

**PIROLİZ YÖNTEMİ İLE CEVİZ KABUĞUNDAN  
YAKIT ÜRETİMİNİN OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nebi YAZAR**

**Danışman**

**Prof. Dr. İbrahim MUTLU**

**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Aralık 2019**

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**PIROLİZ YÖNTEMİ İLE CEVİZ KABUĞUNDAN**  
**YAKIT ÜRETİMİNİN OPTİMİZASYONU**

**Nebi YAZAR**

**Danışman**

**Prof. Dr. İbrahim MUTLU**

**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Aralık 2019**

## TEZ ONAY SAYFASI

Nebi YAZAR tarafından hazırlanan “Pirroliz Yöntemi ile Ceviz Kabuğundan Yakıt Üretiminin Optimizasyonu” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 30/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. İbrahim MUTLU

**Başkan** : Doc. Dr. Ahmet KESKİN  
Abant İzzet Baysal Üniversitesi Bolu M. Y.O .....  
**Üye** : Prof. Dr. İbrahim MUTLU  
Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi .....  
**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ  
Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi .....

İmza

<p>Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.</p> <p>..... Prof. Dr. İbrahim EROL Enstitü Müdürü</p>
---

## BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

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

**beyan ederim.**

30/12/2019

  
Nebi YAZAR

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### PİROLİZ YÖNTEMİ İLE CEVİZ KABUĞUNDAN YAKIT ÜRETİMİNİN OPTİMİZASYONU

Nebi YAZAR

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. İbrahim MUTLU

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte enerji tüketimi artışı için alternatif enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Bu bağlamda tarımsal atık maddelerin alternatif enerji kaynağı olarak kullanımı çerçevesinde ceviz kabuğu biyokütle enerji kaynağı olarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışmada ceviz kabuğundan piroliz yöntemiyle pirolitik yağ üretim işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan bir dizi deneysel çalışmalarda, pirolitik yağ üretim veriminde sıcaklık çalışma değeri, ısıtma hızı ve gaz akış hızı etkileri araştırılarak optimizasyon yapılmıştır. Deneylerde ısıtma hızı 10°C/dk, sıcaklığı 400°C, 450°C, 500°C, 550°C değerlerinde azot gaz (N<sub>2</sub>) akış hızını ise 0,5 L/dk, 1 L/dk, 1,5 L/dk şartları altında gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen pirolitik yağ üretim şartlarının optimizasyonunda en düşük verimin 550°C sıcaklıkta ve 1,5 L/dk gaz akışında olduğu gözlenirken, en iyi verim şartlarının 500°C sıcaklıkta ve 0,5 L/dk azot gazı (N<sub>2</sub>) akış hızında olduğu belirlenmiştir.

**2019, ix + 59 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Piroliz, Biyoyakıt, Optimizasyon, Tarımsal atık.

## **ABSTRACT**

M.Sc. Thesis

### **WALNUT SHELL WITH PYROLYSIS METHOD OPTIMIZATION OF FUEL PRODUCTION**

Nebi YAZAR

Afyon Kocatepe University

Institute for the Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

**Supervisor:** Prof. İbrahim MUTLU

Since the energy consumption increases with the development of technology, the need for alternative energy sources increases day by day. In this context, walnut shells are considered as biomass energy sources within the framework of the use of agricultural waste as an alternative energy source.

In this study, pyrolytic oil production process was carried out by using pyrolysis method from walnut shell. In a series of experimental studies, the efficiency of pyrolytic oil production was optimized by considering the effects of working temperature, heating rate and gas flow rate. The experiments were carried out under the conditions of heating rate of 10°C/min, temperature of 400°C, 450°C, 500°C, 550°C and flow rate of Nitrogen gas (N<sub>2</sub>) of 0.5 L/min, 1 L/min, 1.5 L/min. The lowest efficiency was observed at 550°C and 1.5 L/min gas flow, while the best yield conditions were determined at 500°C and 0.5 L/min nitrogen gas (N<sub>2</sub>) flow rate in the optimization of the pyrolytic oil production conditions.

**2019, ix +59 Pages**

**Keywords:** Pyrolysis, Biofuel, Optimization, Agricultural waste.

## TEŞEKKÜR

Danışmanlığı üstlenen ve yüksek lisans tez çalışmalarında hoşgörüsüyle, önerileriyle ve bilgi birikimleri ile gerek eğitim öğretim hayatımda gerekse yaşadığımız hayata dair yardımlarını, desteğini ve emeğini bizlerden hiç esirgemeyen Sayın. Prof. Dr. İbrahim MUTLU hocama teşekkür ederim.

Yapmış olduğum çalışmalar boyunca beni yönlendiren, ilgi, alaka ve yardımlarını hiç eksik etmeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ hocama teşekkür ederim.

Bugünlere gelmemi sağlayan ve her zaman verdikleri destekle yanımda olan, her konuda arkamda duran ve varlığını her zaman hissettiğim emeklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen aileme en içten teşekkürlerimi sunarım...

Nebi YAZAR  
Afyonkarahisar 2019

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....	4
2.1 Ceviz .....	4
2.1.1 Ceviz Bitkisinin Genel Özellikleri .....	4
2.1.2 Ceviz Bitkisinin Dünya Ekonomisindeki Yeri.....	5
2.1.3 Ceviz Bitkisinin Türkiye Ekonomisindeki Yeri.....	6
2.2 Enerji ve Enerji Kaynakları .....	7
2.2.1 Yenilenemez Enerji Kaynakları .....	7
2.2.2 Yenilenebilir (Alternatif) Enerji Kaynakları .....	8
2.2.3 Biyokütle Enerjisi.....	10
2.2.3.1 Enerji Kaynağı Olarak Kullanılan Katı Biyoyakıtlar .....	12
2.3 Biyokütleden Yakıt Elde Etme Yöntemleri .....	14
2.3.1 Seyreltme (İnceltme) Yöntemi .....	15
2.3.2 Mikroemülsiyon Oluşturma Yöntemi .....	16
2.3.3 Süper Kritik Yöntem .....	16
2.3.4 Transesterifikasyon .....	17
2.3.5 Piroliz İşlemi .....	18
2.3.5.1 Geleneksel Piroliz.....	19
2.3.5.2 Yavaş Piroliz .....	19
2.3.5.3 Hızlı ve Flaş Piroliz .....	20
2.3.6 Pirolizi Etkileyen Faktörler .....	21
2.3.6.1 Piroliz Sıcaklığının Etkisi .....	21
2.3.6.2 Parçacık Boyutunun Etkisi .....	21



2.3.6.3 Isıtma Hızının Etkisi.....	22
2.3.6.4 Sürükleyici Azot Gazı Akış Hızı ile Bekleme Süresi.....	22
2.4. Pirolitik Yakıt Özellikleri .....	23
2.4.1 Yoğunluk.....	23
2.4.2 Viskozite .....	23
2.4.3 Kükürt İçeriği.....	24
2.4.4 Setan Sayısı .....	25
2.4.5 Parlama Noktası .....	25
2.4.6 Isıl Değer.....	26
2.4.7 Uçuculuk .....	27
2.4.8 Soğuk Akış Özelliği .....	27
2.4.9 Su İçeriği .....	27
2.5 Literatürde Yapılan Çalışmalar.....	28
3. MATERYAL ve METOD .....	32
3.1 Deney Düzenegi ve Kullanılan Ekipmanlar .....	32
3.1.1 Piroliz Cihazı.....	32
3.1.2 Hassas Terazı .....	33
3.1.3 Ayırma Hunisi .....	33
3.1.4 Evaporatör .....	34
3.1.5 Diklorometan.....	34
3.2 Üretim Yöntemi .....	35
4. BULGULAR .....	40
4.1 Sıcaklığın Pirolitik Yakıt Verimine Etkisi.....	40
4.2 Gaz Akışının Pirolitik Yakıt Verimine Etkisi.....	44
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	50
6. KAYNAKLAR.....	52
ÖZGEÇMİŞ.....	59

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

N	Azot
°C	Santigrat Derece
KOH	Potasyum Hidroksit
CH <sub>4</sub>	Metan
CO	Karbon monoksit
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
NO <sub>x</sub>	Azot oksitler
rpm	Dakikada devir sayısı
SO <sub>2</sub>	Kükürtdioksit
SF <sub>6</sub>	Kükürthekzaflorür
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Sülfürik Asit
HCl	Hidroklorik Asit

### Kısaltmalar

---

ASTM	Amerikan Standart Test Yöntemi
EN	Avrupa Standardı
ETKB	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
DIN	Alman Standartlaştırma Enstitüsü
DSİ	Devlet Su İşleri
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FTIR	Fouirer Transform Infrared Spektrofotometre
GC	Gaz Kromatografisi
HES	Hidroelektrik Enerji Santralleri
ISO/TC	International Organization for Standardization/ Technical Committee
REPA	Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası
YE	Yenilebilir Enerji
YEK	Yenilebilir Enerji Kaynakları

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 Dünya ceviz üretiminin kıtalara göre dağılımı.....	6
Şekil 2.2 Biyokütle madde kaynaklarının sınıflandırılması. ....	11
Şekil 2.3 Klasik ve modern biyokütle ayrımı.....	12
Şekil 2.4 Biyokütle, biyoyakıt ile biyoenerji arasındaki bağıntı. ....	12
Şekil 2.5 Biyokütlenin farklı yakıt formları. ....	13
Şekil 2.6 Biyodizel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi.....	15
Şekil 2.7 Transesterifikasyon reaksiyonu.....	17
Şekil 4.1 0,5 L/dk gaz akış hızında sıcaklık değişiminin etkisi. ....	41
Şekil 4.2 1 L/dk gaz akış hızında sıcaklık değişiminin etkisi. ....	42
Şekil 4.3 1,5 L/dk gaz akış hızında sıcaklık değişiminin etkisi. ....	43
Şekil 4.4 400°C’de 10°C/dk ısıtma hızında ürünlerin kütle oranı. ....	45
Şekil 4.5 450°C’de 10°C/dk ısıtma hızında ürünlerin kütle oranı. ....	46
Şekil 4.6 500°C’de 10°C/dk ısıtma hızında ürünlerin kütle oranı. ....	47
Şekil 4.7 550°C’de 10°C/dk ısıtma hızında ürünlerin kütle oranı. ....	48

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2.1</b> Dünya ceviz üretimi. ....	5
<b>Çizelge 2.2</b> Alkollerin basınç ve sıcaklık kritik değerleri. ....	17
<b>Çizelge 3.1</b> Pirolitik yakıtının analiz sonuçları. ....	39
<b>Çizelge 4.1</b> 0,5 L/dk gaz akışında piroliz deneyleri sonucu. ....	40
<b>Çizelge 4.2</b> 1 L/dk gaz akışında piroliz deneyleri sonucu. ....	41
<b>Çizelge 4.3</b> 1,5 L/dk gaz akışında piroliz deneyleri sonucu. ....	42
<b>Çizelge 4.4</b> 400°C’de gaz akış debisine bağlı olarak ürünlerinin oranı. ....	44
<b>Çizelge 4.5</b> 450°C’de gaz akış debisine bağlı olarak ürünlerinin oranı. ....	45
<b>Çizelge 4.6</b> 500°C’de gaz akış debisine bağlı olarak ürünlerinin oranı. ....	46
<b>Çizelge 4.7</b> 550°C’de gaz akış debisine bağlı olarak ürünlerinin oranı. ....	48

## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 2.1</b> Tanaka flash point.....	26
<b>Resim 2.2</b> Kalorimetre ıka cihazı.....	26
<b>Resim 3.1</b> Piroliz reaktörü.....	32
<b>Resim 3.2</b> Precisa Lt620c hassas terazisi.....	33
<b>Resim 3.3</b> Ayırma hunisi. ....	33
<b>Resim 3.4</b> Evaporatör cihazı. ....	34
<b>Resim 3.5</b> Metilen klorür (diklorometan). ....	34
<b>Resim 3.6</b> Deneyde kullanılan kırılmamış ceviz kabuğu.....	36
<b>Resim 3.7</b> 2-4 mm aralığında eleme işlemi.....	36
<b>Resim 3.8</b> 2-4 mm aralığında elenmiş hali.....	36
<b>Resim 3.9</b> Piroliz öncesi.....	37
<b>Resim 3.10</b> Piroliz sonrası. ....	37
<b>Resim 3.11</b> Reaktörden çıkan toplam sıvı.....	37
<b>Resim 3.12</b> Yakıtın süzülme işlemi. ....	37
<b>Resim 3.13</b> Yakıttan suyun uzaklaştırılması.....	38
<b>Resim 3.14</b> Yakıttan atılan su miktarı.....	38
<b>Resim 3.15</b> Evaparatör ile diklorometanı uzaklaştırma işlemi. ....	38
<b>Resim 3.16</b> Üretimi gerçekleşen pirolitik yakıt. ....	39

## 1. GİRİŞ

İnsan varlığının en önemli ve en temel ihtiyacı enerjidir. Petrol kaynaklı yakıtlar, 20. yüzyılda ve 21. yüzyılın başlarına gelindiğinde özellikle taşımacılıkta yaygın bir kaynak olarak kullanılmaktadır. Dünyanın sahip olduğu toplam enerji üretiminin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan üretilmektedir (Holbein *et al.* 2004). Dünya rezerv oranları açısından değerlendirildiğinde de, petrole eşdeğer olarak, %14 doğalgaz, %68 kömür ile %18 petrol olduğu hesaplanmıştır (Vogel 1999). Yapılan çalışmalara göre: doğalgazın 62, petrolün 41, kömürün ise önümüzdeki 218 yıl içinde biteceği ön görülmektedir (Alptekin vd. 2006). Enerjinin üretilmesi noktasında yaygın olarak değerlendirilen fosil kaynaklı yakıtların (petrol, kömür ve doğal gaz) azalması ile birlikte fosil yakıtların elde edilmesi ve işlenmesi için yeryüzünden daha derinlere inilme gereksinimleri doğmuştur. Fosil kökenli yakıtlarla ilgili yapılan araştırmalar sonucunda; dünyada kullanılmakta olan enerji, fosil yakıtlardan meydana gelen enerji hızının yaklaşık olarak 300 bin katına eşdeğer olduğu görülmektedir. Bunu şöyle ifade edecek olursak; günde yaklaşık olarak bin yıllık fosil yakıt oluşumu harcanmaktadır. Böyle bir durum ise dünyada harcanmakta olan fosil kaynaklı yakıtların giderek tükeneceğini ve enerjiye ihtiyaç duyan ülkelerin yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji kaynakları yollarına yönlendirmektedir (Kaya 2018).

Günümüzde kullanılan petrol kökenli yakıtlara olan bağılılığı azaltmak ve fosil yakıtlardan elde edilen enerjinin büyük bir kısmını yenilenebilir yakıtlarla değiştirmek için geniş çapta araştırmalar yapılmaktadır. Yapılan araştırmalarda sadece fosil yakıtlarının azalması değil, buna paralel olarak, dünya talebinin yaklaşık %85'ini sağlayan birincil enerji için fosil yakıtların kullanılmasından kaynaklanan atmosferdeki CO<sub>2</sub> konsantrasyonunda ve CO<sub>2</sub> emisyonlarında da artışa neden olmaktadır. Sürdürülebilir büyüme ile atmosfere CO<sub>2</sub> eklenmesi nedeniyle insanlık tarihinde benzeri görülmemiş bir oranda ısınmayı artıracaktır (Sharma *et al.* 2015). Yine petrol kaynaklı gazların yanmasıyla bazı doğa için zararlı gazların; karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), kükürthekzaflorür (SF<sub>6</sub>) azotoksit türevleri ile (NO<sub>x</sub>), kükürtoksit türevleri SO<sub>x</sub> ayrıca su buharı ve ozon (O<sub>3</sub>) gibi gazların salınımını artıracaktır. Küresel ısınmayla birlikte iklimde değişiklik meydana gelmesinde en büyük etken CO<sub>2</sub> gazının salınım oranının

önüne geçilememesidir (Özçiftçi ve Özbay 2013). Yenilebilir enerji kaynaklarına ulaşılmasında ve kullanılmasında birden fazla metot denenmiştir. Bu metotlar içinde yenilenebilir “Biyokütle Enerjisinin” değeri oldukça fazladır. Bitki ile hayvansal tabanlı maddeler biyokütle enerji kaynağında oldukça değerlidir (Özdemir ve Mutlubaş 2016). Biyokütle enerjisi; tükenmeyen bir kaynak olması ve hemen hemen her yerde yetiştirilebilmesi ile özellikle kırsal alanda bulunan bölgeler için hem ekonomik hemde sosyal büyümeye de destek olması açısından önemli bir enerji kaynağı olarak varlığı bilinir. Biyokütlenin hammaddesine örnek verilecek olursa, buğday, ağaç ve mısır gibi üretimi özel gerçekleştirilen bitkiler, yosunlar, evlerde oluşan atıklar sebze ile birlikte meyve atığı bütün organik içeriğe sahip çöpler, gübreler, endüstriyel atıklar ile birlikte hayvan dışkıları örnek verilebilir. Türkiye’de biyokütleden enerji elde etmek direkt yakılma veya farklı aşamalarda (piroliz, mayalanma, biyofotoliz, esterleşme, gazlaştırma ile hidroliz reaksiyonu) biyokütlenin yakıt kalitesinin artırılmasında kullanılan alternatif pirolitik yakıtlar (biyogaz, çöp gazı, biyodizel, biyoetanol) üretilmektedir (Topal ve Arslan 2008). Biyokütle yapı itibariyle esas olarak oksijen, hidrojen, karbon ve azottan meydana gelen bir hidrokarbon materyali olarak isimlendirilmektedir. İçerisinde bir miktar kükürtte bulunmaktadır. Aynı zamanda bazı biyokütle çeşitleri inorganik türlerin önemli bir kısmını taşır (Yaman 2004).

Biyokütle enerjisini klasik ve modern metotlar ana başlıkları olmak üzere iki başlıkta inceleyebiliriz. İlk olarak; ormanlarda yetişen ve yakacak olarak kullanılan odunlar iken diğeri yine yakacak olarak kullanılan hayvan ve bitki atıklarını kapsar. İkinci olarak modern biyokütle enerjisi; ağaçlarının endüstriyel atıkları, enerji ormancılığı ve tarıma dayalı bitkisel atıklar, tarımsal endüstri atıkları ile kentsel atıklar olmak üzere sınıflandırılabilir. Biyokütle atıklarından yakıt üretimi bu materyaller aracılığıyla işlenerek katı, sıvı ve gaz yakıtlara çevrilir (Demirtaş ve Gün 2007). Günümüzde üretilen alternatif yakıtlar, dizel motorlarda direk veya çok az bir değişim sonucunda kullanılan yakıt türlerindedir.

Alternatif yakıtların yakıt özellikleri dizel yakıtlarına benzerlik göstermektedir. Yakıt özellikleri içeriğinde bulunan oksijen yüzdesinin fazla olması, kükürt ve aromatik içeriğinin düşük olması, yağlama oranının yüksek oluşunun yanında setan sayısı ile

parlama noktasının yüksek olmasıdır. Bu yakıtların avantajları olduğu kadar dezavantajı da bulunmaktadır. Bunlar viskozite yoğunluğunun fazla olması, ısıl değerinin düşük olması, akma noktasının ve maliyetinin ise yüksek olmasıdır.

Bu çalışmada biyokütle kaynakları arasında yer alan ceviz kabuğunun fırınlarda ve sobalarda yakacak olarak kullanımının dışında alternatif bir enerji kaynağı olabileceği düşünülerek piroliz yöntemiyle (sıcaklık, ısıtma hızı ve azot akış hızı) yağ üretimi gerçekleştirmiş olup yağın hangi çalışma aralıklarında en iyi verimde üretildiğinin optimizasyonları gerçekleştirilmiştir. En iyi pirolitik yakıt verimin hangi sıcaklık değerlerinde gerçekleştirildiğine ilave olarak aynı zamanda ısıtma oranının, gaz akış hızının hangi şartlar altında en iyi performansa sahip olduğu da incelenmiştir.



## 2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

### 2.1 Ceviz

Ceviz (*Juglans regia* L) *Juglans* cinsinin en değerli türü olup, dünyanın en önemli ilk 10 bitkisi arasında yer almaktadır. Bu bitkinin hemen hemen her organı; meyvesi, ağaç kabuğu, odunu, yaprakları, yeşil meyve kabuğu ve hatta sert meyve kabuğu halk tarafından değerlendirilmektedir. Bunun yanı sıra yağ, karbonhidrat ve protein değerli mineral ve vitaminleri (A, B, C, E, K ve diğerleri) içinde bulunduran yüksek enerjili bir gıda türüdür (Muratbek ve Gözlekçi 2017). Sert kabuklu meyveler grubuna giren cevizin (*Juglans regia* L) öz vatanı Anadolu olarak bilinmektedir. Dünya üzerinde ceviz Türkiye'nin doğusundan, Azerbaycan, Nepal Dağları, Ermenistan, Pakistan, İran, Tibet'ten Merkez Asya'ya kadar yayılım gösterir. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2013 verilerine göre; 3.458.046 ton olan dünya ceviz üretiminde 1.700.000 ton ile ilk sırada Çin yer almaktadır, 453.988 ton ile ikinci sırada İran yer almaktadır, 420.000 ton ile üçüncü sırada ABD yer almaktadır ve dördüncü sırada Türkiye 212.140 ton ile bu üretimin %6,13'lük kısmına sahiptir (Yaman ve Uzun 2017).

#### 2.1.1 Ceviz Bitkisinin Genel Özellikleri

Oldukça fazla özelliğe sahip olan ceviz bitkisi, yağ ile protein açısından oldukça yüksek değerlere sahipken aynı zamanda besleyici özelliği de oldukça fazladır. Cevizin içeriğinde bulunan yağın büyük bir kısmı doymamış yağ asitlerinden oluşur. Linoleik asidin ceviz yağında fazla olması cevizin vazgeçilmez bir besin gıdası haline getirmektedir. İnsan vücudu, çoklu doymamış yağ asitlerinden olan  $\alpha$ -linolenik asidi (n-3) ve linoleik asidi (n-6) sentezleyemediği için çok önemli yağ asitleri grubu içerisinde yer almaktadır. Bahsi geçen yağ asitleri kesinlikle besinlerle alınmalıdır (Özrenk ve vd. 2011). Ceviz, protein bakımından zengin bir gıda olarak, hücre yaşlanmasını önleyen, hafızayı güçlendiren ve yaşlanmayı geciktiren B vitaminleri (B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>3</sub>, B<sub>5</sub> ve B<sub>6</sub>) ile E vitamini açısından oldukça zengin bir besin kaynağı deposudur (Kayahan vd. 2017).

Ceviz çekirdeği yaklaşık olarak %60 oranında yağ içermektedir. Çekirdek yağlarının büyük çoğunluğunu doymamış yağlardır. Kimyasal içeriği bakımından oldukça zengin bileşiklere sahip olan ceviz üzerinde yapılan araştırmalar artırmıştır. Ceviz, %13,8–22,5 değerinde protein, %56,5–70,7 oranında yağ ve %2 dolaylarında küle sahiptir. Ceviz içinin bileşiminde bulunan ve yağda çözünebilen A ve E vitaminlerden oluşurken, su ile çözünenler ise B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, C folikası, demir, mineraller ile birlikte çinko, fosfor, bakır ile magnezyumdan oluşur (Boz vd. 2017).

### 2.1.2 Ceviz Bitkisinin Dünya Ekonomisindeki Yeri

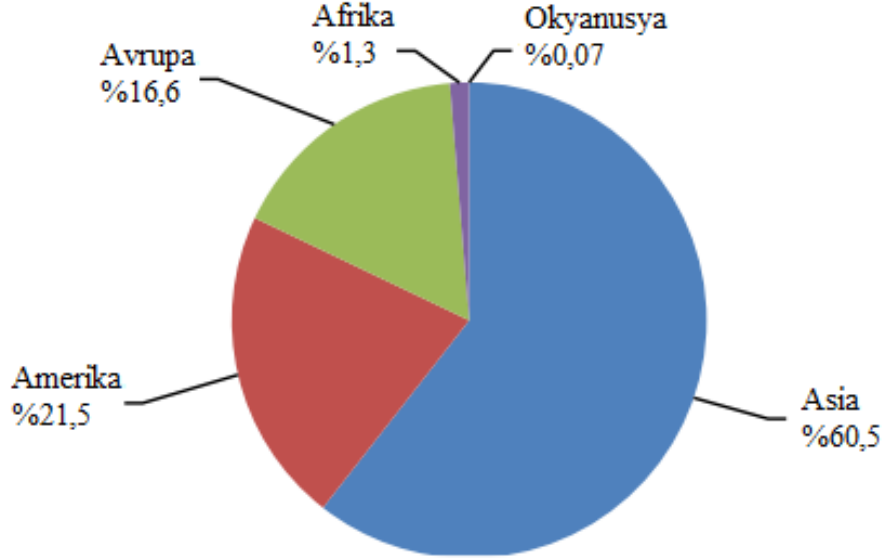
2013 yılına ait FAO istatistiklerine göre, 10 ülke dünya ceviz üretiminin %91,07'sini üretmektedir. Çin bu ülkeler arasında birinci sırada yer alan ve üretimiyle dünya üretiminin %49,16'sını gerçekleştirerek açık ara liderliğini sürdürmektedir (Çizelge 2.1) Dünya ceviz üretim miktarlarını ve oranlarını göstermektedir.

Çizelge 2.1 Dünya ceviz üretimi.

Ülkeler	Ton	Oran (%)
Çin	1.700.000	49,16
İran	453.988	13,12
ABD	420.000	12,14
Türkiye	212.140	6,13
Ukrayna	115.800	3,34
Meksika	106.945	3,09
Şili	42.668	1,23
Hindistan	36.000	1,04
Fransa	33.716	0,91
Romanya	31.764	0,91
Dünya	3.458.046	100,00

Bu ülkelerden Çin'i sırasıyla dünya ceviz üretiminin %13,12'sini İran, %12,14'ünü ABD, %6,13'ünü Türkiye ve %3,34'lük üretim yapan Ukrayna takip etmektedir. Dünya ceviz üretiminin kıtalara göre oransal dağılımı incelendiğinde; ceviz üretiminin

%60,5'inin Asya'da gerçekleştirildiği, bunu sırasıyla Amerika (%21,5), Avrupa (%16,6) ve Afrika (%1,3) kıtalarının izlediği görülmektedir (Şekil 2.1) (Muratbek ve Gözlekçi 2017).



Şekil 2.1 Dünya ceviz üretiminin kıtalara göre dağılımı (Muratbek ve Gözlekçi 2017).

### 2.1.3 Ceviz Bitkisinin Türkiye Ekonomisindeki Yeri

Kahramanmaraş ceviz üretiminde 10.631 tonla ilk sıralarda yer almaktadır. Kahramanmaraş'ı 7.336 tonla Karaman, 6.861 tonla Antalya, 6.323 tonla Aydın, 6.154 Bursa ve 6.067 tonla Mersin 6. sırada takip etmektedir. Mersin'de 10.495 dekar alanda yapılan ceviz üretiminde ağaç başına verim 41 kg ile 27,5 kg Türkiye ortalamasının üzerindedir (Arslan ve Aydın 2017). Türkiye'nin yıl bazında gerçekleştirdiği ceviz üretiminin 2014 yılında 180.807 ton seviyelerindedir ve çok fazla bölgemizde ceviz üretimi gerçekleştirilmektedir. Yurt dışında yapılan araştırmalarda Türkiye'nin güvenilir verim istatistikleri gerçekleştireceği objektif bir survey metoduna sahip olmadığı, üretim alanlarının çok dağınık olmasından dolayı meyve veren ağaç sayısı ve üretimin tespit edilmesinin oldukça zor olduğu belirtilmektedir. Uzman görüşleri ile yayınlara göre ülkemizin içinde bulunduğu üretimin tahmini 70.000 ton olduğu ve bunun 40.000 tonunun bölgesel, kişisel tüketim için kullanıldığı geriye kalan 30.000 tonunun ise ticari satışlarda değerlendirildiği vurgulanmaktadır (Kızılaslan ve Erdemir 2017).

## **2.2 Enerji ve Enerji Kaynakları**

Enerjinin genel tanımı; maddenin veya maddeler bütününe iş yapabilme yeteneği olarak ifade edilir. Enerjinin varlığı insanın doğası itibariyle en önemli ihtiyaçlarından birisi olmuştur. İlk zamanlar varlığına ihtiyaç duyulan ve farklı alanlarda kullanılan enerji, sanayileşmenin başlangıcıyla yeni bir boyuta ulaşmıştır. Enerjiye olan ihtiyaç sanayinin gelişmesiyle beraber şehir merkezlerindeki nüfusunda çoğalıp artmasına neden olmuştur. Böyle bir durum ise enerjiye olan bağlılığın daha da çoğalmasına sebep olmuştur. Enerjinin günümüzde artan önemi itibariyle insan hayatının vazgeçilmez bir kaynağı haline gelmiştir. Kaynaklarına göre enerji türleri; birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak iki grupta sınıflandırılmaktadır. Kaynak olarak kullanılan enerjilerin böyle sınıflandırmanın amacı kaynaklarının kullanım yöntemlerine göre yenilenemez enerji ile yenilenebilir enerji olarak ifade edilmeleridir. Başka bir ifade ile enerji kaynaklarının dönüştürülebilirliklerine bakıldığında, birincil ve ikincil enerji başlıkları altında isimlendirilirler (Yıldırım 2019).

Ülkelerin yüksek refah seviyelerine ulaşması noktasında enerji kaynaklarının önemi çok fazladır. Bu anlamda gelişmesini tamamlamış veya tamamlamakta olan ekonomiler için oldukça fazla avantajlara sahiptir. İlk olarak, enerji kullanımı ile ekonomik gelişme arasında doğru orantı vardır. Buna ek olarak, enerji kullanımı sanayileşme ve teknolojik gelişmelere de katkıda bulunmaktadır (Dinçer ve Yüksel 2019).

### **2.2.1 Yenilenemez Enerji Kaynakları**

Dünya’da üretimi gerçekleştirilen enerjinin sayısal verileri incelendiğinde %60’lık oranla fosil yakıtlarının büyük bir paya sahip olduğu görülmektedir. Fosil tabanlı yakıtların yanması ile elde edilen enerjinin üretimi sırasında çevreye salınımı gerçekleşen zehirli gazlar (NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> gibi gazlarla) atmosfer tabakasında dağılırlar. Bu gazların dışında kalan ve baca gazı olarak adlandırılan gazlar ise içerisinde bol miktarda hidrokarbon ile uçucu kül tortuları barındırmaktadır. Fosil yakıtlarının yanmasına bağlı olarak atmosfere salınımı gerçekleşen diğer zehirli gazlar ise şunlardır; kurşun, kadmiyum arsenik, nikel vb. Sera etkisinin meydana gelmesi

noktasında CO<sub>2</sub> gazının oranı oldukça önemli paya sahiptir. Yüzdesi artan CO<sub>2</sub> gazı yeryüzündeki sıcaklığın artmasına sebep olmakta ve böylece dengede olan iklim koşullarının değişmesine neden olmaktadır. Asit yağmurlarının oluşması gerçekleştiren gazlar ise atmosfer tabakasında bulunan su buharları ile reaksiyona girerek kimyasal oluşumunu tamamlayan NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> gazlardır. Asit yağmurlarının meydana gelmesi dünya ekolojisinde ciddi denge kayıplarına yol açmaktadır. Aynı şekilde fosil yakıtlarının fazla kullanılması sonucuna bağlı olarak birçok bölgede hava kirlilikleri artış göstermektedir (Kumbur vd. 2005).

Dünyada tercih edilen diğer fosil yakıtlarla kıyaslandığında bol miktarda bulunması çeşitlendirilmesi, ucuz ulaşılması ile güç üretiminde ekonomik olması kullanım sürecinde çok fazla tercih edilmesine neden olmaktadır. Dünyanın ihtiyaç duyduğu enerjinin %45'i petrol rezervlerinden elde edilmektedir. Türkiye'de kullanımı devam eden tüm enerji kaynaklarının içinde %44'lük bir değerle petrol öneminin değeri oldukça fazla gün yüzüne çıkmaktadır (Kumbur vd. 2005).

Doğalgaz doğada en temiz ve hızlı gelişim gösteren fosil yakıt türüdür. Çevresel faktörlere oranla, düşük miktarda karbon yoğunluğu ile hükümetlerin geçerli kabul ettiği sera gazı salınımlarının azaltılması hedefleri, diğer fosil kökenli yakıt kaynakları ile kıyaslandığında dünya ülkelerinin birçoğunda, endüstri sektörlerinde ve elektrik gücünde doğal gaz kullanım oranı oldukça cazibeli bir hale gelmektedir (Yılmaz 2015).

### **2.2.2 Yenilenebilir (Alternatif) Enerji Kaynakları**

Yenilenebilir enerji kaynaklarını genel olarak ifade edecek olursak. Öncelikle, güneş enerjisinden faydalanarak, güneş panelleri aracılığıyla elektrik üretilebilir. Ayrıca, rüzgâr enerjisinde rüzgâr türbinlerinin yardımıyla bu amaca katkıda bulunur. Güneş ve rüzgâr enerjisine ek olarak, biyokütle atıklarını yakarken biyokütle enerjisi üretilebilir. Aynı şekilde, suyun gücünü kullanarak, hidroelektrik enerji üretmek mümkündür. Son olarak ise jeotermal kaynaklardan sağlanabilecek jeotermal enerjidir (Dinçer ve Yüksel 2019).

Hidroelektrik enerji; su enerjisinin sahip olduğu potansiyel g¼c¼n kinetik enerjiye d¼n¼şt¼r¼lmesi ile meydana gelen enerjidir. Hidrolik potansiyel yağış miktarına bağlı olduğundan, hidrolik enerjide doğal olarak iklim koşullarındaki değişimlere karşı oldukça önemli bir enerji olmaktadır (G¼kdemir vd. 2012). Hidroelektrik Santrali (HES) doğal veya yapay olarak belli bir y¼kseklik kazanmış suyun akmasıyla t¼rbin, t¼rbin mili ve jenerat¼r aracılığıyla elektrik ¼retebilen tesislere verilmiş isimdir. Hidroelektrik Santrali diğer ¼retim t¼rleri ile karşılaştırıldığında çok daha d¼ř¼k maliyetli, daha y¼ksek verimli ve daha uzun işletme ¼mr¼ne sahiptir. HES'ler temel olarak ¼ç grupta incelenirler bunlar; baraj tipi (depolamalı), pompajlı rezervuarlı ve nehir tipi (doğal akışlı) olmak ¼zere ¼ç gruba ayrılırlar. T¼rkiye'de ise, baraj tipi ve nehir tipi HES'ler bulunmaktadır (Kavcıoğlu 2019).

2005'te y¼r¼rl¼đe giren, Yenilenebilir Enerji Yasası ile T¼rkiye'nin r¼zg¼r enerjisi alanındaki teknolojik ¼alıřmaları ile dikkatleri ¼zerine ¼ekmeyi başarmıştır (Erdal 2012). R¼zg¼r Enerjisi Potansiyel Atlasına (REPA) g¼re; T¼rkiye'nin sahip olduğu mevcut r¼zg¼r enerji potansiyelinin 48.000 MW olduğu bilinmektedir. Gerçek durumda ise; ¼zellikle 2007 yılından sonra hızlı bir ivmeyle artan r¼zg¼r enerjisi santrallerinin toplam sahip olduğu kurulu g¼c¼, Temmuz 2018 itibariyle ¼nceki yıllara g¼re 140,65 MW artarak 7012 MW'ta y¼kselmiřtir. Enerji Bakanlığı'nın 2015-2019 hedeflenmiş planına g¼re; 2019 yılına kadar bunun 10.000 MW olması, 2023 yılında ise 20.000MW olması hedeflenmiştir (Kavcıoğlu 2019).

Jeotermal kaynağını tanımlayacak olursak yer ısısı olarak adlandırılan, yer kabuğunun farklı derinliklerinde toplanmış ısının, kimyasal i¼erik oranına sahip sıcak su ile buhar ve gazlardan oluşur. Jeotermal enerjiyi yer k¼renin alt katmanlarındaki kayalar i¼erisinde toplanmış olan ısının akışkan maddelerce taşınarak toplama depolarında toplanıp oluşan sıcak suyla birlikte buhar ve kuru buhara suni yollarla ulaşılan ısı enerjisidir (Kılıç ve Kılıç 2013). T¼rkiye'nin mevcut coğrafi konumu itibariyle Alp Himalaya k¼resi ¼zerinde bulunmasından dolayı jeotermal potansiyeli a¼ısından oldukça b¼y¼k ¼neme sahip bir ¼lke konumundadır.

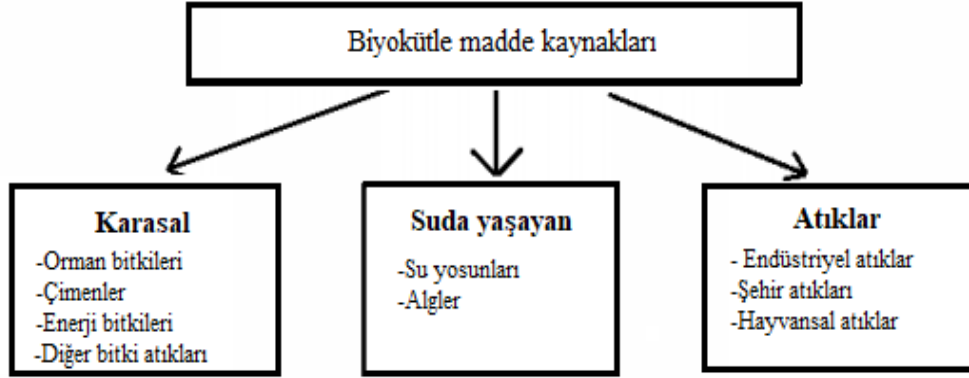
Dünya için önemi oldukça fazla olan güneşin yapısı incelendiğinde yaklaşık olarak %90'ını hidrojen ve güneş enerjisinden meydana gelirken, güneşte bulunan hidrojen gazının helyum gazına dönüşmesi şeklinde füzyon işlemi sonucunda ışınımı gerçekleştirilen enerjisi olarak adlandırılır. Güneş enerjisinden farklı dalga boylarına sahip enerji yayılımı gerçekleşmekte ve yayılan bu enerjinin yalnızca 2 milyarda bir tanesi dünya atmosferinden geçerek yeryüzüne ulaşmaktadır. Yayılan güneş dalgalarının %30'u dünyayı çevreleyen atmosfer yüzeyinden geri yansıtılırken, atmosferi aşan %50'lik orana sahip radyoaktif dalgalar yeryüzüne dağılır (Yılmaz 2015).

ETKB, günümüzde işletmeciliği devam eden 17.040 MW Kurulu olan hidroelektrik gücünü 2014 yılının sonunda %68 artırmayı amaçlarken, DSI tarafından inşaatı devam eden 3.566 MW ve özel sektör tarafından yapımı sürdürülen 8.000 MW hidroelektrik santrallerinin de yakın zaman diliminde devreye girmesiyle nemli bir potansiyele ulaşacağı hedeflenmektedir. Tam rekabetçi serbest bir enerji piyasası için üretim işlemi yapılan tesislerin resmileştirilmesine başlanmıştır. Toplamda 50 akarsu santralının ihalesinin gerçekleştirilmesiyle birlikte temeli atılmış 28 hidrolik santralin de ihale süreci başlatılmıştır (Erdal 2012).

### **2.2.3 Biyokütle Enerjisi**

Biyokütle enerjisi; fosil olmayan, biyolojik kökenli organik madde kütesidir. Biyokütle, tüm dünyada bulunan yenilenebilir bir alternatif enerji kaynağıdır. Biyokütle kaynakları genel olarak, bitki artıklarını, tarımsal bitkileri, orman kaynaklarını, özel enerji tesislerini kapsar. Biyokütle tüm tarımsal faaliyetler sürecinde artık olarak elde edilir. Tarımda mahsul ve meyve üretimi sırasında ekilebilir tarla bitkilerinden ve bahçe bitkilerinden birçok kalıntı elde edilebilir. Tarımsal mahsul üretimi esnasında biyokütle atıkları mahsul verimi ile doğrudan ilişkilidir. Üretilen mahsulün verimi arttıkça, oluşan atıklarda belli bir yüzdeyi temsil ettiğinden mahsul atıkları doğal olarak artacaktır. Burada bahsedilen biyokütle artıkları, saman, sap, yaprak, dallar vb. Bahsi geçen parametre şartları biliniyorsa, biyokütleninde sahip olduğu enerji oranı hesaplanabilir (Avcioğlu *et al.* 2019). Biyokütlenin ham madde kaynaklarının çok çeşitli olduğu

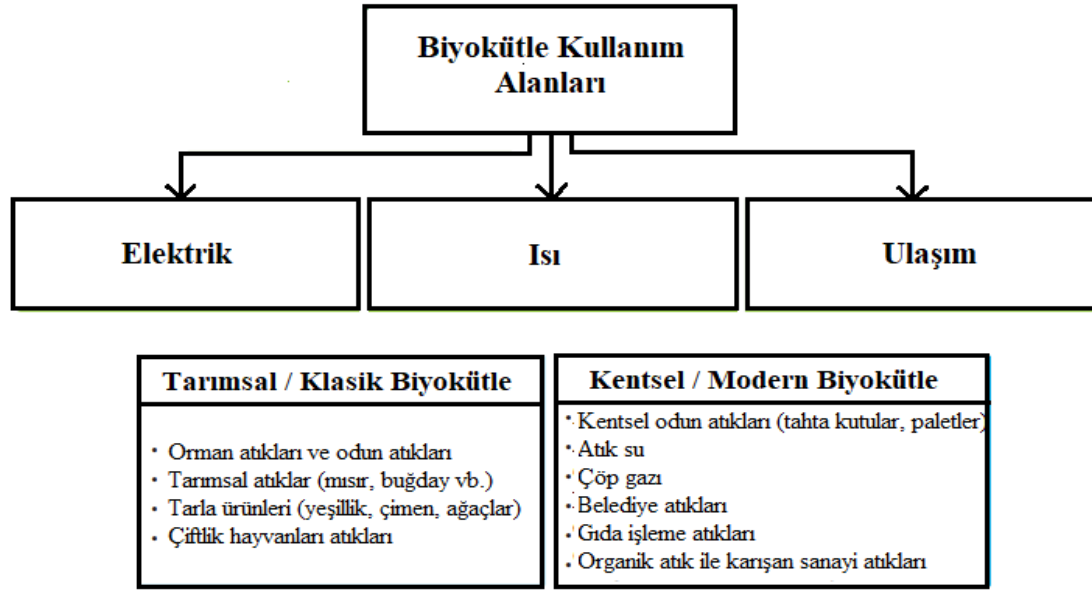
bilinmekle beraber genel anlamda su, karasal ve atıklardan meydana gelen üç türde sınıflandırılır. Şekil 2.2’de biyokütle kaynağı sayılan hammaddelerin sınıflandırılması (Sözen vd. 2017).



Şekil 2.2 Biyokütle madde kaynaklarının sınıflandırılması (Sözen vd. 2017).

Biyokütle enerjilerinin genelde üç farklı alanda kullanımı mevcuttur. Kullanım alanları; ısı, elektrik ile ağırlıklı ulaşım amacı olarak kullanılan biyoyakıt kullanım alanlarıdır (Şekil 2.3). Üretimin yöntemine göre biyokütle enerjisi modern ve klasik olmak üzere iki ayrı kategoride incelenirler. Modern biyokütle, biyodizel, bioetanol gibi ulaşım amacıyla harcanan sıvı yakıtlarının üretimi ile organik atıkların yakma, gazifikasyon ve piroliz gibi metotlar ile oksijenli ortamda veya oksijensiz ortamlarda yakılması ile enerji üretilmesi olarak adlandırılır. Klasik biyokütle adı altında ele alınan ürünler daha çok gelişmeye devam eden ülkelerde aydınlanma, ısınma ve yemek pişirmede kullanılan, odun, odun kömürü ve hayvansal artıklar olarak adlandırılır (Deloitte 2014).

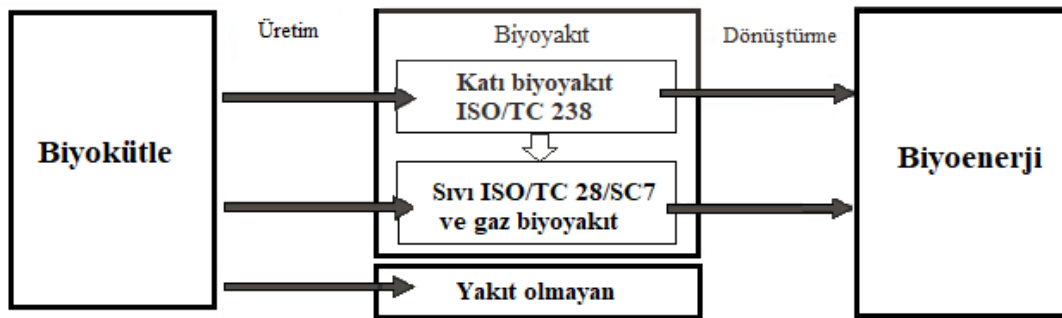




Şekil 2.3 Klasik ve modern biyokütle ayrımı (Deloitte 2014).

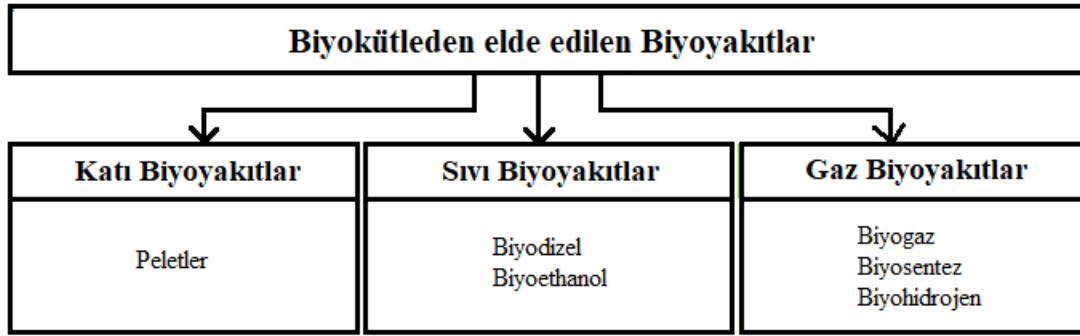
### 2.2.3.1 Enerji Kaynağı Olarak Kullanılan Katı Biyoyakıtlar

Biyokütleden katı, sıvı ve gaz olarak biyoenerji üretimi yapılabilmektedir. Bu yakıtların sınıflandırılması ISO/TC (International Organization for Standardization/Technical Committee) tarafından gerçekleştirilmiştir. Katı biyoyakıtlar ISO/TC 238 ile tanımlanırken, sıvı biyoyakıtlar ISO/TC 28/SC7’de adlandırılmıştır. Ülkemizde ise katı biyoyakıtlar, yakıt özellikleri ve sınıfları TS EN ISO 17225-1 özelliklerine göre değerlendirilmektedir. Şekil 2.4’de ISO TC 238’e göre biyokütle, biyoyakıt ve biyoenerji arasındaki bağıntı ifade edilmiştir (Sözen vd. 2017).



Şekil 2.4 Biyokütle, biyoyakıt ile biyoenerji arasındaki bağıntı.

Biyokütle kaynaklarını daha detaylı inceleyecek olursak bu kaynakların hayatımızın birçok noktasında görmekteyiz. Örneğin; ayçiçek, odun ve soya gibi yağlı tohum bitkileri, fındık kabuğu, buğday samanı, çay atıkları, tarımsal atıklar, atık kâğıtlar, zeytin çekirdeği ve posası, meyve sebze kabuğu gibi evsel organik atıklar, otlar; sap ve kök gibi diğer bitkisel atıklar, denizdeki algler, hayvan dışkıları, yosunlar, gübre ve sanayi atıkları, atık su arıtma tesisi çamurları biyokütle için kaynak oluşturmaktadır. Biyokütlenin dönüşüm sürecinde elde edilen pirolitik yakıtlar katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç kategoriden meydana gelir ve yatırımcılar için ek gelir kaynağı oluşturur (Şekil 2.5). Sektöründe hızla büyüyen biyokütle enerjisine benzeyen yeni teknolojilerin araştırılması hızlı bir şekilde devam etmektedir (Deloitte 2014).



Şekil 2.5 Biyokütlenin farklı yakıt formları (Deloitte 2014).

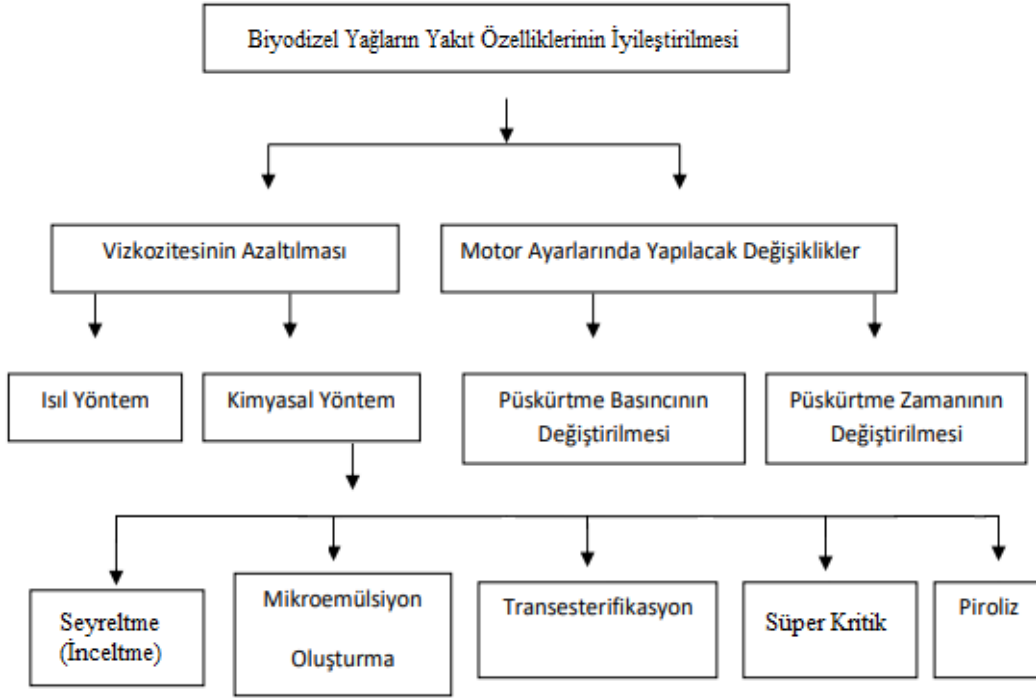
Biyokütle enerjisi çeşitli üstünlükleri ile öne çıkmaktadır. Bu üstünlükler şunlardır.

- Birçok alanda yetiştirilebilme
- Üretim ve işleme teknolojilerine sahip olunması
- Her durumda enerji üretimine uygun olması
- Düşük ışık şiddetinde yeterli verim
- Saklama ve depolanabilme özelliği
- 5-35°C arasındaki sıcaklık aralığında yeterliliği
- Sosyoekonomik alanlarda önemli gelişme olması
- Çevre kirliliği oluşturmama (NO<sub>x</sub> ve SO<sub>2</sub> salınımlarının çok düşük olması)

### 2.3 Biyokütleden Yakıt Elde Etme Yöntemleri

Biyodizel üretimi genellikle homojen katalizörlü sistemlerde transesterifikasyon reaksiyonuyla gerçekleştirilir (Mohadesi *et al.* 2019). Bitkisel yağlardan hidrokarbon kökenli dizel yakıtına benzer özellikte ve performansta yakıt üretebilmek için günümüze kadar birden fazla çalışma yapılmıştır (Arslan ve Alibaş 2015). Bitkilerden üretilen yağların uzun zaman aralıklarında kullanımı sonucunda enjektör birikintilerine sebep olabilmektedir ve bu yüzden motor yağının viskozitesinin azaltılması gerekmektedir bu durumda beraberinde birçok motor sorunlarının ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bitkilerden üretilen yağların kimyasal içeriklerinin iyileştirilmesi ile bu sorunlar giderilmektedir (Yıldız 2008). Atık kızartma yağları ile bitkilerden üretilen yağların yakıt özelliklerinin geliştirilmesi yoluna gidilerek atık yağların biyodizel olarak kullanılabilmesini sağlamak amacı ile bu doğrultuda çalışmalar yapılmaktadır (Şekil 2.6) (Nacar Koçer ve Durmuş 2019).

Bitkisel yağların yakıt karakteristiklerini iyileştirmek için kullanılan yöntemlerden birincisi, yağların yoğun olan viskozitelerinin azaltılmasıdır. Bitkisel yağların viskozitelerinin düşürülmesinde, kimyasal yöntem ve ısıl yöntem olmak üzere iki metot denenmektedir. Uygulanan ısıl işlemde, yakıt üretimi yapılan bitkisel yağların, sıcaklığını ön ısıtma işlemiyle yükselterek, viskozite yoğunluğunun azaltılması hedeflenmektedir (Yıldız 2008). Atık kızartma yağlarının ve bitkisel yağların pirolitik yakıt olarak değerlendirilebilmelerini gerçekleştirmek üzere geliştirilen iyileştirme yollarından ikinci aşama ise, motor ayarlarında yapılması beklenen değişikliklerdir. Motor ayarlarında yapılacak değişiklikler ise; püskürtme zaman ayarının ve püskürtme basıncının değiştirilmesi olarak tanımlanır (Alptekin vd. 2011).



Şekil 2.6 Biyodizel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi (Nacar Koçer ve Durmuş 2019).

Bitkilerden üretilen yağların yüksek olan viskozite değerlerinin azaltılmasında kullanılan kimyasal yöntemler ise beş farklı alt başlıkta incelenmektedir. Bunlar; inceltme, mikroemülsiyon oluşturma, transesterifikasyon, süper kritik ve pirolizdir (Nacar Koçer ve Durmuş 2019). 2015 yılı itibari ile dört alt başlıktan oluşan bu yöntemlere Süper Kritik yöntemi de ilave edilmiştir. Günümüzde gelişimi hızla devam eden bilim ve teknolojiler göstermektedir ki önümüzdeki yıllar içerisinde yeni yöntemlerinde bulunulması kaçınılmazdır (Arslan ve Alibaş 2015).

### 2.3.1 Seyreltme (İnceltme) Yöntemi

Seyreltme işleminde gerçekleştirilen olay, bitkisel kaynaklı ve kullanılmayan atık yağların belirli oranlarda dizel yakıtla veya kimyasal bir çözücü ile karıştırılıp inceltmesi olayıdır. Anlatılan bu karışımlardan günümüzde en yaygın olarak kullanılanı ise bitkisel yağın dizel yakıtla karıştırılması işlemidir. Bu durumda üretilen yağın viskozitesi düşürülmüş olup dizel yakıtının kullanımı oldukça azalmıştır (Tippayawong *et al.* 2012). Seyreltme metodu uygulama alanları içerisinde, en fazla tercih edilmekte olan

bitkisel yağlara örnek olarak aspir yağı, ayçiçek yağı, yer fıstığı yağıyla birlikte kolza yağı, soya yağıyla beraber kullanımını tamamlanmış atık halde bulunan kızartma yağlarını örnek olarak gösterebiliriz.

### **2.3.2 Mikroemülsiyon Oluşturma Yöntemi**

Mikroemülsiyon yöntemi, karışımı gerçekleşmeyen sıvıların iyonik veya iyonik olmayan organik karışımların (1-150 nm ölçülerinde) birbirleri ile oluşturdukları koloidal bir çözeltilidir. Mikroemülsiyon yöntemi uygulanarak günümüzde alternatif dizel yakıtlar üretilmektedir. Kullanılan metotta organik maddeler kısa zincirlerden meydana gelen alifatik alkollerdir (EtOH, MeOH) (Özdemir 2016). Bu yöntem ile hazırlanmakta olan pirolitik yakıtların ısıl değer oranları, alkol içermeleri sebebiyle dizel yakıtlara kıyasla daha küçüktür, bu durumda performansta biraz kayıplara sebep olabilir. Diğer bir durum ise alkolün buharlaşma ısısının yüksek olması yanma odalarında biraz soğumaya, bu durumda enjektör uç kısımlarında toplanan karbon gazı birikintilerinin eksilmesine sebep olmaktadır (Güler 2008). Bu yöntemde bitkisel yağın etanol, hekzanol, bütanal, metanol ve 1-bütanol gibi alkoller kullanarak mikroemülsiyonlar oluşturulur. Bahsi geçen çözücülerle yapılan mikroemülsiyon yöntemi, dizel yakıtının sahip olduğu yüksek setan sayısına ve düşük viskoziteye benzer yakıt elde edilmesine yardımcı olur. Bu yöntemde dezavantaj olarak tam yanma olayının gerçekleşmemesi, karbon kalıntılara sebep olması ve enjektörlerde oluşabilecek ateşleme problemlerinin yaşanmasıdır (Bilgin 2019).

### **2.3.3 Süper Kritik Yöntem**

Burada kullanılan yöntemde ise bitkilerden elde edilen yağların transesterifikasyon yönteminden farklı olarak, katalizöre ihtiyaç duymadan yüksek sıcaklık 340°C aralığında ve 250 saniye gibi çok kısa sürelerde işlemin gerçekleşmesidir (Albayrak 2014). Süper kritik yöntemde gerçekleşecek reaksiyon için kullanılacak alkolün sıcaklık kriteri ile basınç kriteri belirleyici bir etkidir. Çizelge 2.2'de kritik sıcaklık ve basınç değerleri gösterilmektedir.

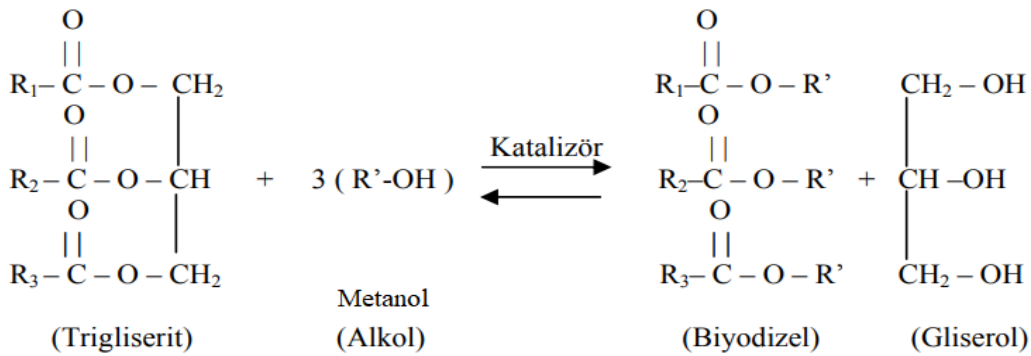
**Çizelge 2.2** Alkollerin basınç ve sıcaklık kritik değerleri.

Alkol	Kritik Sıcaklık (°C)	Kritik Basıncı (MPa)
1-Propanol	264,2	5,1
1-Bütanol	287,2	4,9
Metanol	239,2	8,1
Etanol	243,2	6,4

Bu yöntemde 340°C gibi yüksek sıcaklıkta çalışmanın esas amacı, sıcaklık ve basınç arasındaki bağlantının etkisiyle çözücü maddenin (metanol) viskozite, dielektrik katsayısının sabit olması, yoğunluk ile polarite özelliklerinin gerçekleşecek reaksiyona uygun hale getirilmesidir. Bu yönteme örnek verecek olursak kimyasal reaksiyonların birinci ve mühim parametresi olarak bilinen iyoniklik, arttırılmış basınçla iyileştirilebilir. Öyle ki bitkilerden üretilen yağların bu yöntemde metanolle tepkimesinde, metanolünde reaktif olarak gerçekleşmesinin yanında katalizörün asidik özellikte davranması doğal bir sonuçtur (Irgın 2019).

### 2.3.4 Transesterifikasyon

Transesterifikasyon bitkisel yağların (trigliseridlerin) viskozitelerini azaltmak amacıyla uygulanan bir seyreltme yöntemidir. Transesterifikasyon ile biyodizel üretim yönteminde harcanılan katalizörler bazik katalizör özelliğinde ise potasyum hidroksit (KOH), sodyum hidroksit (NaOH), asit özelliğine sahip katalizörler ise sülfürik asit (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ile hidroklorik asittir (HCl) (Arslan ve Alibaş 2015). Transesterifikasyon reaksiyonu Şekil 2.7’de görülmektedir.



**Şekil 2.7** Transesterifikasyon reaksiyonu (Şanlı ve Çanakçı).

Transesterifikasyon reaksiyonunun gerçekleşmesi için katalizör önemli bir role sahiptir; Transesterifikasyon reaksiyonunu hızlandırmak ve ester (biyodizel) dönüşümünü artırmak için genellikle asit, baz (alkali) ya da enzim gibi katalizör eşitleri kullanılmaktadır. Diğer katalizörlere göre oldukça hızlı olan baz katalizörler; düşük reaksiyon sıcaklığı ve alkol miktarı gereksinimi ve daha az korozif olması (aside göre) gibi özelliklerinden dolayı ticari biyodizel üretimlerinde (transesterifikasyon ile) ok yaygın olarak tercih edilmektedir (Demir 2018). Katalizör kullanmadan oluşan reaksiyonların tamamlanması, yüksek sıcaklıklar ve basınç gerektirirken, reaksiyon hızı da çok yavaştır ve biyodizel verimi oldukça düşüktür. Bu yüzden verimin yüksek olması için transesterifikasyon reaksiyonunda kesinlikle katalizör kullanılmalıdır. Biyodizel üretimi esnasında kullanılan katalizörler heterojen, homojen ve biyokatalizörler olmak üzere üç sınıfa ayrılırlar. Heterojen katalizörler, reaksiyon ortamı ile aynı fazda olmayan katalizörlerdir. Sıvı ortama eklenen katı metal oksitler, metalik katalizörler, heterojen katalizörlerdir. Homojen katalizörler, reaksiyon ortamı ile aynı fazda bulunabilen maddelerdir. Örneğin sülfürik asit veya sodyum hidroksit homojen katalizörler grubuna girer. Biyokatalizörler sınıfına ise algler, enzimler, mikrobiyal bakteriler, funguslar gibi biyolojik maddeler girmekle beraber homojen veya heterojen olabilirler (Akgl vd. 2017).

### **2.3.5 Piroliz İşlemi**

Piroliz sözcüğünün Yunanca anlamı ortamda herhangi bir gaz (yükseltgen ya da indirgen gaz) olmadan gerçekleştirilebilen ısıl parçalanma olarak tanımlanır. Organik maddelerin oksijen bulunmayan ortamda piroliz reaksiyonu işlemiyle ısıtılarak sıvı, katı ve gaz fazlarına parçalanması (bozundurulması) olayıdır. Isıl parçalanma işlemi genel olarak katı ve yakıt açısından incelendiğinde “karbonizasyon”, sıvı ya da gaz yakıtları açısından bakıldığı zaman “piroliz” işlemi olarak tanımlanmaktadır. Piroliz işlemi oksijensiz ortamda ısıl bozunma ile gerçekleştiğinde, (800°C-1100°C) sıcaklık aralığında olurken, gazlaştırma ile kıyaslandığı zaman daha düşük (500°C-800°C) sıcaklık aralığında meydana gelmektedir. Son halde üretme işlemi biten piroliz ürünlerindeki verim yapılan piroliz metotlarına göre değişmektedir. Pirolizi değiştiren parametreler ise, parçanın büyüklüğü, basınç, maddenin cinsi, sıcaklık, ortam ve ısıtma

hızı gibi parametrelerden meydana gelmektedir. Piroliz sonucunda ulaşılan bulgular enerji ve çeşitli kompozit ürünlerin üretilmesi amacıyla kullanılabilir (Üçgül ve Elibüyük 2014). Piroliz işlemi sonucunda elde edilen pirolitik yakıtın özellikleri, dizel yakıtına benzer özelliklere sahiptir; viskozite, parlama noktası ve akma noktası dizel yakıtından daha azdır. Dizelin setan sayısı piroliz işlemiyle üretilen pirolitik yakıttan daha düşüktür. Bu işlemle üretilen pirolitik yakıt, kükürt ve su içerir, aynı zamanda belirli oranda kül ve artık karbonda bulunur. Piroliz işleminin en büyük dezavantajı ise yüksek kurulum maliyetinin olmasıdır. Çalışma parametrelerine göre piroliz yöntemi üç alt kategoriye ayrılır (Singh *et al.* 2019).

- (A) Geleneksel piroliz
- (B) Yavaş pirolizi
- (C) Hızlı ve flash piroliz

#### **2.3.5.1 Geleneksel Piroliz**

Bu piroliz yönteminde, verimin yüksek, maliyetin düşük ve sistemin devamlı olduğu ürünler gaz, sıvı ve katıdır. Geleneksel pirolizin amacı genel olarak yüksek oranda katı verimlerine ulaşılmak istendiğinde uygulanmaktadır. 650°C'nin üzerindeki sıcaklıklar kullanılan gazın ürün verimini artırmak amacıyla tercih edilmektedir. Genellikle bu yöntemde ısıtma hızlarının düşük olması, açığa çıkan gazların hızlı piroliz işleminde olduğu gibi ortamdaki kolayca uzaklaştırılmaz (Doğanay 2019).

#### **2.3.5.2 Yavaş Piroliz**

Yavaş piroliz yönteminde biyokütleyi veya diğer adıyla bilinen kömür ocaklarını uzun zaman aralıklarında, oksijensiz ortamda yavaş gerçekleşen (1°C–10°C/dk), sıcaklık değerinin 400°C üzerinde ısıtılan devamlı sistemlerdir. Çar verimi açısından özellikle verimli kabul edilen bu yöntemde parçacık boyutları ile nem içeriğinin geçerli sayılacak oranda azaltılması pozitif değerler alabilme noktasında uygun olmakta, ancak yapılan bu süreç öteki piroliz uygulamaları için doğru olmamaktadır. Örneğin; parçacık boyutu ile nemin farklı olması hızlı ve normal piroliz uygulamalarında ürün verimliliği



açısından değerlendirildiğinde oldukça önem teşkil etmektedir. Günümüzde bilhassa metal endüstrisi noktasında gerekli olan katı yakıt üretilmesi noktasında yavaş pirolizden yararlanır. Yavaş piroliz yönteminden yaklaşık olarak kütlece; piroliz sıvısı %30, çar %35 ve sentez gaz %35 oranında üretilmektedir (Goyal *et al.* 2008).

### 2.3.5.3 Hızlı ve Flaş Piroliz

Hızlı gerçekleşen piroliz yönteminde, biyokütle türüne bağlı olarak pirolitik sıvısında, çar sentezi ve gaz verimleri noktasında, ayrıca parçacık boyutunda da değişiklikler olabilmektedir. Kullanılan parça boyutlarının artması ile ısı aktarım oranı düşmektedir, bu bağlı olarak üretilen çar yüzdesi artarken pirolitik sıvı ile gaz verimlerinde düşüş olmaktadır (Sharma *et al.* 2015). Genel olarak odunsu biyokütle türlerinin (ormandan doğan atıklar, talaşlar ve kavak atıkları vb.) pirolitik yakıt verimleri oldukça fazladır. Biyokütlenin orman atığı kaynağının dışında en yüksek verim sağladığı diğer bitki türleri ise kamışlardan ve tarım atıklarından (buğday, buğday samanı ve keten vb.) oluşmaktadır. Kullanılan hammadde kaynağında değişiklik olması ile pirolizdeki ürün verimleri de değişmektedir. Bu duruma örnek verecek olursak yapılan bir piroliz çalışmasında buğday sapı atığının sıcaklık değeri 400°C'den 550°C'ye çıkarıldığında oluşan piroliz sıvısının veriminde düzenli artışlar gözlenirken, başka kaynak olan keten ve testere talaşlarının karışımı pirolizinde 500°C'nin üzerine çıkıldığında, aynı piroliz sıvısı verimine ulaşamamıştır (Azargohar *et al.* 2013).

Flash pirolizde işleme süresi ile birlikte reaksiyon sıcaklığı da çok önemlidir. Flash piroliz işleminin 400°C'nin altında gerçekleştiği reaksiyonlarda reaksiyon yavaş olmakta ve gaz ile katı ürünleri meydana gelmektedir. Sıcaklık oranının 400°C-600°C arasında bir değerde artmasına bağlı olarak ise yoğunlaşan sıvı ürünlerinin miktarı yüksek seviyelere çıkmakta daha sonra düşme göstermektedir. Sıcaklık artışlarının devam etmesi ile gaz ürünlerindeki artış devam etmekte ve 650°C'den sonra sıcaklıkta ise gaz artık ana ürün seviyesine ulaşmaktadır. En yüksek ısıtma hızı 700°C'nin üzerindeki sıcaklık ile kısa alıkonma sürelerinde gaz ürünlerinin maksimum verimi kütsel olarak %80'e kadar çıkabilmekte bununla beraber bu sıcaklık değerinde de moleküler anlamda parçalanma çok hızlı gelişmektedir. İstenilen ürün türüne bağlı

olmakla birlikte Flash piroliz yöntemi genellikle 400°C-1200°C sıcaklıkları aralığında gerçekleştirilmektedir (Erşen 2011).

### **2.3.6 Pirolizi Etkileyen Faktörler**

#### **2.3.6.1 Piroliz Sıcaklığının Etkisi**

Pirolizi etkileyen en önemli parametrelerden bir tanesi piroliz sıcaklığıdır. Piroliz sıcaklığının önemi uçucu olan madde miktarının tertibini etkileyen önemli bir etkidir (Erşen 2011). Piroliz sıcaklığı ile birlikte katı, sıvı ve gaz miktarları değişmekle birlikte, bunların kimyasal bileşimlerinde de farklılıklar oluşmaktadır. Yapılan piroliz işlemi sonucunda eğer ki sıvı ürün oluşması isteniyorsa çalışma sıcaklık aralığının 400°C-650°C arasında tutulmalıdır. Çalışma aralığı bu sıcaklık değerinin altında tutulmuşsa daha çok ana ürün olarak katı madde oluşumu elde edilir. Reaksiyon başlangıcında sıcaklık ayarlaması 400°C-650°C sıcaklığının üzerine çıkılarak çalışılırsa bu seferde piroliz ana ürünü olarak gaz ürüne ulaşılmış olur (Emir 2014).

#### **2.3.6.2 Parçacık Boyutunun Etkisi**

Piroliz verimi parçacık boyutu ile etkilenir ve ısıtma hızı oranıyla doğrudan ilgilidir. Büyük parçalar ısıtma hızına bağlı olarak daha uzun sürede ısınmakta ve yaklaşık olarak partikül boyutunun sıcaklığı düşük olmaktadır. Yeterli oranda küçük olan partikül boyutlarında düzenli bir sıcaklık parametresi görülecektir (Erşen 2011). Parça boyutları fazla olan biyokütle atıkları için gaz dağılımının verimi, küçük parçacıklardan ulaşılan verimden çok çok fazladır. Kullanılan biyokütle parçalarının daha büyük oluşu uçucu maddenin alıkonma zamanını artırdığı için gaz ürün verimini çoğaltarak, katranın ikincil parçalanma reaksiyonuna katkıda bulunur. Biyokütle pirolizi işleminde büyük boyutlarda parçaların kullanılması piroliz reaksiyonu sırasında sadece parça yüzeylerinde gerçekleşirken, nispeten daha küçük biyokütle parçalarının kullanımına bağlı olarak ısı dağılımının sadece parça yüzeyinde değil parçanın her yerine yayıldığı ve böylece çok daha fazla biyoyakıt verimi elde edildiği görülmüştür (Kar 2018).

### **2.3.6.3 Isıtma Hızının Etkisi**

Biyokütle atığının piroliz işlemi süresince sıcaklığının artırılma hızıdır. Isıtma hızı biyokütle atığının pirolizi esnasında oluşan ürünlerin kimyasal bileşimini ve dağılımını etkileyen önemli bir faktördür. Isıtma hızının nispeten yüksek oranlara çıkarılmasıyla kısa ve orta alıkonma periyodunda maksimum gaz ürünü elde etmek için yüksek sıcaklıklara çıkılırken, maksimum sıvı ürünü elde etmek için düşük sıcaklıklarda tutulmalıdır. Isıtma hızları ile alıkonma sürelerinin düşük olması sebebiyle sıvı ve katı ürün verimi düşük sıcaklıklarda birbirine yakınken, gaz ürünlerindeki verim daha düşüktür. Bu olayın tam tersi durumunda yani yüksek sıcaklıklarda ise gaz ürünündeki verim sıvı ve katı verimine göre nispeten daha yüksektir (Emir 2014). Biyokütlenin pirolizi esnasında ürün dağılımını ve kimyasal bileşimini etkileyen önemli bir etkende ısıtma hızı oranıdır. Ürün dağılımında ısıtma hızı tek başına yeterli olmamaktadır. Bu nedenle ısıtma hızı oranı hesaplanırken sıcaklıkla birlikte alıkonma süreleri de dikkate alınmalıdır (Erşen 2011).

### **2.3.6.4 Sürükleyici Azot Gazı Akış Hızı ile Bekleme Süresi**

Piroliz sonucunda oluşan ürünlerin verimini etkileyen diğer parametrede ürünlerin reaktörde kalma süresidir. Ürünlerin reaktör içerisinde uzun süre kalmaları oluşan gaz ürünlerinin verimlerini arttırmaktadır (Emir 2014). Piroliz sırasında meydana gelen buharların piroliz ortamında alıkonma süresine denmektedir. Sıvı ürünlerindeki verimin yüksek olması için bu sürenin kısa olması gereklidir. Yanma sonucunda meydana gelen buharların bulunduğu ortamdan hızla uzaklaştırılması, gaz oluşması için teşvik edilen ikincil reaksiyonların gerçekleşmemesine neden olur. Ayrıca oluşan piroliz buharlarının cihaz içindeki alıkonma sürelerinin kısa olması koklaşma tepkimelerini önleyerek katı ve gaz ürünlerinin verimlerinde azalmaya, sıvı ürünün ise veriminde artışa sebep olmaktadır (Uzun vd. 2006).

## 2.4. Pirolitik Yakıt Özellikleri

### 2.4.1 Yoğunluk

Yoğunluk; birim hacimde harcanan yakıtın kütle miktarı olarak adlandırılır. Yakıtın genel yapısı hidrojen, karbon oranları ile yakıtın parçalanması ve tutuşma performansı hakkında bilgi verir (Karamanlı 2015). Dizel yakıtının kimyasal yapısı incelendiğinde farklı yoğunluklara ve çeşitli moleküler ağırlıklara sahip birden fazla hidrokarbon bileşiminden meydana geldiğini ve bu oranların yakıt bileşiminin bir fonksiyonu olduğunu görmekteyiz. Bu sebeple yoğunluk özelliği incelenecek olursa viskozite, setan sayısı, aromatik içerikle birlikte distilasyon karakteristikleri gibi değişkenlerle bağlantılıdır. Yakıt yoğunluğunun bir diğer özelliği ise; motor gücünü, yakıt tüketimi, hava-yakıt oranı ile püskürtme zamanını etkiler bütün bu özelliklerde is emisyon oranlarına etki eder (Albayrak 2014).

Silindirlere püskürtülen dizel yakıtın yoğunluğundaki artış oranı yakıtın kütlesi artıracığından daha zengin bir hava/yakıt karışımı oluşur buda is emisyonlarının daha yüksek olmasına neden olur. Özellikle yakıt yoğunluğunun yüksek ya da düşük olması bazı emisyonların oluşmasını (is, CO<sub>2</sub>, CO gibi) etkilemektedir. Ayrıca motor çıkış gücünde bir artış olması istendiğinde yakıt yoğunluğunun da buna paralel olarak yüksek tutulması gerekmektedir. Ancak, sabit bir motor çıkış gücü için (silindire püskürtülen yakıt miktarı sabit ayarlandığında), hacimsel olarak tüketilen yakıt miktarının artırılması, yakıt yoğunluğunun azalmasına sebep olur. Yakıt yoğunluklarının düşük olması motor gücünün performansında da azalmalara neden olur (Afşar 2015).

### 2.4.2 Viskozite

Viskozite sıvıların akmaya karşı göstermiş oldukları dirençle birlikte iç sürtünme oranının ölçüsüne denir. Dinamik ve kinematik viskozite olmak üzere iki gruba ayrılır. Dinamik viskozite; birbirinden uzaklığı 1 m olan iki yüzey arasında 1 m<sup>2</sup> alanında bulunan sıvı katmanının 1 m/s<sup>2</sup> hızla akması için gereken Newton kuvvetine denir. Kinematik viskozite ise akışkanın dinamik viskozitesinin aynı sıcaklık aralığındaki sıvı

yoğunluğuna oranıdır. Silindir içerisinde oluşacak yanma dizel yakıtının viskozitesini, uygun yakıt-hava karışımı aralığına getirilmesiyle gerçekleştirilir (Karamanlı 2015).

Basıncı ve sıcaklık özellikleri viskoziteyi etkileyen önemli parametrelerdir. Dizel yakıtının viskozite özelliği, enjektörden püskürtölen yakıtın karakteristiğini doğrudan etkilemesinden dolayı, motor içerisinde oluşacak yanmada bu parametreye bağlıdır. Viskozite oranı azaldıkça yakıtın borulardaki akış direnci azalmakta, püskürtme basıncı ile oluşan yakıt demetinin içinde bulunan yakıtların damlacık çapları küölmektedir. Buna bağlı olarak motorda yanma iyileşmekte ve oluşan is emisyonları azalmaktadır (Reşitoğlu 2010).

Yakıtın kinematik viskozitesinin istenen değerlerde olması, dizel araçlarında yakıt basıncı oluşturan enjeksiyon pompasının düzgün aralıkta çalışmasını sağlayacak şekilde yüksek olmalıdır. Enjeksiyon sisteminde düşük viskoziteye sahip yakıtlar yeterli oranda yağlama yapamazlar ve aşıntı ile sızıntıya yol açarlar. Tersi durumda yakıt viskozitesinin istenenden yüksek olması yakıtın enjektörlerden yeterince küçük damlalar halinde geçişine izin vermez bu şekilde iyi yanma ve buharlaşma oluşmaz. Bu olayda yanma olayının kötüleşmesine, egzozdan fazla is çıkmasına ve emisyon değerlerinin artmasına sebep olur (elik 2015)

### **2.4.3 Kükürt İçeriği**

Kükürt, işlenmemiş ham halde bulunan petrolün içerisinde doğal olarak bulunur ve rafineri edilerek bu işlemler sonucunda standart seviyelere düşürölür. Kükürt dizel yakıtının içerisindeki is emisyonlarının meydana gelmesini artırır ve taşıt emisyonlarının ölölmesini sağlayan kontrol ekipmanlarının etkisini artırır. Bu parametrelere bağlı olarak yakıtın kükürt içeriği HC, NO<sub>x</sub> ve CO emisyonlarında oluşmasını etkiler. Dizel yakıtlarının kükürt içeriği 500 ppm oranında olursa bu yakıtlar kükürtlü yakıtlar olarak adlandırılır. Kükürt içeriğinin 50 ppm'den az olduğu dizel yakıtlar düşük kükürtlü yakıt olarak adlandırılır. Dizel yakıtının kükürtsüz yakıt olarak ifade edilebilmesi için 10 ppm'den daha az kükürt içeriğine sahip olmalıdır. Yakıtın kükürt içeriğinin, is emisyonlarını üzerinde doğrudan etki gösterirken, HC, NO ve CO

emisyolları üzerine herhangi bir etki oluşturmadığı ifade edilmiştir. Yine yapılan başka bir çalışmada ise yakıtın kükürt içeriğinin azaltılması is, HC, CO ve azda olsa NO<sub>x</sub> emisyonlarını azaltmıştır (Afşar 2015).

#### **2.4.4 Setan Sayısı**

Dizel motorlarda setan sayısı, yakıtın tutuşma kalitesini artırmak için kullanılan yanma kalitesi ve tutuşma gecikmesini etkileyen önemli bir yakıt parametresidir. Setan sayısı motorda kullanılan dizel yakıtının tam performanslı yanmasını ve beraberinde motorun daha hızlı çalışmasını sağlamaktadır. Dizel motorlarda motorun daha kolay çalışması noktasında, pistonun sıkıştırma basıncı ile ortam sıcaklığı ve soğutucu sıcaklığına bağlı parametrelerin düşük olması sonucu motorun daha rahat çalışacağı ve yakıtın tam yanma işlemini gerçekleştirmesi noktasında da yüksek setan sayısına ihtiyaç duyulmaktadır (elik 2015).

#### **2.4.5 Parlama Noktası**

Bu zellik, oluşan biyodizelin ısıtılan yakıtın üzerinde meydana gelen yakıt buharı ve hava karışımlarının tutuşabileceği en kk sıcaklık değeri olarak ifade edilir. Biyodizel yakıtının en önemli özelliklerinden biride parlama noktası oldukça yüksek değere sahiptir. Yakıtın güvenliği ve depolanması açısından incelendiğince parlama noktası oldukça önemli bir parametredir. Yakıtın motorda yanması esnasında motor performansı açısından önemli bir değişlik sergilemez. Parlama noktasındaki varyasyonlar yanma kalitesini de çok fazla etkilemez (Kafadar 2010). Resim 2.1'de biyodizellerin parlama noktasının tayinini ölçmede kullanılan Tanaka Flash Point cihazı görülmektedir.



**Resim 2.1** Tanaka flash point.

#### **2.4.6 Isıl Değer**

Kütle başına alınan enerjinin yakıt birimini ifade eder. Bu değer ağırlık sınırlaması olan araçlarda çok önemlidir. Isıl değer oranı doymamış hidrokarbon zincirinin uzunluğu arttıkça artmaktadır. Doymamışlık oranı artışına bağlı olarak (hidrojen sayısı azaldıkça) ısıl değer oranında da azalma görülür. Üretilen biyodizel yakıtının ısıl değerindeki oksijen yüzdesinin fazla olması (yaklaşık %11) dizel yakıtına kıyasla çok daha düşüktür. Biyodizel yakıtının aynı şartlara sahip motorda kullanılmasıyla daha düşük güç ve torku elde edilmiştir. Aynı motor performansının elde edilmesi için enjeksiyon hacminin artırılması gereklidir. Bu durumda yakıt sarfiyatının artmasına sebep olur (Kafadar 2010). IKA Calorimeter System kalorimetre cihazıyla biyodizelin ısıl değerleri ölçülür. Resim 2.2’de Calorimeter IKA cihazı görülmektedir.



**Resim 2.2** Kalorimetre ıka cihazı.

#### **2.4.7 Uçuculuk**

Uçuculuk dizel yakıtının sıcaklığa bağlı olarak buharlaşma eğiliminin bir ölçüsü olarak kullanılmaktadır. Uçuculuk, düşük viskozite ve hızlı buharlaşmayı beraberinde getirmesi açısından dizel yakıtları için tercih edilen bir özellik olmakla birlikte, genel olarak uçuculuk yüzdesi arttıkça setan sayısı azaldığından, dizel yakıtları için uçuculuk çok fazla istenilen bir özellik değildir. Soğuk havalarda motorun kolayca çalışmasını sağlamak için yakıtın uçuculuk değeri oldukça önemlidir. Aynı zamanda yakıtın uçuculuk özelliğinin fazla olması, yanma olayının daha verimli ve dumansız gerçekleşmesini sağlar. Motorda en iyi gücü elde edebilmek için yakıtın uçuculuk özelliğinin az olması istenir, böylece yüksek hızlı motorlarda daha az duman oluşumu gerçekleşir (Albayrak 2014).

#### **2.4.8 Soğuk Akış Özelliği**

Biyodizelin en büyük dezavantajlarından birisi kristalleşme sıcaklığının dizele kıyasla daha yüksek sıcaklık aralığında olmasıdır. Bu durum soğuk hava şartlarında ki kristal oluşumuna, pompanın yakıtı düzgün bir şekilde pompalayamamasına ve motor performansına etki etmektedir. Doymuş yağ asitlerinin arasındaki moleküler etkileşim, doymamış yağ asitlerine kıyaslandığında yağ asitlerinin daha güçlü olmasından dolayı düşük sıcaklık aralığında kristalleşmeleri gerçekleşir (Irgın 2019). Yakıtın motor besleme ünitelerine zarar vermemesi için soğuk akış özelliğinin iyi olması gereklidir. Diğer türlü motorda ilk hareket esnasında problemler oluşmasına sebep olur (Balci 2009).

#### **2.4.9 Su İçeriği**

Biyodizel elde edilecek bitkisel yağlar temelde su içermezler fakat bitkilerden yağ üretilmesi ve depolanması noktasında bir miktar su karışımı gerçekleşebilir. Biyodizelin belli miktarda su içermesi motor için bir dezavantaj değildir. NO<sub>x</sub> emisyonları ile yanma sıcaklığının azaltılması için yakıt/su karışım oranının uygun aralıkta olması gereklidir. Fakat enjeksiyon basıncı yüksek olan sistemlerde su ve yakıt birbirinden



ayrılır ve ayrılan su enjektör sisteminin elemanlarında çürümelere neden olabilmektedir (Balcı 2009).

ASTM ve EN 14214 standartları gereğince üretilen bir kg biyodizel içerisinde bulunmasına müsaade edilecek maksimum su oranı 500 gr olmalıdır. Transesterifikasyon reaksiyonunda kullanılacak yağın tepkime öncesinde kurutulma işlemi yapılarak içinde bulunan eser miktardaki su yüzdesi uzaklaştırılır. Diğer yandan alkali katalizörler (KOH, NaOH) eşliğinde yürütülecek tepkimelerde alkol ve katalizör karışımında teorik olarak çok düşük miktarda su açığa çıkar. Bu duruma ilave olarak reaksiyonu tamamlanmış biyodizelin saflaştırılması basamağında su ile yıkama işlemi sırasında içerisinde bir miktar su oranı kalabilir (Aygün 2009).

## **2.5 Literatürde Yapılan Çalışmalar**

Sivas kangal linyiti kullanılan yapılan çalışmada; ilk olarak tüvenan daha sonra ise Reichert spirali ile zenginleştirilen kömürün piroliz işlemi gerçekleştirilmiştir. Piroliz sonucunda ulaşılan sıvı, katı ve gaz ürünlerinin verimleri hesaplanarak karşılaştırılmıştır. En iyi aralıkta gerçekleşen piroliz şartlarını belirlemek için 200 ml/dk N<sub>2</sub> gazı akışı ve 3°C/dk ısıtma hızı sabit tutularak; farklı tane boyutu, sıcaklık ve piroliz süreleri ile deneyler yapılmıştır. Bulunan optimum koşullarda lavenin de piroliz işlemi yapılmıştır. Ulaşılan bulgular sonucunda tüvenan kömüre göre, zenginleştirilmiş kömürün (lave) çar veriminin %14,26 oranında azaldığı, buna karşılık sıvı ürün veriminin %11,97 ve gaz ürün veriminin ise %2,29 arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Lave kömürün çarında kül içeriği azalırken, sabit karbon içeriği ve kalorifik değerinin arttığı gözlenmiştir. Zenginleştirme işleminin sıvı ürün verimi ve çar ürünün kalitesini olumlu yönde etkilediği sonucuna ulaşılmıştır (Aksoğan vd. 2019).

Biyokütle kaynağı olarak seçilen haşhaş küspesinden piroliz yöntemi ile biyoyağ eldesinde katalizörün biyoyağ ürün verimi üzerine araştırma yapılmıştır. Gerçekleştirilen piroliz işleminin tamamlanmasıyla gaz, sıvı ve katı ürünler elde edilmiştir. Piroliz basamakları sabit yataklı piroliz reaktöründe sıcaklığın 500°C'de ısıtma hızının ise 10°C/dk azot akış hızının 1 L/dk olduğu ve farklı oranlarda Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

katalizörü kullanılarak yapılmıştır. Gerçekleştirilen piroliz çalışmalarında %20 oranında katalizör kullanılarak en yüksek % 9,8 biyoyağ verimine ulaşılmıştır. Son halde ulaşılan biyoyağın FT-IR, GC-MS ile ısıl değer analizleri yapılarak karakterize edilmiştir. GC-MS sonuçları incelendiğinde biyoyağın alifatik, aromatik, keton, ester, fenol ve yağ asitleri gibi farklı fonksiyonel gruplara sahip bileşiklerden oluştuğu belirlenmiştir. FT-IR analizi GC-MS analiz sonuçlarını doğrulamıştır. Katalizör kullanımı biyoyağın ısıl değerini artırmış ve 30,57 MJ/kg olarak tespit edilmiştir (Hopa ve Yılmaz 2019).

Biyokütle kaynakları olarak seçilen tavuk gübresi ile keçi gübresinin saf ve farklı oranlarındaki karışım örnekleri piroliz edilmiştir. Gerçekleştirilen deneyler sabit yataklı ve vakum etkili piroliz reaktörlerinde yedi farklı sıcaklık (300°C-600°C aralığında) aralıklarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde oluşan piroliz deneylerinin sıcaklık, karışım ve verim özellikleri incelenmiştir. Sıvı ve gaz ürün verimlerinin sıcaklık artışına bağlı olarak arttığı, katı ürün veriminde ise azalma gözlenmiştir. Sabit yataklı reaktörde gerçekleşen en yüksek ürün tavuk gübresinden elde edilen (%58,90) biyoçar verimi 300°C piroliz sıcaklığında gerçekleştiği görülmüştür. Tavuk gübresinin biyoyağ veriminde (%29,80) en yüksek aralık ise 500°C sıcaklığında vakumlu piroliz reaktöründe gerçekleştirilmesiyle bulunmuştur (Erdoğdu 2018).

Fındık kabuğunun pirolitik yakıt üretmede biyokütle kaynağı olarak seçilmiş olup; sabit yataklı piroliz reaktöründe piroliz işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde piroliz sonucunda oluşan ürünlerin verimleri üzerine sıcaklık değerleri ile pirinç kabuğu eklenerek oluşan parametreler üzerine bir değerlendirme yapılmıştır. Gerçekleştirilen deneyler 400°C, 450°C, 500°C, 550°C sıcaklıklarında, 10°C/dk ısıtma hızında ve 1 L/dk akış hızında sürükleyici azot gazı (N<sub>2</sub>) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hesaplanan optimum çalışma sıcaklığı aralığında %5, %10, %15, %20 pirinç kabuğu ilavesi yapılarak katı, yakıt, su ve gaz ürün verimlerindeki değişimler gözlenmiştir. %15 pirinç kabuğu ilavesinin F10 yakıtına göre verimde %85,09 bir artış sağladığı belirlenmiştir. Dizel yakıtıyla belirli oranlarda karşılaştırıldığında motor momenti ve motor gücünde azalma olduğu, özgül yakıt tüketiminde ise artış olduğu sonucuna ulaşılmıştır. F10 yakıtı kullanımı is yoğunluğu, CO ve HC emisyonlarının azalmasına, NO ve CO<sub>2</sub> emisyonlarında ise artmasına sebep olmuştur (Akbulut 2018).

Özkan ve arkadaşları yapmış oldukları bu çalışmada, piroliz yöntemiyle çinkonun topraktan katı ürününe stabilize edilmesidir. Bu amaç doğrultusunda piroliz ve fitoremediasyon işlemleri uygulanmıştır. Çinkoyla kirlenmiş olan toprağın fitoremediasyon yöntemi uygulanarak, ayçiçeği (*Helianthus annuus*), kanola (*Brassica napus*) ve mısır (*Zea mays*) temizleme işlemi yapılmıştır. Bitkilerin hasatından sonra ısıtma hızının 35°C/dk ve sıcaklık değerinin 500°C olduğu sabit yataklı bir reaktör kullanılarak piroliz işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen fitoremediasyon verilerine göre, en yüksek fitoremediasyon oran veriminin %79 olduğu hesaplanmıştır. Piroliz işlemi sonucunda ulaşılan sıvı ve katı ürünleri özelliklerinin yansira, Zn bileşiklerinin de analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. Ulaşılan piroliz değerlerine göre, atık haline gelmiş biyokütlerde Zn içeriğinde meydana gelen katı ürünlerde stabilize edildiği sonucuna ulaşılmıştır (Özkan vd. 2015).

Demiral ve Çemrek Kul yaptıkları çalışmada kestane kabuğunun farklı çalışma koşulları altında piroliz işlemini gerçekleştirmişlerdir. 10°C/dk ısıtma hızında gerçekleştirilen piroliz deneylerinde meydana gelen katran sıvısı verim açısından değerlendirildiğinde, 350°C piroliz sıcaklığında %11,20 değerine çıkan katran verimi 400°C'de %14,08 ile en yüksek verimine ulaşmış, bu sıcaklık aralığından sonra azalarak 550°C'de %9,39 değerine inmiştir. 50°C/dk ısıtma hızında gerçekleştirilen pirolizde 350°C'de katran oranı %12,64 iken, 400°C'de en yüksek %15,06 seviyesine ulaşmış ve 550°C'de tekrardan verim %10,60 seviyesine düşmüştür. Oluşan katran veriminin belli bir sıcaklığa kadar yükselmesi ve daha sonra tekrar azalması ise sıcaklık aralığının artmasına bağlı olarak piroliz buharlarının ikincil tepkimelere dağılmasına bağlı olabilir. Bu deneyle ilgili olarak literatürde değişik biyokütle örnekleri ile yapılan çalışmalarda piroliz sıcaklık artışına bağlı olarak oluşan katran oranlarında, ilk olarak artış ve daha sonra sabit bir maksimum değerden sonra düşüş olayları gözlenmiştir (Demiral ve Çemrek Kul 2015).

Emir gerçekleştirmiş olduğu bu çalışmasında incir yaprağını sabit yatak haznesine sahip bir reaktör içerisinde hızlı pirolizleme işlemine tabi tutmuştur. Biyokütle kaynağı olarak tarımsal anlamda maddi bir kaynağı bulunmayan yan ürün olarak değerlendirilen incir yaprağını kullanmıştır. Sabit yataklı piroliz reaktörü içerisinde incir yaprağına

uygulanan hızlı pirolizleme deneylerinde ürün verimlerinin üzerine, sürükleyici etkiye sahip azot gaz akış hızını, parçacık boyut etkileri ve piroliz sıcaklığı araştırılmıştır. Yapılan deneyler piroliz sıcaklık aralıklarının 400°C, 500°C, 600°C, 700°C olduğu ve ısıtma hızının 200°C/dk zamanında gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda ürün verimlerindeki artışın büyük oranda piroliz sıcaklıklarına bağlı olduğu ve piroliz sonucu ortaya çıkan sıvı veriminin maksimum üretildiği, piroliz sıcaklığının da en uygun aralığının 600°C olduğu tespit edilmiştir. İncir yaprağının analiz değerlerine ulaşılan nem, uçucu madde miktarı, kül, hemiselüloz, sabit karbon yüzdesi, lignin, selüloz, holoselüloz, organik ekstrat değerleri ve elementel analiz sonuçları tespit edildi. İncir yaprağından pirolizi sonucunda elde edilen sıvı ürünün verimini, hangi çalışma şartlarının etkilediği incelendi (Emir 2014).

### 3. MATERYAL ve METOD

#### 3.1 Deney Düzeneği ve Kullanılan Ekipmanlar

Piroliz işlemi gerçekleştirilen bu çalışmada ceviz kabuğu kırma makinesi yardımıyla parçalanarak piroliz reaktöründe pirolitik yakıt üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen deneyde ağırlık oranı olarak 100 gr ceviz kabuğu numunesi ve sürükleyici gaz olarak azot gazı N<sub>2</sub> kullanılmıştır. Yapılan deneyler 400°C, 450°C, 500°C, 550°C sıcaklıklarında, 10°C/dk ısıtma oranında ve 0,5 L/dk, 1 L/dk ile 1,5 L/dk aralıklarında azot gazı akış hızında gerçekleştirilmiştir.

##### 3.1.1 Piroliz Cihazı

Piroliz cihazının ebatlarına uygun şekilde numuneler hazırlanmıştır. Piroliz işleminin gerçekleştirileceği cihaz 1000 gr numune kapasitesinde, 600x1200x1500 mm ölçülerindedir. Piroliz cihazı 100°C-600°C aralığında ve 1-10°C/dk ısıtma hızındadır. Piroliz reaktörü parçaları paslanmaz malzemeden yapılmıştır. Buhar fazı yoğunlaştırma ünitesi ve sıvı fazı toplanma haznesi ile iki parça gaz trap haznesi bulunmaktadır. Resim 3.1'de deney işlemlerinde kullanılan piroliz cihazı görülmektedir.



**Resim 3.1** Piroliz reaktörü.

### 3.1.2 Hassas Terazisi

Deneyleerde kullanımı gerçekleştirilecek olan ceviz kabuğu numunelerinin hazırlanması ve etimi aşamasında hassas ölçüm işlemine gerçekleştirebilen PRECISA LT620C modelinde laboratuvar terazisi kullanılmıştır. Kullanılan terazinin ölçüm hassasiyeti 0,01 mg seviyesindedir. Maksimum lm yapabileceği değer 620 gr iken, minimum ölçüm yapacağı değer 10 mg'dır. Resim 3.2'de deneysel çalışmalarda kullanılan hassas terazi görülmektedir.



**Resim 3.2** Precisa Lt620c hassas terazisi.

### 3.1.3 Ayırma Hunisi

Piroliz cihazından çıkarma işlemi yapılan numune, ısıl parçalarına ayrılma işleminde sonra yakıt, su, katı ve gaz olarak dört ayrı ürün sonucu elde edilir. Reaktörde yanma işlemi gerçekleşen ham numunenin bünyesinde bir miktar su bulunur ve reaksiyon işlemiyle birlikte bu su pirolitik yakıtın içerisine geçer. Elde edilen pirolitik yakıtın içerisinde bulunan suyu yakıttan ayrılması işlemi için Resim 3.3'te gösterilen ayırma hunisi aracılığıyla gerçekleştirilir.



**Resim 3.3** Ayırma hunisi.

### 3.1.4 Evaporatör

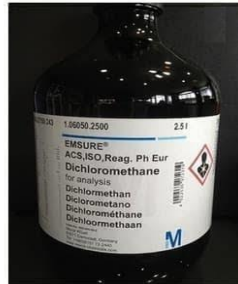
Pirolitik yakıt içerisindeki suyu ayırma işlemi yapıldıktan sonra yakıtı piroliz cihazı içerisinde almanıza yardımcı olan diklorometan sıvısının buharlaştırıp son halde pirolitik yakıt elde etmemize yardımcı olan makinedir. Oluşan yakıttan diklorometanı saflaştırmak için Heidolph markasına ait G3 modelinde evaporatör cihazı kullanılmıştır. Kullanılan evaporatör cihazı 15-285 rpm hız aralığında, 20°C-220°C sıcaklığı içerisinde çalışmaktadır. Resim 3.4'te kullanılan evaporatör görülmektedir.



**Resim 3.4** Evaporatör cihazı.

### 3.1.5 Diklorometan

Deneyleerde üretilen pirolitik yakıtın makineden alınmasında çözücü kimyasal olarak kullanılan metilen klorür (Diklorometan) ismiyle de adlandırılan  $CH_2Cl_2$  kimyasal özelliklere sahip çözücü tercih edilmiştir. Diklorometan'ın sahip olduğu molekül ağırlığı 84,93 g/mol, kaynama noktası ise 40°C ve donma noktası ise -95,1°C'dır. Resim 3.5'te Metilen klorür (Diklorometan) görülmektedir.



**Resim 3.5** Metilen klorür (Diklorometan).

### 3.2 Üretim Yöntemi

Pirolitik yağ üretimini gerçekleştirmek için kullandığımız ceviz kabukları Kayseri ili Develi İlçesine ait Fernor ceviz türünün kabuğu kullanılmıştır. Pirolitik yakıt üretim işlemi Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Laboratuvarlarında bulunan piroliz cihazında yapılmıştır. Pirolitik yakıt üretiminde kullanılacak ceviz kabukları kırma makinesinden küçük parçalara ayrılarak ve elekler yardımıyla boyutlandırılıp, parça boyut analizi yapılarak, hassas terazi yardımıyla 100 gr olarak tartılıp hazırlanmıştır.

Ceviz kabuklarını eleme işlemi için üç ayrı aralıkta elek kullanılmıştır. Bu eleklerin boyutları 0-2 mm, 2-4 mm ve 4-6,35 mm aralıklara sahip eleklerle eleme ve ayırma işlemi yapılmıştır. Deneyde kullandığımız parçacık boyutu ise 2-4 mm aralığına sahip eleklerle yapılan numuneden sağlanmıştır. 0-2 mm ve 4-6,35 mm aralıklardaki ceviz kabukları yürütülen deneysel çalışmalarda kullanılmamıştır. Piroliz işleminde 2-4mm boyutlarındaki ceviz kabuklarının optimum verim şartlarının belirlenmesi için piroliz cihazında sıcaklık değeri, sıcaklığın dakikadaki artış hızı ve gaz akış hızlarının değerlerinin belirlenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu yüzden sıcaklık değerini optimize etmek için dört ayrı sıcaklık aralığına uygun deneyler yapılmış olup her sıcaklık aralığı sonucunda ulaşılan katı, sıvı (yakıt), su ve gaz aralıkları değerlendirilmiştir.

Optimum sıcaklıkla çalışma aralığını belirledikten sonra gaz akış oranında belirlenmesi için 0,5 L/dk, 1 L/dk ve 1,5 L/dk gaz akışları arasında uygun gaz oranının 1 L/dk olduğu belirlenmiş olup ısıtma oranı bütün deney boyunca 10°C/dk olarak sabit tutulmuştur. Deneyde kullanmış olduğumuz akış gazı azot (N<sub>2</sub>) gazıdır. Yapılan deneyler sonucunda en iyi sıcaklık aralığı ve gaz akış hızı belirlenmiştir. Deneyin sıcaklık aralığı 500°C'de azot gaz akış hızınının 0,5 L/dk ve ısıtma oranının ise 10°C/dk olduğu gözlemlenmiştir. Resim 3.6'da deneyde kullanılan kırılmamış ceviz kabuklarının resimleri görülmektedir.





**Resim 3.6** Deneyde kullanılan kırılmamış ceviz kabuğu.



**Resim 3.7** 2-4 mm aralığında eleme işlemi.



**Resim 3.8** 2-4 mm aralığında elenmiş hali.

Resim 3.7 ve 3.8’de piroliz işlemi için ceviz kabuğunun hazırlanması görülmektedir. Kırılan ve 2-4 mm aralığında eleme işlemi yapılan ceviz kabukları 100 gr tartılarak piroliz cihazında yakma işlemi gerçekleştirilmiştir. Resim 3.9 ve 3.10’da ceviz kabuğunun piroliz önceki ve piroliz sonrası resimlerini görülmektedir.



**Resim 3.9** Piroliz öncesi.



**Resim 3.10** Piroliz sonrası.

Yakılma işlemi yapılan numunenin piroliz cihazından alınması işlemini gerçekleştirmek için diklorometan çözücüsü kullanılmıştır. Bu kimyasal çözücüyü kullanma sebebi ise üretilecek olan yakıtın buhar şeklinde makine içerisindeki hazne çeperlerine yapışan yağları çözmek ve yakıtın cihaz içerisinden temizlenmesini sağlamaktır. Biriken yakıt, su ve diklorometan karışımı ayırma kapları yardımıyla alınmıştır. Yakıtın içerisinde bulunan partikül maddeler ve yabancı cisimler süzme kağıdı yardımıyla süzülerek ayrılmıştır. Süzme işlemi sonrasında ayırma hunisi yardımıyla yakıtın içerisinde bulunan su yakıttan uzaklaştırılmıştır. Resim 3.11’de pirolitik yakıtın toplam sıvı hali, Resim 3.12’de içerisinde bulunan tortuları, katı atıkları süzme işlemi 3.13’de suyu yakıttan uzaklaştırma işlemleri ve Resim 3.14’de ise yakıttan uzaklaştırılan su gösterilmektedir.



**Resim 3.11** Reaktörden çıkan toplam sıvı.



**Resim 3.12** Yakıtın süzülme işlemi.





**Resim 3.13** Yakıttan suyun uzaklaştırılması.



**Resim 3.14** Yakıttan atılan su miktarı.

Ayrırma işlemini tamamladıktan sonra çözücü olarak kullanılmış diklorometan kimyasalını yakıt içerisinde uzaklaştırmak için evaporatör cihazı kullanılmıştır. Evaporatör cihazı içerisinde bulunan su 50°C sıcaklığında ve dönüş hızının ise 280 rpm aralığında olacak, çalışma aralığının ise 25 dakikada süre şeklinde ayarlanmıştır. Resim 3.15’de pirolitik yakıttan diklorometanın uzaklaştırılması işlemi görülmektedir. Evaporatörden ayırma işlemi gerçekleşen pirolitik yakıt Resim 3.16’da görülmektedir.



**Resim 3.15** Evaporatör ile diklorometanı uzaklaştırma işlemi.



**Resim 3.16** Üretimi gerçekleşen pirolitik yakıt.

Deneyi tamamlanan çalışmalar sonucunda üretilen pirolitik yakıt için bazı fiziksel özellikler belirlenmiştir. Fiziksel özelliklerin ölçümleri Afyon Kocatepe Üniversitesi; TUAM (Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi), TÜBİTAK, MAM (Marmara Araştırma Merkezi) ve Gıda mühendisliği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. 500°C sıcaklık, 0,5 L/dk sürükleyici azot gazı ve 10°C ısıtma hızıyla üretilen pirolitik yakıtın analiz özellikleri aşağıdaki Çizelge 3.1'de görülmektedir.

**Çizelge 3.1** Pirolitik yakıtının analiz sonuçları.

<b>Analiz</b>	<b>Birim</b>	<b>Analiz Raporu</b>	<b>Dizel</b>	<b>Analiz Metodu</b>
Kinematik viskozite	(mm <sup>2</sup> /s)	4,281	2,5-3,5	TS 1451 EN ISO 3104
Parlama Noktası	(°C)	62,0	>55	TS EN ISO 2719
Su	(mg/kg)	2,101	<200	TS 6147 EN ISO 12937
Yoğunluk	(g/cm <sup>3</sup> )	1,1645	0.82-0.845	PN EN ISO 3675
Kükürt	(ppm)	0,14	<0,05	TS 440 ISO 351

## 4. BULGULAR

### 4.1 Sıcaklığın Pirolitik Yakıt Verimine Etkisi

Cevizin kabuğu ile yapılan piroliz çalışmasında piroliz sıcaklığının değerlerini belirlemek için, sıcaklık aralığını 400°C-550°C arasında sıcaklık artış oranında 50°C'lik artırımlar yaparak, sabit gaz akış hızını (0,5 L/dk, 1 L/dk ve 1,5 L/dk) ve sabit ısıtma hızı (10°C/dk) oranında ayarlayarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.1'de sıcaklık aralığı 400°C-550°C oranında ve 10°C/dk ısıtma hızında olduğu gaz akış miktarının ise 0,5 L/dk olarak gerçekleştirilen piroliz deneyinin sonuçları görülmektedir.

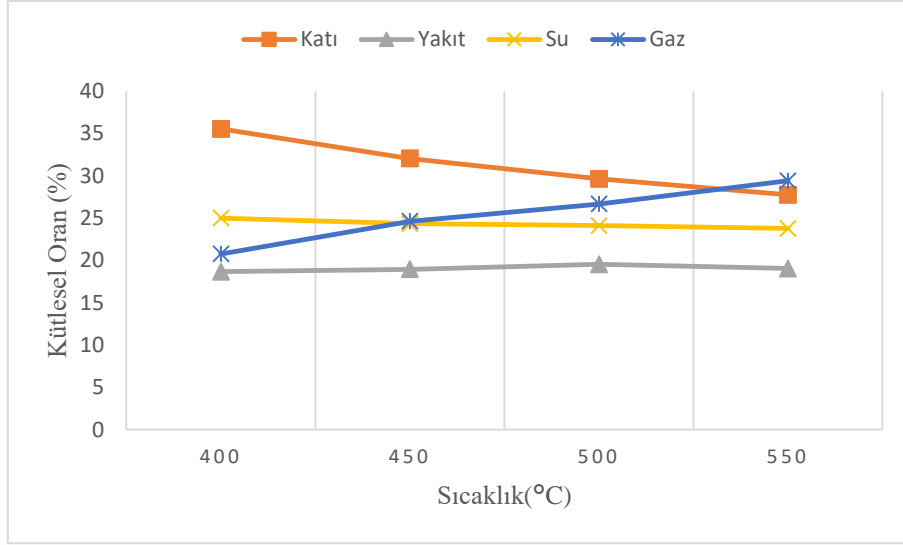
**Çizelge 4.1** 0,5 L/dk gaz akışında piroliz deneyleri sonucu.

Sıcaklık (°C)	Katı (%)	Yakıt (%)	Su (%)	Gaz <sup>x</sup> (%)
400°C	35,55	18,67	25,01	20,77
450°C	32,05	18,96	24,35	24,64
500°C	29,65	19,55	24,12	26,68
550°C	27,75	19,05	23,78	29,42

x Aradaki fark oranıyla hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1 farklı sıcaklık aralığında yapılan piroliz işlemlerinde ceviz kabuğunun katı, yakıt, su, ve gaz ürün değerlerini görülmektedir. Çizelgeden anlaşıldığı gibi sıcaklık artışına bağlı olarak katı üründe azalma gerçekleşmektedir. Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi 400°C'de katı ürün %35,55 iken, bu değer yüksek sıcaklıklarda örneğin 550°C'de %27,55'e düşmektedir.

Sıcaklık artışı katı üründe azalmaya sebep olurken yakıt ve gaz oranlarında artış görülmüştür. Yakıt verimindeki artış 400°C'den 500°C'ye kadar artarken sıcaklık artış oranının devam etmesi sonrasında tekrardan bir azalma görülmüştür. Bu oranlar arasında maksimum yakıt veriminin 500°C sıcaklık değerinde %19,55 olarak hesaplanmış ve bu değer aralığı yakıt verimi açısından optimum aralık olarak belirlenmiştir.



**Şekil 4.1** 0,5 L/dk gaz akış hızında sıcaklık değişiminin etkisi.

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi gaz oranında düzenli bir artış görülmektedir. Sıcaklık 400°C’den 550°C’ye çıkmasıyla gaz oranı %20,77’den %29,42’ye çıkmıştır. Yakıt veriminin çok iyi olduğu 500°C’de ise gaz oranı %26,68’dir. Çizelge 4.2’de sıcaklık 400°C-550°C oranında 10°C/dk ısıtma hızının olduğu ve gaz akış miktarının ise 1 L/dk olarak gerçekleştirilen piroliz deneyinin sonuçları görülmektedir.

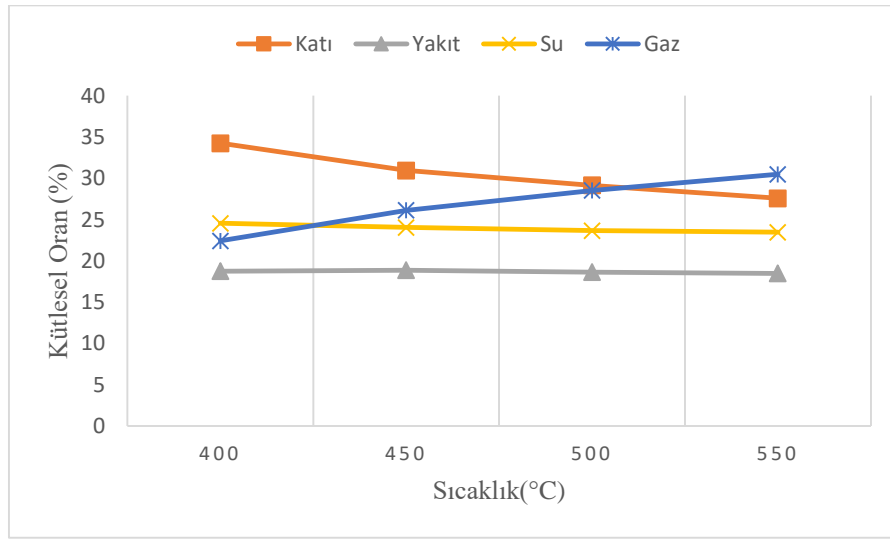
**Çizelge 4.2** 1 L/dk gaz akışında piroliz deneyleri sonucu.

Sıcaklık (°C)	Katı (%)	Yakıt (%)	Su (%)	Gaz <sup>x</sup> (%)
400°C	34,25	18,76	24,56	22,42
450°C	30,95	18,88	24,05	26,12
500°C	29,15	18,65	23,67	28,53
550°C	27,57	18,49	23,46	30,48

x Aradaki fark oranıyla hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2 farklı sıcaklık aralığında yapılan piroliz işlemlerinde ceviz kabuğunun katı, yakıt, su, ve gaz ürün değerlerini görülmektedir. Çizelgeden anlaşıldığı gibi sıcaklık artışına bağlı olarak katı üründe azalma gerçekleşmektedir. Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi 400°C’de katı ürün %34,25 iken, bu değer yüksek sıcaklıklarda örneğin 550°C’de %27,57’e düşmektedir.

Sıcaklık artışı katı üründe azalmaya sebep olurken yakıt ve gaz oranlarında artış görülmüştür. Yakıt verimindeki artış 400°C'den 500°C'ye kadar artarken sıcaklık artış oranının devam etmesi sonrasında tekrardan bir azalma görülmüştür. Bu oranlar arasında maksimum yakıt veriminin 450°C sıcaklık değerinde %18,88 olarak hesaplanmış ve bu değer aralığı yakıt verimi açısından optimum aralık olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.2 1 L/dk gaz akış hızında sıcaklık değişiminin etkisi.

Şekil 4.2'de görüldüğü gibi gaz oranında düzenli bir artış görülmektedir. Sıcaklık 400°C'den 550°C'ye çıkmasıyla gaz oranı %22,42'den %30,48'e çıkmıştır. Yakıt veriminin çok iyi olduğu 450°C'de ise gaz oranı %26,12'dir. Çizelge 4.3'de sıcaklık 400°C-550°C oranında 10°C/dk ısıtma hızının olduğu ve gaz akış miktarının ise 1,5 L/dk olarak gerçekleştirilen piroliz deneyinin sonuçları görülmektedir.

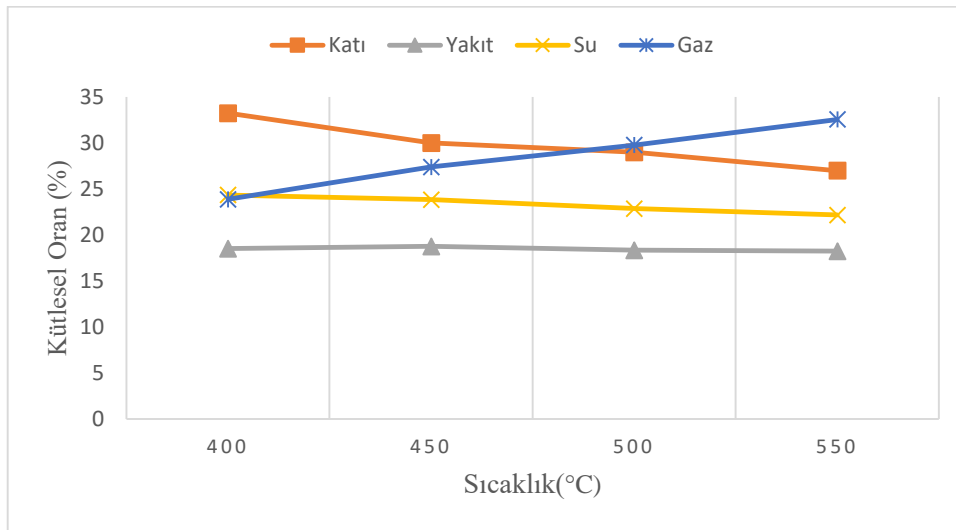
Çizelge 4.3 1,5 L/dk gaz akışında piroliz deneyleri sonucu.

Sıcaklık (°C)	Katı (%)	Yakıt (%)	Su (%)	Gaz <sup>x</sup> (%)
400°C	33,25	18,52	24,35	23,88
450°C	30	18,76	23,85	27,39
500°C	29	18,35	22,87	29,78
550°C	27	18,25	22,18	32,57

x Aradaki fark oranıyla hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3 farklı sıcaklık aralığında yapılan piroliz işlemlerinde ceviz kabuğunun katı, yakıt, su, ve gaz ürün değerlerini görülmektedir. Çizelgeden anlaşıldığı gibi sıcaklık artışına bağlı olarak katı üründe azalma gerçekleşmektedir. Çizelge 4.3’de görüldüğü gibi 400°C’de katı ürün %33,25 iken, bu değer yüksek sıcaklıklarda örneğin 550°C’de %27’e düşmektedir.

Sıcaklık artışı katı üründe azalmaya sebep olurken yakıt ve gaz oranlarında artış görülmüştür. Yakıt verimindeki artış 400°C’den 500°C’ye kadar artarken sıcaklık artış oranının devam etmesi sonrasında tekrardan bir azalma görülmüştür. Bu oranlar arasında maksimum yakıt veriminin 450°C sıcaklık değerinde %18,76 olarak hesaplanmış ve bu değer aralığı yakıt verimi açısından optimum aralık olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.3 1,5 L/dk gaz akış hızında sıcaklık değişiminin etkisi.

Şekil 4.3’de görüldüğü gibi gaz oranında düzenli bir artış görülmektedir. Sıcaklık 400°C’den 550°C’ye çıkmasıyla gaz oranı %23,88’den %32,57’e çıkmıştır. Yakıt veriminin çok iyi olduğu 450°C’de ise gaz oranı %27,39’dur.



## 4.2 Gaz Akışının Pirolitik Yakıt Verimine Etkisi

Gaz akış hızının oranları incelenirken sıcaklık oranları değiştirilmeden aynı sıcaklık (400°C, 450°C, 500°C, 550°C) oranlarında, sabit gaz akış hızının (0,5 L/dk, 1 L/dk ve 1,5 L/dk) ve 10°C/dk ısıtma hızı oranında ayarlamalar yapılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Burada yapılan karşılaştırmada ısıtma hızı ve sıcaklık değerlerini sabit tutarak farklı oranlarda kullanılan azot gazlarının katı, yakıt, sıvı ve gaz verimlerinin etkileri incelenmiştir.

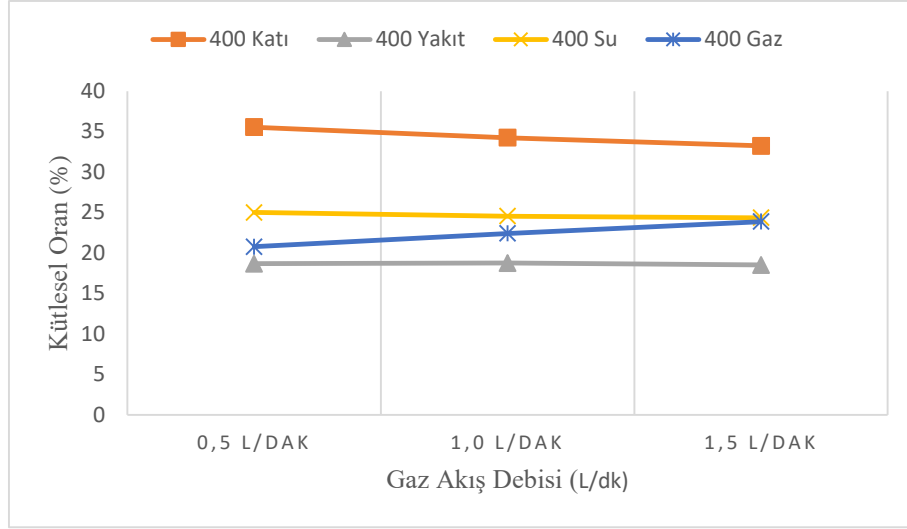
**Çizelge 4.4** 400°C’de gaz akış debisine bağlı olarak ürünlerinin oranı.

Sıcaklık(°C)	Oluşan Ürünler(%)	Gaz Akış Debisi		
		0,5 (L/dk)	1 (L/dk)	1,5 (L/dk)
400°C	Katı	35,55	34,25	33,25
	Yakıt	18,67	18,76	18,52
	Su	25,01	24,56	24,35
	Gaz <sup>x</sup>	20,77	22,42	23,88

x Aradaki fark oranıyla hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4 sıcaklık değerinin sabit 400°C’de olduğu ve farklı hızlarda kullanılan azot gazı akış debilerinde ürün verimlerinin birbiri ile kıyaslanması görülmektedir. Çizelge 4.4’te katı değeri 0,5 L/dk ile 1,5 L/dk hızlarında 35,55’ten 33,25’e azalırken gaz değerlerinde artış görülmektedir.

Yakıt verimindeki artış 0,5 L/dk, 1 L/dk 1,5 L/dk hızlarında bir miktar artış sonrasında ise tekrardan azalış göstermiştir. Bu oranlarda en iyi yakıt verimi 1 L/dk’da 18,76 olarak hesaplanmış ve bu oran 400°C’de yakıt verimi açısından optimum aralık olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.4 400°C’de 10°C/dk ısıtma hızında ürünlerin kütle oranı.

Şekil 4.4’de oluşan grafik eğrileri gaz akış hızlarının (0,5 L/dk, 1 L/dk ve 1,5 L/dk) olduğunda sıcaklık değerinin sabit 400°C tutulduğu ve 10°C/dk ısıtma hızında farklı gaz akış debilerinde katı, yakıt, su ve gaz verimlerinin oranları görülmektedir. Yakıt veriminin en iyi bulunduğu oran gaz akış debisinin (1 L/dk) olduğu aralıkta gaz değeri 22,42 iken su değeri ise 24,56’dır.

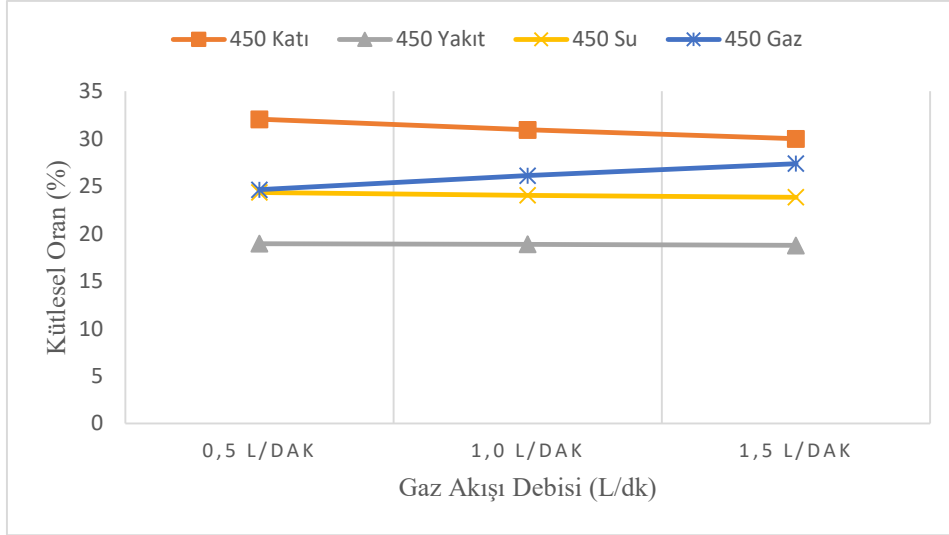
Çizelge 4.5 450°C’de gaz akış debisine bağlı olarak ürünlerinin oranı.

Sıcaklık(°C)	Oluşan Ürünler(%)	Gaz Akış Debisi		
		0,5 (L/dk)	1 (L/dk)	1,5 (L/dk)
450°C	Katı	32,05	30,95	30
	Yakıt	18,96	18,88	18,76
	Su	24,35	24,05	23,85
	Gaz <sup>x</sup>	24,64	26,12	27,39

x Aradaki fark oranıyla hesaplanmıştır.

Çizelge 4.5 sıcaklık değerinin sabit 450°C’de olduğu ve farklı hızlarda kullanılan azot gazı akış debilerinde ürün verimlerinin birbiri ile kıyaslanması görülmektedir. Çizelge 4.5’te katı değeri 0,5 L/dk ile 1,5 L/dk hızlarında 32,05’ten 30’a azalırken gaz değerlerinde artış görülmektedir.

Yakıt verimindeki artış 0,5 L/dk, 1 L/dk 1,5 L/dk hızlarında bir miktar artış sonrasında ise tekrardan azalış göstermiştir. Bu oranlarda en iyi yakıt verimi 0,5 L/dk'da 18,96 olarak hesaplanmış ve bu oran 450°C'de yakıt verimi açısından optimum aralık olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.5 450°C'de 10°C/dk ısıtma hızında ürünlerin kütle oranı.

Şekil 4.5'de oluşan grafik eğrileri gaz akış hızlarının (0,5 L/dk, 1 L/dk ve 1,5 L/dk) olduğunda sıcaklık değerinin sabit 450°C tutulduğu ve 10°C/dk ısıtma hızında farklı gaz akış debilerinde katı, yakıt, su ve gaz verimlerinin oranları görülmektedir. Yakıt veriminin en iyi bulunduğu oran gaz akış debisinin (0,5 L/dk) olduğu aralıkta gaz değeri 24,64 iken su değeri ise 24,35'dir.

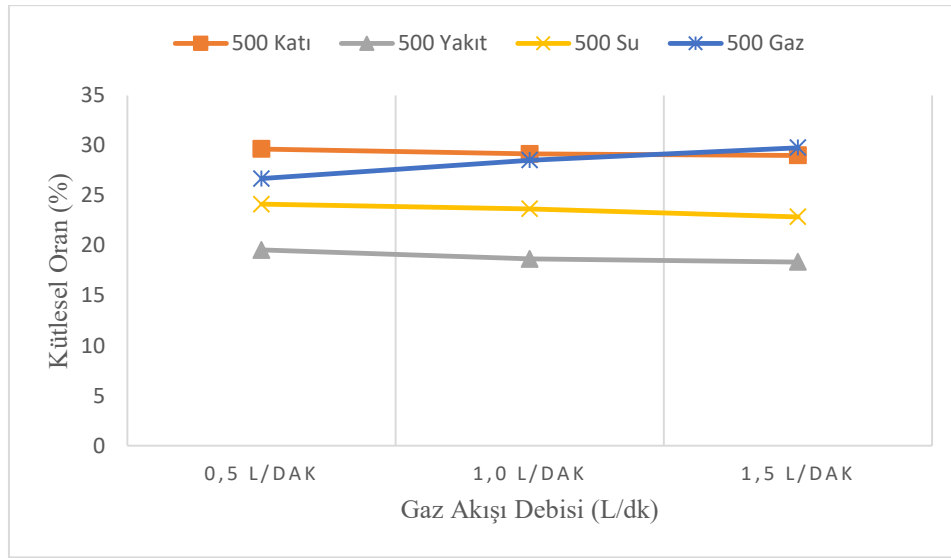
Çizelge 4.6 500°C'de gaz akış debisine bağlı olarak ürünlerinin oranı.

Sıcaklık(°C)	Oluşan Ürünler(%)	Gaz Akış Debisi		
		0,5 (L/dk)	1 (L/dk)	1,5 (L/dk)
500°C	Katı	29,65	29,15	29
	Yakıt	19,55	18,65	18,35
	Su	24,12	23,67	22,87
	Gaz <sup>x</sup>	26,68	28,53	29,78

x Aradaki fark oranıyla hesaplanmıştır.

Çizelge 4.6 sıcaklık değerinin sabit 500°C’de olduğu ve farklı hızlarda kullanılan azot gazı akış debilerinde ürün verimlerinin birbiri ile kıyaslanması görülmektedir. Çizelge 4.6’da katı değeri 0,5 L/dk ile 1,5 L/dk hızlarında 29,65’ten 29’a azalırken gaz değerlerinde artış görülmektedir.

Yakıt verimindeki artış 0,5 L/dk, 1 L/dk 1,5 L/dk hızlarında bir miktar artış sonrasında ise tekrardan azalış göstermiştir. Bu oranlarda en iyi yakıt verimi 0,5 L/dk’da 19,55 olarak hesaplanmış ve bu oran 500°C’de yakıt verimi açısından optimum aralık olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.6 500°C’de 10°C/dk ısıtma hızında ürünlerin kütle oranı.

Şekil 4.6’da oluşan grafik eğrileri gaz akış hızlarının (0,5 L/dk, 1 L/dk ve 1,5 L/dk) olduğunda sıcaklık değerinin sabit 500°C tutulduğu ve 10°C/dk ısıtma hızında farklı gaz akış debilerinde katı, yakıt, su ve gaz verimlerinin oranları görülmektedir. Yakıt veriminin en iyi bulunduğu oran gaz akış debisinin 0,5 L/dk olduğu aralıkta gaz değeri 26,68 iken su değeri ise 24,12’dir.

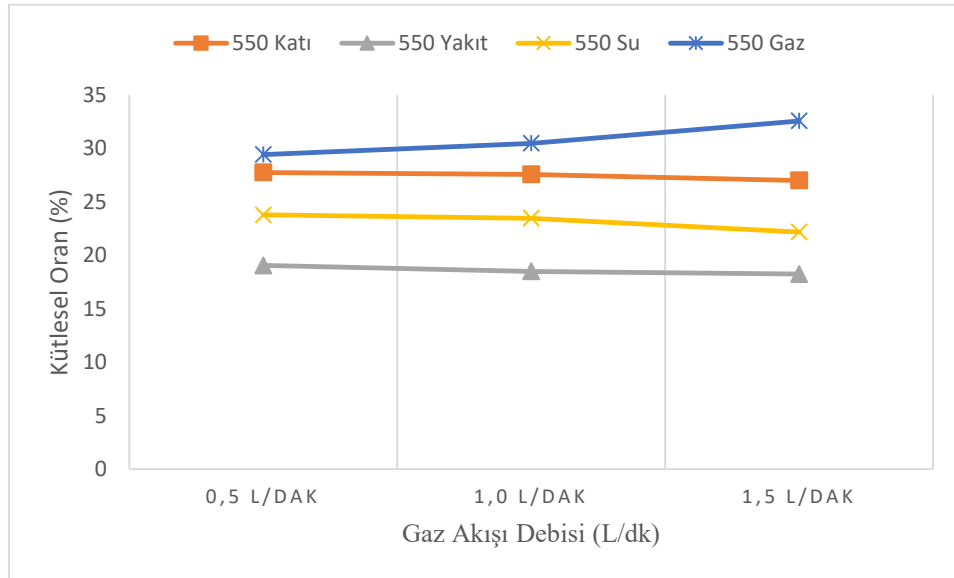
**Çizelge 4.7** 550°C’de gaz akış debisine bağlı olarak ürünlerinin oranı.

Sıcaklık(°C)	Oluşan Ürünler(%)	Gaz Akış Debisi		
		0,5 (L/dk)	1 (L/dk)	1,5 (L/dk)
550°C	Katı	27,75	27,57	27
	Yakıt	19,05	18,49	18,25
	Su	23,78	23,46	22,18
	Gaz <sup>x</sup>	29,42	30,48	32,57

x Aradaki fark oranıyla hesaplanmıştır.

Çizelge 4.7 sıcaklık değerinin sabit 550°C’de olduğu ve farklı hızlarda kullanılan azot gazı akış debilerinde ürün verimlerinin birbiri ile kıyaslanması görülmektedir. Çizelge 4.7’de katı değeri 0,5 L/dk ile 1,5 L/dk hızlarında 27,75’ten 27’e azalırken gaz değerlerinde artış görülmektedir.

Yakıt verimindeki artış 0,5 L/dk, 1 L/dk 1,5 L/dk hızlarında artış gösterirken bu oranlarda en iyi yakıt verimi 0,5 L/dk’da 19,05 olarak hesaplanmış ve bu oran 550°C’de yakıt verimi açısından optimum aralık olarak belirlenmiştir



**Şekil 4.7** 550°C’de 10°C/dk ısıtma hızında ürünlerin kütle oranı.

Şekil 4.7’de oluşan grafik eğrileri gaz akış hızlarının (0,5 L/dk, 1 L/dk ve 1,5 L/dk) olduğunda sıcaklık değerinin sabit 550°C tutulduğu ve 10°C/dk ısıtma hızında farklı gaz akış debilerinde katı, yakıt, su ve gaz verimlerinin oranları görülmektedir. Yakıt veriminin en iyi bulunduğu oran gaz akış debisinin 0,5 L/dk olduğu aralıkta gaz değeri 29,42 iken su değeri ise 23,78’dir.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Dünya nüfusundaki artışa paralel olarak insanların ihtiyaçları günden güne artış göstermektedir. Bu artışların en başında ise insanların en çok ihtiyaç duyduğu enerji kaynağı gelmektedir. Enerji insan doğası için vazgeçilmez bir ihtiyaçtır. Buna sebep olarak enerjiye olan bağıllık arttıkça enerji kaynakları da günden güne azalmaktadır. Bu nedenle ülkeler alternatif olabilecek yeni enerji kaynakları araştırma yollarına gitmişlerdir. Sunulan çalışmada değinildiği üzere halen otomotiv sektörünün yakıt ihtiyacını karşılamak için fosil yakıtlara alternatif olacak çalışmalar yapılmaktadır. Bu amaçla meyve kabukları (ceviz, fındık, kestane kabuğu vb.), organik atıklar ve endüstriyel atıkları piroliz yöntemiyle yakma işlemi yapıp pirolitik yakıt üretilerek ve motorlarda yanma işlemini gerçekleştirerek yeni çözüm yolları aranabilir.

Bu çalışmada biyokütle kaynakları arasında yer alan ceviz kabuğunun yakıt olarak kullanımının dışında alternatif bir enerji kaynağı olabileceği düşünülerek piroliz yöntemiyle (sıcaklık, ısıtma hızı ve azot gazı akış hızı) pirolitik yağ üretimi gerçekleştirmiş olup yağın hangi çalışma aralıklarında en iyi verimde üretildiğinin optimizasyonları gerçekleştirilmiştir. Piroliz sıvının ürün verimi beklenenden biraz düşük olmasına rağmen ceviz kabuğunun ucuz ve hammadde olarak bol miktarda bulunmasından dolayı yakıt eldesinde temin edilmesi oldukça kolay olmuştur. Sürükleyici gaz olan azot gazının akış hızı 0,5 L/dk, 1 L/dk, 1,5 L/dk aralığında ve yine sabit ısıtma oranlarıyla sıcaklık değerleri sırasıyla 400°C, 450°C, 500°C, 550°C derecede olacak şekilde deneyler gerçekleştirmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda en iyi pirolitik yakıt verimin sağlandığı optimum çalışma sıcaklığının 500°C, 0,5 L/dk azot gaz akış hızı ve 10°C/dk ısıtma hızında, %19,55 olduğu belirlenmiştir. Yakıt veriminin en yüksek gerçekleştiği bu değerlerde 0,5 L/dk diğer (katı, su, gaz) oluşan değerleri incelenecek olursa, katı (%35,55'ten %27,75'e) ve su (%25,01'ten %23,78'e) oluşumunda sıcaklık artışına bağlı olarak azalma görülürken oluşan gaz (%20,77'den %29,42'e) atığında doğal olarak artış görülmektedir.

Aynı şekilde en düşük yakıt verimin gerçekleştiği çalışma sıcaklığının ise 550°C, 1,5 L/dk azot gaz akış hızında ve 10°C/dk ısıtma oranında, %18,25 olarak bulunmuştur. Yakıt veriminin en düşük gerçekleştiği bu aralıklarda (1,5 L/dk) diğer (katı, su, gaz) oluşan değerleri incelenecek olursa, katı (%33,25'ten %27'e) ve su (%24,35'ten %22,18'e) oluşumunda sıcaklık artışına bağlı olarak azalma görülürken oluşan gaz (%23,88'den %32,57'e) atığında ise artış görülmektedir.

Ceviz kabuğundan piroliz yöntemiyle üretilen pirolitik yakıtın tane boyutu bu çalışma için 2-4 mm aralığında olup en yüksek verim %19.55 olarak bulunmuştur. Bu çalışma üzerine devam edilecek olursa başka tane boyutlarında (0-2 mm veya 4-6 mm) çalışılarak farklı verimler bulunabilir.

Çalışma sıcaklık aralığı da önemli bir kriter oluşturmaktadır. Bu çalışmada en yüksek verim 500°C değerinde olup verimin en iyi bulunduğu oran olarak kabul edilmiştir. Deneyde kullanılan piroliz cihazının sıcaklık aralıkları değiştirilerek daha yüksek veya düşük sıcaklıklarda daha iyi verimler elde edilebilir.

Piroliz cihazının içindeki numuneyi almadan önce bir miktar bekleme işlemi yapılmaktadır. Deneyde bekleme süresi 15 dakika olarak gerçekleşmiştir. Farklı bekleme süreleri de (5 dk, 10 dk, 20 dk, vb.) göz önüne alınarak başka deneylerde gerçekleştirilebilir.



## 6. KAYNAKLAR

- Afşar, M. (2015). Bir Dizel Motorda Atık Biyodizel Kullanımının Yanma Karakteristiklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akbulut, F. (2018). Fındık Kabuğundan Pirolitik Yakıt Üretiminin Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Akgül, G., Sözer, S., Culfa M. (2017). Atık Yağlardan Biyodizel Üretiminde Yenilikçi Biyokömür Katalizörü. Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, *Tübay Bilim*, **10**: 29-39.
- Aksoğan, Korkmaz, A., Bentli, İ. (2019). Kömür Zenginleştirmenin Piroliz Ürün Verimlerine Etkisinin Araştırılması. *Fırat Üniversitesi, Mühendislik Bilim Dergisi* **31**: 259-267.
- Albayrak, S. (2014). Biyodizelin Tek Silindirli Bir Dizel Motorun Performans, Emisyon ve Titreşimlerine Olan Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Alptekin, E., Çanakçı, M. (2006). Biyodizel ve Türkiye'deki Durumu. Kocaeli Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, *Mühendislik ve Makina* **47**: 561.
- Alptekin, E. ve Çanakçı, M. (2011). Hayvansal Kökenli Yağlardan Biyodizel Üretimi. VI. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu.
- Arslan, M., Alibaş, K. (2015). Laboratuvar Ölçekli Biyodizel Üretim Tesisinin Projelendirilerek İmal Edilmesi ve Bu Tesiste Çeşitli Bitkisel Yağ Kaynaklarından Biyodizel Üretimi. Uludağ Üniversitesi. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, **29**: 107-113.
- Avcıoğlu, A.O., Dayıoğlu, M.A., U. Türker. (2019). Assessment of the energy potential of agricultural biomass residues in Turkey. *Renewable Energy* **138**: 610-619.
- Arslan, R., Aydın, A. (2017). Mersin İli Ceviz Yetiştiriciliği Yapılan Alanların Toprak Özellikleri. *Yalova Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, **46**: 227-231.

- Aygün, A. (2009). Hint Yağından Biyodizel Eldesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Azargohar, R., Jacobson, K.L., Powell, E.E. and Dalai, A.K. (2013). Evaluation of properties of fast pyrolysis products obtained, from Canadian waste biomass, *Journal Analytical Applied Pyrolysis*, **104**: 330–40.
- Balcı, A.B., (2009) Menengiç Yağından Elde Edilen Biyodizelin ve Karışımlarının Yakıt Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bilgin, A. (2019). İyonik Sıvı Katalizörlüğünde Bitkisel Atık Yağlardan Biyodizel Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Boz, Y., Öztürk, A., Utku, Ö., Bıyıklı, M., Orman, E. (2017). Yalova Lokasyonu'nda Yetiştirilen Yerli ve Yabancı Ceviz Çeşitlerinin Bazı Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. *Yalova Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, **46**: 149–152.
- Çelik, M. (2015). Biyodizel Yakıt Özelliklerinin Motor Performansı ve Emisyon Karakteristiklerine Etkilerinin İncelenmesi. Doktora Tezi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Deloitte. (2014). Biyokütlenin Altın Çağı.
- Demir, V.G. (2018). Mikrodalga Isıtmalı Bir Biyodizel Reaktör Tasarımı ve Pilot Ölçekli Prototip Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Demiral, İ., Çemrek Kul, Ş. (2015). Kestane Kabuğunun Pirolizi ve Elde Edilen Ürünlerin Karakterizasyonu. Anadolu Üniversitesi, *Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **16**: 125-134.
- Demirtaş, M., Gün, V. (2007). Avrupa ve Türkiye'deki Biyokütle Enerjisi. Avrupa ve Türkiye'deki Biyokütle Enerjisi, *Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi*, **31**: 49-56.

- Dinçer, H and Yüksel, S. (2019). Balanced scorecard-based analysis of investment decisions for the renewable energy alternatives: A comparative analysis based on the hybrid fuzzy decision-making approach. *Energy*. **175**: 1259-1270.
- Doğanay, N. (2019). Alkol Katkılı Aspir Yağı Biyodizelinin Bir Dizel Motorunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Erdal, L. (2012). Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Yatırımları ve İstihdam Yaratma Potansiyeli. *Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi*, **41**: 1309-8012.
- Erdoğan, A.E. (2018). Vakum Piroliz ve Sabit Yataklı Piroliz Üniteleri Kullanılarak Hayvansal Atıkların Pirolyz ve İşlemlerin Tepki Yüzey Metodolojisi ile Optimizasyonu. Doktora Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Emir, Z. (2014). İncir Yaprağının Hızlı Pirolyz ve Ürün Verimini Etkileyen Faktörler. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Erşen, T. (2011). Odun-Polietilen Karışımlarından Dumansız Yakıt Üretim. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Goyal, H.B., Seal, D. and Saxena, R.C. (2008). Bio-fuels from thermochemical conversion of renewable resources. A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **12**: 504–517.
- Gökdemir, M., Kömürcü, M.İ. ve Evcimen, T.U. (2012). Türkiye’de Hidroelektrik Enerji ve HES Uygulamalarına Genel Bakış. İnşaat Mühendisleri Odası, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, **471**:19.
- Güler, K. (2008). Biyodizel Teknolojisi, Sistem Tasarımı ve Deneysel Olarak Biyodizel Üretimi. Yüksek Lisans Tezi Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Holbein B. E., Stephen J. D., Layzell D. B. (2004). Canadian Biodiesel Initiative. *Final Report*; Biocap Canada, Kingston, Ontario, Canada. 20543378
- Hopa, D.Y., Yılmaz, N. (2019). Haşhaş Kapsülü Küspesinin Sabit Yataklı Reaktörde Katalitik Pirolyz. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **17**: 581-588.

- Irgın, R. (2019). Haşhaş ( Papaver Somniferum L.) Yağından Biyodizel Üretimine Etki Eden Parametrelerin Optimizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Yozgat Bozok Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kafadar, A.B., (2010). Yağlardan Biyodizel Eldesine Etki Eden Faktörlerin Araştırılması. Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kar, T. (2018). Doğu Karadeniz Bölgesindeki Bazı Atık Biyokütle Karışımlarının Katalizörsüz ve Katalizörlü Pirolyzi ve Sıvı Ürünlerin Karakterizasyonu. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karamanlı, B.İ. (2015). Soya ve Fındık Yağı Karışımından Üretilen Biyodizelin Motor Performansına Etkisinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kavcıoğlu, Ş. (2019) Yenilenebilir Enerji ve Türkiye Renewable Energy And Turkey. *Finansal Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, **11**: 1309-1123, 209-227.
- Kaya, K., Şenel, M.Ş., Koç, E. (2018). Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi. *Technological Applied Sciences, Review*. **13**: 219-234
- Kılıç, F. Ç., Kılıç, M. K. (2013). Jeotermal Enerji ve Türkiye. *Mühendis ve Makine Dergisi*, **54**: 45-56.
- Kızılaslan, N., Erdemir, S. (2017). Kaman Ceviz Çeşidine İsmi Veren Kırşehir İli Kaman İlçesi’nde Ceviz Yetiştiriciliği ve Ceviz Üretim Faaliyetleri. *Yalova Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, **46**: 209–225.
- Kumbur, H., Özer, Z., H., Özsoy, D., Avcı, E.D. (2005). Türkiye’de Geleneksel ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli ve Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması. Çevre Mühendisliği Bölümü, 33343
- Mohadesi M., Aghel B., Maleki M., Ansari A., (2019). Production of biodiesel from waste cooking oil using a homogeneous catalyst. Study of semiindustrial pilot of microreactor. *Renewable Energy*, **136**: 677-682.

- Muratbek, A., Gözlekçi, Kyzy S. (2017). Kırgızistan'ın Ceviz (*Juglans Regia L.*) Potansiyeli. *Yalova Atatürk Bahçe Kültürleri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, **46**: 187–192.
- Nacar Koçer, N., Durmuş, B. (2019). Atık Yağlardan Elde Edilen Biyodizel Potansiyeli ve Gliserol Miktarının Belirlenmesi. Batman Üniversitesi, *Yaşam Bilimleri Dergisi*, **9**.
- Özçiftçi, A., Özbay, G. (2013). Mobilya endüstrisi atıklarından katalitik piroliz yöntemi ile biyoyakıt üretimi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, **28**: 473-479.
- Özdemir, Z.Ö., Mutlubaş, H. (2016). Biyodizel Üretim Yöntemleri ve Çevresel Etkileri. *Kirklareli University Journal Of Engineering And Science* **2**: 129-143.
- Özkan, A., Günkaya, Z., Banar, M., Kulaç, A., Yalçın, G., Taşpınar, K., Altay, A. (2015). Fitoremediasyon Sonrası Çinkoyla Kirlenmiş Biyokütlenin Pirolizi. Anadolu Üniversitesi, *Bilim ve Teknoloji Dergisi*, **16**: 385 – 393.
- Özrenk, K., Kaya, T., Balta, F., Kan, T. (2011). Van Gölü Havzası Cevizleri Bazı Pomolojik ve Kimyasal Özelliklerinin Karşılaştırılması. Iğdır Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Dergisi*. **1**: 15-22.
- Poyraz, Z. (2012). Pamuk Tarla Atığının Pirolizi. Dumlupınar Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **28**: 1302-3055.
- Reşitoğlu, İ.A. 2010. Atık Yağlardan Üretilmiş Biyodizelin Dizel Motor Performans ve Emisyonuna Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sharma, A., Wang, S., Pareek, V., Yang, H. Ve Zhang, D., (2015). Multi-Fluid Reactive Modeling Of Fluidized Bed Pyrolysis Process, *Chemical Engineering Science*, **123**: 311–21.
- Sharma, R., Pratik N., Sheth. (2015). Thermo-Chemical Conversion of Jatropha Deoiled Cake: Pyrolysis vs. Gasification. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, **6**.

- Singh, D., Sharma, D., Soni Sumit, S.L., Pushpendra, S., Sharma, K., Jhalani, A. (2019). A review on feedstocks, production processes, and yield for different generations of biodiesel. *Fuel*, **262**: 116553.
- Sözen, E., Gündüz, G., Aydemir, D., Güngör, E. (2017). Biyokütle Kullanımının Enerji, Çevre, Sağlık ve Ekonomi Açısından Değerlendirilmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, **19**: 148-160.
- Şanlı, H., Çanakçı, M. (2005). Dizel Motorlar için Yükselen Bir Alternatif Yakıt: Biyodizel. Kocaeli Üniversitesi, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi.
- Tippayawong, N., Chumjai, P., Preparation, A. S. (2012). Characterization and Performance of Biofuel from Passion Fruit Processing Residues. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science **2**: 24–27.
- Topal, M., Arslan, E. I. (2008). Biyokütle Enerjisi ve Türkiye. (VII). Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES.
- Uzun, B.B., Pütün, A.E. ve Pütün, E. (2006). Fast pyrolysis of soybean cake. Product yields and compositions, *Bioresource Technology*, **97**: 569-576.
- Üçgül, İ., Elibüyük, U., (2014). Tekstil Atıklarının Piroliz ile Değerlendirilmesi. *SDU Journal of Technical Sciences*, **4**: 40-46.
- Vogel, C. (1999). Coals Role in Electrical Power Generation: Will It Remain Competitive. Proceedings of the Technical Conference on Coal Utilization and Fuel Systems, *Coal and Slurry Technology Association*, 13-24.
- Yaman, M., Uzun, A. (2017). Kayseri İlinin Ceviz Üretim Potansiyeli. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **46**: 129–132.
- Yaman, S. (2004). Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical feedstocks. *Energy Conversion & Management*, **45**: 651–671.
- Yıldız, M. (2008). Atık Yağlardan Biyodizel Üretimi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yıldırım, H.H. (2019). Yenilenebilir Enerji Yatırımlarındaki Teşviklerin Yatırım Performansları Üzerine Etkisi. *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, **4**.

Yılmaz, O. (2015). Yenilenebilir Enerjiye Yönelik Teşvikler ve Türkiye. Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, **2**: 74-97.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Nebi YAZAR  
Doğum Yeri ve Tarihi : Develi 26.08.1993  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : 0532 362 84 69/nebiyazarr@gmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Aksaray Anadolu Lisesi, (2007-2011)  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği (2013-2017)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, (2017-2019)