D., An overview of fast pyrolysis of biomass. *Org Geochem*, 30, 1479–1493, 1999.
- [8] Ji-Lu, Z., Pyrolysis oil from fast pyrolysis of maize stalk. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 83(2), 205-212, 2008.
- [9] McKendry, P., Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, 83(1), 37–46, 2002.
- [10] Wolfson R., Schneider, S.H., Understanding climate science in ‘climate change policy: a survey’, *Washington, Island Press*, 3-52, 2002.
- [11] Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C.A., Intergovernmental Panel on Climate Change, *Cambridge University Press Cambridge*, 132–145, 2001.
- [12] Büyükmihçı, M.K., Yenilenebilir enerji kaynakları Avrupa Birliği ülkemizdeki uygulamalar ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanmakta olan kanun tasarısı taslağı çerçevesinde planlanan önlemler, *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, TMMOB*, 15-22, Kayseri, 2003.
- [13] Akkoyunlu, A., Türkiye’nin enerji kaynakları ve çevreye etkileri, *Türkiye’de Enerji ve Kalkınma Sempozyumu, TASAM*, Ankara, (2004)
- [14] Acaroğlu, M., Alternatif enerji kaynakları, *Biyokütle Enerjisi*, 74- 107, 2003.
- [15] Kaygısız, K., Sarı, A., Renewable energy potential and utilization in Turkey, *Energy Conversion and Management*, 44, 59-78, 2003.

- [16] Demirbaş, A., Pehlivan, E., Altın, T., Potential evolution of Turkish agricultural residues as biogas, biochar and biooil sources. *International Journal of Hydrogen Energy*, 31(5), 613-620, 2006.
- [17] Wang, C., Du, Z., Pan, J., Li, J., Yang, Z., Direct Conversion of biomass to biopetroleum at low temperature. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 78 (2), 438-444, 2007.
- [18] Şahin, H.T., 'Lignoselülözik maddelerin asit hidrolizi' , *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü*, Isparta, 50-53.
- [19] Sarıoğlu, N., 'Mısır saplarının hızlı ve katalitik pirolizi ve ürünlerin karakterizasyonu', Yüksek lisans tezi, *Anadolu Üniversitesi, Kimya Müh. Anabilim Dalı*, Eskişehir, Ağustos, 2007.
- [20] Benk A., Delibaş, A., Özkan, M., Çoban, A., Bitki Atıklarının Katı Yakıt Olarak Değerlendirilmesi, *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, TMMOB*, 259- 265, Kayseri, 2003.
- [21] Kün, E., Çiftçi, Y., Birsen, M., Ülger, A.C., Karahan, S., Zincirci, N., Öktem, A., Güler, M., Yılmaz, N., Atak, M., Tahıl ve yemeklik dane üretimi, *Türkiye Ziraat Mühendisliği Kongresi*, 2007.
- [22] Akova, Y., Hububat, T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı Dhracatı Geliştirme Etüd Merkezi, 2008.
- [23] Boran, Ş., Türkiye hububat pazarında nerede?, *Ar-Ge Bülten*, 21- 28, Mayıs 2007.
- [24] Topal, H., Atımtay, A.T., Durmaz, A., Oil and cake combustion in a circulating fluidized bed, *Fuel*, 82, 1049-1050, 2003.
- [25] CIGR, Handbook of agricultural engineering V: 5 Energy and biomass Enginerring, *ASAE*, 262, 1999.
- [26] Ünal, H., Alibaş, K., Biyokütle enerji kaynağı olarak ayçiçeği sapının yakılması ve baca gazı emisyonlarının belirlenmesi, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16, 113-128, 2002.
- [27] Türe, S., Biyokütle Enerjisi, Boğaziçi Üniversitesi, *Temiz Enerji Vakfı*, 7, 1- 27, 2001.
- [28] Akgül, M., Biyokütlenin yakıt potansiyeli olarak değerlendirilmesi, *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı, TMMOB*, 281-283, Kayseri, 2003.
- [29] Anonim, DEA Bioenergy Task34 : Biomass Pyrolysis 2007
- [30] Arslan, I., Aslan, S., Topal, M., Biyokütlenin enerjiye dönüştürülmesi, 1. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi, TDKDEK , 485-492, İstanbul, 2007.

- [31] Olgun, H., Doğru, M. ,Howart, C.R., Katı atıkların enerji dönüşümünde kullanılması ve gazlaştırıcılar, IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 835-851.
- [32] Bridgewater, A.V., Bridge, S.A., A review of pyrolysis and pyrolysis technologies, Biomass Pyrolysis Liquids Upgrading and Utilisation, A.V., Bridgewater ve G.Grassi (Eds), Elsevier Applied Science,London, 11-92, 1991.
- [33] Elliot, D.C., Schiefelbein, G.F., Liquid hydrocarbon fules from biomass, Amer, Chem. Soc., Div. Fuel Chemistry Preprints, 34(4), 1160-1166, 1989.
- [34] Meier, D., Rupp, M., Direct catalytic liquefaction tecnology of biomass: status and rewiev, Biomass Pyrolysis Liquids Upgrading and Utilization, A.V., Bridgewater ve G.Grassi (Eds), Elsevier Applied Science, London, 155- 176, 1991.
- [35] Eliot, D.C., Baker, E.G., Ostman, A., Gevert, S.B., Beckmen, D., Solantousta, V., Hornell, C.A., Technical and economic analysis at direct biomass liquefaction, IGT Symp. on Energy from Biomass and Wastes XII, New Orleans, 744-767, 1989.
- [36] Mckendry, P., Energy Production From Biomass (part 2): conversion technologies. Bioresources Technology, 83, 47-54, 2002.
- [37] Bridgewater, A.V., Grassi, G., Biomass pyrolysis liquids upgrading and utilization, England: Elsevier Applied Science, 1991.
- [38] Miranda, M.T., Cabanillas, A., Rojas, S., Montero, I., Ruiz, A., Combined combustion of various phases of olive wastes in a conventional combustor. Fuel,86(3),367-372,2007.
- [39] Lapuerta, M., Armas, O., García-Contreras, R., Stability of diesel–bioethanol blends for use in diesel engines, Fuel, 86(10-11), 1351-1357, 2007.
- [40] Qing Cao, Ke-Chang Xie, Wei-Ren Bao, Shu-Guang Shen, Pyrolytic behavior of waste corn cob, Bioresource Technology, 94(1), 83-89, 2004.
- [41] Park, Y.H., Kim , J., Kim .S.S., Park, Y.K., Pyrolysis characteristics and kinetics of oak trees using thermogravimetric, Analyzer and Micro-tubing Reactor , Bioresource Technology, 100, 400-405, 2009.
- [42] Ateş F., Pütün A.E. and Pütün E., Fixed bed pyrolysis of Euphorbia rigida with different catalyst, Energy Conversion and Management, 46, 421-432, 2005.
- [43] Ayllon M, Aznar M, Sanchez JL, Gea G, Arauzo J., Influence of temperature and heating rate on the fixed bed pyrolysis of meat and bone meal. Chem Eng J, 121, 85–96, 2006.
- [44] Suarez – Garcia, F., Marinez - Alanso, A., Tascon JMD. Pyrolysis of apple pulp: effect of operation conditions and chemical additives. Journal Analytical Applied Pyrolysis , 62, 93-109, 2002.

- [45] Enginar, J.M., Gonzalez, J.F., Gonzalez, J., Fixed bed pyrolysis of *Cynara Cardunculus* L. product yields and compositions. *Fuel Process Technology*, 68, 209-222, 2000.
- [46] Mohan, D., Pitman, C.U., Steele, P.H., Pyrolysis of Wood/biomass for bio- oil: a Critical Review. *Energy Fuels* , 20 , 848-849, 2006.
- [47] Funazukuri, T., R. Hudgins and P. Silveston. Product distribution in pyrolysis of cellulose in microfluidized bed. *J. Anal. Pyrolysis*, 9, 139- 158, 1986.
- [48] Scott, D.S, J. Piscorz, M.A. Bergougnou, R. Graham and R.P. Overend, The role of temperature in fast pyrolysis of cellulose and wood. *Industrial Engineering Chemical Research.*, 27, 8-11, 1988.
- [49] Hajaligol, M., J. Howard, J. Longwell and A. Peters, Product composition and kinetics of rapid pyrolysis of cellulose, *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.*,21, 457-465, 1982.
- [50] Soltes, E. and T. Elder, Pyrolysis in organic chemicals from biomass. Goldstein IS. (ed.) CRC Press, Florida, 63-100, 1981.
- [51] Wenzl, H., The Chemical technology of wood. Academic Press, New York, 1970.
- [52] Aarsen, F., C. Beenackers and Van Swaaij., Wood pyrolysis and carbon dioxide char gasification kinetics in a fluidized bed. In: *Fundamentals of Thermochemical Biomass Conversion*. R.P. Overend, T.A. Milne and L.K. Mudge (eds). Elsevier Applied Science Publishers, London, 691-715, 1985.
- [53] Ayll'on, M., M. Aznar, J. S'anchez, G. Gea and J. Arauzo, Influence of temperature and heating rate on the fixed bed pyrolysis of meat and bone meal. *Chemical Engineering Journal*, 121, 85–96, 2006.
- [54] Koufopanos, C. A., G. Maschio and A. Lucchesi, Kinetic modeling of the pyrolysis of biomass and biomass components. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 67, 75-84, 1989.
- [55] Bridgewater, A.V., Meier, D., Radlein, D., An overview of fast pyrolysis of biomass , *Organic Geochemistry*,30, 1479-1493, 1999.
- [56] Nunn, T.R., Howard, B.J., Longwel, J.P., Peters, W.A., Product compositions and kinetics in the rapid pyrolysis of milled wood lignin, *Ind. England Chemical Production*, 24(3), 844-852, 1985.
- [57] Utioh, A.C, N.N. Bakshi and D.G MacDonald, Pyrolysis of grain screening in a batch reactor. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 67, 439-442, 1989.
- [58] Ward, S. and J. Braslaw, Experimental weight loss kinetics of wood pyrolysis under vacuum. *Combustion and Flame*, 61, 261-269, 1985.
- [59] Blackadder, W. and E. Rensfelt, A pressurized thermo-balance for pyrolysis and

- gasification studies of biomass, wood and peat. In: Fundamentals of Thermochemical Biomass Conversion. R.P. Overend, T.A. Milne and L.K. Mudge (eds). Elsevier Applied Science Publishers, London, 747-759, 1985.
- [60] Ateş, F., 'Euphorbia Rigida'nın sabit yatak reaktörde katalitik pirolizi', doktora tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, Türkiye, 23, 2001.
- [61] Sunol, Z.S.G. ve Sunol, A.K., Pyrolysis of Coal, Coal, Resources, Properties, Utilization, O.Kural (Eds.), İstanbul, 337-351, 1994.
- [62] Çağlar, A., Çay atığının katalitik pirolizi: sıvı ürün verimi üzerine etkisi, Kastamonu Eğitim Dergisi, Cilt:12, 2, 385-392, 2004.
- [63] Ateş, F., Pütün, A.E., Pütün, E., Fixed pyrolysis of Euphorbia rigida with different catalysts, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 73(2), 299-304, 2005.
- [64] Jones, S.B., Production of gasoline and diesel from biomass via fast pyrolysis, Hydrotreating and Hydrocracking: A Design Case, U.S. Department of Energy, Washington, 2009.
- [65] Demirbas, A., Biomass resource facilities and biomass conversion processing for fuels and chemicals. Energy Conversion Management, 42, 1357-1378, 2001.
- [66] Çayır, G., 'Kayısı çekirdeğinin pirolizi, Bitirme Tezi', Müh- mim. Fak., Kimya Müh. Bölümü, Anadolu Üniversitesi, 29-30, Eskişehir, 2003.
- [67] Varol, E.A., Pütün, E., Pütün, A.E., Slow pyrolysis of pistachio shell, Fuel, 86, 1892-1899, 2007.
- [68] Özbay, N., Uzun, B.B., Apaydın V., Pütün, E., Pütün, A.E., Comparative analysis of pyrolysis oils and its subfractions under different atmospheric conditions. Fuel Process Technol, 87, 1013- 1019, 2006.
- [69] Ateş, F., Pütün, E., Pütün, A.E., Fast Pyrolysis of sesame stalk: yields and structural analysis of bio-oil, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 71, 779-790, 2004.
- [70] Onay, Ö., Fast and catalytic pyrolysis of pistacia khinjuk seed in a well- swept fixed bed reactor, Fuel, 86, 1452-1460, 2007.
- [71] Tsai, W.T., Lee, M.K., Chang, Y.M., Fast Pyrolysis Of Rice Straw, Sugarcane Bagasse and Coconut Shell in an Induction-heating Reactor. J Anal Appl Pyrolysis, 76, 230-7, 2006.
- [72] Park, Y.H., Kim, J., Kim, S.S., Park, Y.K., Pyrolysis Characteristics and kinetics of oak trees using thermogravimetric analyzer and micro- tubing reactor, Bioresource Technology, 100, 400-405, 2009.
- [73] Raman, K.P., W.P. Walawender, L.T. Fan and C.C. Chang, Mathematical model

- for fluid bed gasification of biomass material. Application to feedlot manure. *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.*, 20, 686-692, 1981.
- [74] Bridgewater, A.V., Biomass Fast Pyrolysis, Review paper, 2, 21-49, 2004.
 - [75] Robert C. Brown, Fast Pyrolysis and Bio-Oil Upgrading , Iowa State University and Jennifer Holmgren, 2009.
 - [76] Oasmaa, A., Czernik, S., Fuel oil quality of biomass pyrolysis oils- state of the art for the end-users. *Energy Fuels*, 13, 914–21, 1999.
 - [77] Shihadeh, A., Hochgreb, S., Impact of biomass pyrolysis oil process conditions on ignition delay in compression ignition engines. *Energy Fuels*, 16, 552–61, 2002.
 - [78] Scholze, B, Meier, D. Characterization of the water-insoluble fraction from pyrolysis oil (pyrolytic lignin) Part I. PY-GC/MS, FTIR, and functional groups. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 60, 41–54, 2001.
 - [79] Luo, ZY, Wang, SR, Liao, YF, Research on biomass fast pyrolysis for liquid fuel. *Biomass Bioenergy*, 26, 455–462, 2004.
 - [80] Sipilä, K, Kuoppala, E, Fagernäs, L, et al. Characterization of biomass– based flash pyrolysis oils. *Biomass Bioenergy*, 14(2), 103– 113, 1998.
 - [81] Boucher, M.E, Chaala, A., Roy, C., Pakdel, H., Bio-oils obtained by vacuum pyrolysis of softwood bark as a liquid fuel for gas turbines. Part II: Stability and ageing of bio-oil and its blends with methanol and a pyrolytic aqueous phase. *Biomass Bioenergy*, 19, 337–350, 2000.
 - [82] Beis, S.H., Onay, O., Kockar, O.M., Fixed-bed pyrolysis of safflower seed: influence of pyrolysis parameters on product yields and compositions. *Renewable Energy*, 26, 21–32, 2002.
 - [83] Özcimen D, Karaosmanoglu F. Production and characterization of bio-oil and biochar from rapeseed cake. *Renew Energy*, 29, 779–787, 2004.
 - [84] Scahill, J, Diebold, J.P., Feik, C., Removal of residual char fines from pyrolysis vapors by hot gasification. In: Bridgewater AV, Bock DGB, editors. *Developments in thermochemical biomass conversion*. London: Blackie Academic and Professional, 253–266, 1996.
 - [85] Guo, Y., Wang, Y., Wei, F., et al. Research progress in biomass flash pyrolysis technology for liquids production. *Chemistry Ind. England Prog.*, 8, 13–7, 2001.
 - [86] Wang, SR., Luo, Z.Y., Tan, H., The analysis of characteristics bio- oil produced from biomass flash pyrolysis. *J. Eng. Thermophysical*, 25(6) 1049– 1052, 2004.
 - [87] Zhang, S.P., Yan, Y.J., Ren, Z.W., Analysis of liquid product obtained by the fast pyrolysis of biomass. *J. China Science Technology*, 27, 666–668, 2001.

- [88] Peng, W.M, Wu, Q.Y. Production of fuels from biomass by pyrolysis. *New Energy Sources*, 22(11), 39–44, 2000.
- [89] Pindoria, R.V, Megaritis, A, Herod A.A, A two-stage fixed-bed reactor for direct hydrotreatment of volatiles from the hydrolysis of biomass: effect of catalyst temperature, pressure and catalyst ageing time on product characteristics. *Fuel* , 77(15)1715–1726,1998.
- [90] Zhang, S.P, Yan, Yongjie, Li, T, Upgrading of liquid fuel from the pyrolysis of biomass. *Bioresources Technology* , 96, 545–550, 2005.
- [91] Senol, A., Influence of diluent on amine extraction of pyruvic acid using Alamine system , *Chemical Engineering and Processing*, 45(9), 755-763, 2006.
- [92] Adam, J., Blazso, M., Meszcras, E., Stöcker, M., Nilsen, H.M., Bouzga, A., Hustad, J.E., Gronli, M., Pyrolysis of biomass in the presence of Al-MCM- 41 type catalysts, *Fuel*, 84(12-13),1494-1502,2005.
- [93] Adjaye, J.D, Bakhshi, N.N., Production of hydrocarbons by catalytic upgrading of a fast pyrolysis bio-oil. Part II: Comparative cata

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0009-0008-4451-4368

Ad Soyad : Tareq Saleh Ahmed AL-AMODI

Yabancı Dil : İngilizce ve Arapça

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2023, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Bölümü, Kimyasal Teknolojiler Anabilim Dalı
- 2020, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü.