



**FINDIK KABUĞUNDAN PİROLİTİK  
YAKIT ÜRETİMİNİN OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Furkan AKBULUT

Danışman  
Prof. Dr. İbrahim MUTLU

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2018

Bu tez çalışması 16.FEN.BİL.78 numaralı proje ile AKUBAP tarafından desteklenmiştir.

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**FINDIK KABUĞUNDAN PİROLİTİK**  
**YAKIT ÜRETİMİNİN OPTİMİZASYONU**

**Furkan AKBULUT**

**DANIŞMAN**

**Prof. Dr. İbrahim MUTLU**

**OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HAZİRAN 2018**

## TEZ ONAY SAYFASI

Furkan AKBULUT tarafından hazırlanan “Fındık Kabuğundan Pirolitik Yakıt Üretiminin Optimizasyonu” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 13/06/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

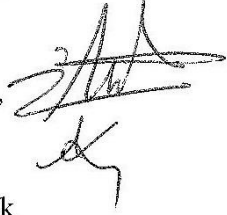
**Danışman** : Prof. Dr. İbrahim MUTLU

**Başkan** : Doç. Dr. Fatih AKSOY  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,

**Üye** : Prof. Dr. İbrahim MUTLU  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi,

**Üye** : Dr. Öğr. Üyesi Ahmet KESKİN  
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu Meslek  
Yüksekokulu,

İmza



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

.....  
Prof. Dr. İbrahim EROL  
Enstitü Müdürü

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

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

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden 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.**

**26/06/2018**

**Furkan AKBULUT**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### FINDIK KABUĞUNDAN PİROLİTİK YAKIT ÜRETİMİNİN OPTİMİZASYONU

Furkan AKBULUT

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. İbrahim MUTLU

Bu çalışmada fındık kabuğu biyokütle kaynağı olarak değerlendirilmiş, sabit yataklı reaktörde pirolizi gerçekleştirilmiştir. Deneylerde piroliz ürünlerinin verimleri üzerine sıcaklık ve pirinç kabuğu ilavesi gibi parametrelerin etkisi araştırılmıştır. Yapılan deneyler 400, 450, 500, 550°C sıcaklıklarında, 10°C/dk ısıtma hızında ve 1 L/dk akış hızında sürükleyici azot gazı (N<sub>2</sub>) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Belirlenen optimum sıcaklık değerinde %5, %10, %15, %20 pirinç kabuğu ilave edilerek katı, yakıt, su ve gaz ürün verimlerindeki değişimler incelenmiştir. %15 pirinç kabuğu ilavesinin F10 yakıtına göre verimde %85,09 bir artış sağladığı gözlemlenmiştir. Dizel yakıtla karşılaştırıldığında motor momenti ve motor gücünde azalma olduğu, özgül yakıt tüketiminde ise artış olduğu görülmüştür. İS yoğunluğu, CO ve HC emisyonlarında F10 yakıtı kullanımı azalmış, NO ve CO<sub>2</sub> emisyonlarında ise artmıştır.

**2018, ix + 53 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Piroliz, Yakıt, Motor performansı, Egzoz emisyonları.

## **ABSTRACT**

M.Sc. Thesis

### **THE OPTIMIZATION OF PYROLYTIC FUEL FROM HAZELNUT SHELL**

Furkan AKBULUT

Afyon Kocatepe University

Institute for the Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

**Supervisor:** Prof. İbrahim MUTLU

In this study, hazelnut shell was evaluated as a biomass source and pyrolysis was carried out in a fixed bed reactor. The effects of parameters such as temperature and rice husk addition on the yield of pyrolysis products were investigated in the experiments. Experiments were carried out at 400, 450, 500, 550 ° C, 10 °C/ min heating rate and at a flow rate of 1 L/min using entrained nitrogen gas (N<sub>2</sub>). Changes in solid, fuel, water and gas product yields were investigated by adding 5%, 10%, 15%, 20% rice husk at the determined optimum temperature value. It was observed that the addition of 15% rice husk 85.09% increase in productivity according to F10 fuel. Compared with diesel fuel, it is seen that there is a decrease in engine torque and engine power, and an increase in specific fuel consumption. Soot density, F10 fuel usage in CO and HC emissions decreased, and NO and CO<sub>2</sub> emissions increased.

**2018, ix +53 Pages**

**Keywords:** Pyrolysis, Fuel, Engine performance, Exhaust emissions.

## TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitim sürecim boyunca mesleklerine ve hayata yaklaşımlarıyla bizlere örnek olan, bilgi ve deneyimlerini bizlerden esirgemeyen değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. İbrahim MUTLU, Sayın Doç. Dr. Fatih AKSOY ve Sayın Arş. Gör. Mustafa BABAGİRAY'a, deneysel çalışmalarım sırasındaki katkılarından dolayı A.K.Ü Teknoloji Fakültesi Laboratuvarı personeline ve bu çalışmalarım sırasında emeklerini benden esirgemeyen değerli aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarımındaki katkılarından dolayı Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği bölümü öğretim üyelerinden Sayın Arş. Gör. Emre YILMAZ ve Sayın Arş. Gör. Serdar HALİS'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma "16.FEN.BİL.78" numaralı ve "Fındık Kabuğundan Pirolitik Yakıt Üretiminin Optimizasyonu" isimli AKUBAP projesi tarafından desteklenmiştir. Katkılarından dolayı AKUBAP'a teşekkür ederim.

Furkan AKBULUT  
AFYONKARAHİSAR, 2018

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ .....	9
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ .....	3
2.1 Fındık.....	3
2.1.1 Fındık Bitkisinin Genel Özellikleri.....	3
2.1.2 Fındık Bitkisinin Türkiye Ekonomisindeki Yeri .....	3
2.1.3 Fındık Kabuğu.....	5
2.2 Pirinç .....	6
2.2.1 Pirinç Kabuğu.....	6
2.2.2 Pirinç Kabuğu Kullanım Alanları .....	7
2.2.3 Pirinç Kabuğu Külü .....	7
2.3 Dizel Motorlar ve Yanma.....	8
2.4 Dizel Motorlarda Yanmayı Etkileyen Parametreler .....	9
2.5 Dizel Motorlarda Yanma Sonucu Oluşan Gazlar.....	10
2.6 Biyodizel Elde Etme Yöntemleri.....	11
2.6.1 Seyreltme.....	12
2.6.2 Mikroemülsiyon .....	12
2.6.3 Transesterifikasyon .....	13
2.6.4 Piroliz .....	13
2.6.4.1 Piroliz Etki Eden Faktörler .....	15
2.7 Piroolitik Yakıtlar ve Özellikleri.....	17
2.7.1 Yoğunluk.....	17
2.7.2 Kinematik Viskozite.....	17
2.7.3 Parlama Noktası .....	18
2.7.4 Setan Sayısı .....	18



2.7.5 Su ve Tortu İçeriği .....	19
2.7.6 Kaynama Noktası .....	19
2.8 Literatürde Yapılan Çalışmalar .....	19
3. MATERYAL ve METOD .....	24
3.1 Deney Düzenegi ve Kullanılan Ekipmanlar .....	24
3.1.1 Hassas Terazı .....	24
3.1.2 Pırolız Cihazı .....	24
3.1.3 Dıklorometan .....	25
3.1.4 Ayırma Hunısı .....	26
3.1.5 Evaporatör .....	26
3.1.6 Span 80 .....	27
3.2 Motor Test Düzenegi .....	27
3.2.1 Test Motoru Özellikleri .....	28
3.2.2 Emısyon Cihazı .....	28
3.2.3 İs Ölçüm Cihazı .....	29
3.3 Üretim Yöntemı .....	30
4. BULGULAR .....	33
4.1 Sıcaklığın Ürün Verımıne Etkısı .....	33
4.2 Pırınç Kabuğu Karışımının Ürün Verımıne Etkısı .....	34
4.3 Motor Gücü ve Momentı Değışımı .....	36
4.4 Özgöl Yakıt Tüketımı Değışımı .....	37
4.5 İs Emısyonu Değışımı .....	38
4.6 NO Emısyonları Değışımı .....	39
4.7 HC Emısyonları Değışımı .....	40
4.8 CO Emısyonları Değışımı .....	41
4.9 CO <sub>2</sub> Emısyonları Değışımı .....	42
5. TARTIŞMA VE SONUÇ .....	43
6. KAYNAKLAR .....	46
ÖZGEÇMİŞ .....	53

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

C	Karbon
N	Azot
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Asetilen
CH <sub>2</sub>	Metilen
CH <sub>4</sub>	Metan
CO	Karbon monoksit
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
°C	Santigrat Derece
°F	Fahrenheit Derece
H	Hidrojen
HC	Hidrokarbon
K <sub>2</sub> O	Potasyum oksit
Na <sub>2</sub> O	Sodyum oksit
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Demir (III) oksit
NO <sub>x</sub>	Azot oksitler
NO	Azot mono oksit
pH	Asitlik Derecesi
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Sodyum karbonat
CaO	Kalsiyum oksit
O <sub>2</sub>	Oksijen
rpm	Dakikada devir sayısı
SO <sub>2</sub>	Kükürtdioksit

### Kısaltmalar

---

ASTM	Amerikan Standart Test Yöntemi
ÜÖN	Üst Ölü Nokta
F5	Hacimsel olarak %5 Piroolitik yakıt + %95 Dizel Yakıtı
F10	Hacimsel olarak %10 Piroolitik yakıt + %90 Dizel Yakıtı
F15	Hacimsel olarak %15 Piroolitik yakıt + %85 Dizel Yakıtı
F20	Hacimsel olarak %20 Piroolitik yakıt + %80 Dizel Yakıtı
TG	Tutuşma Gecikmesi
FP	Flash Point
SFC	Specific Fuel Consumption
PM	Partikül Madde
CN	Setan Sayısı
ASTM	Amerikan Standart Test Yöntemi
EN	Avrupa Birliği Standart Test Yöntemi
DI	Direkt Enjeksiyonlu
SPAN 80	Sorbitan Mono Oleat

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1 Dizel motorlarda yanma safhaları .....	8
Şekil 2.2 Baz katalizli transesterleşme reaksiyon mekanizması .....	13
Şekil 2.3 Piroliz işlemi şematik gösterimi.....	14
Şekil 4.1 Sabit ısıtma hızı ve sabit gaz akış hızında sıcaklık değişiminin katı, sıvı, su ve gaz ürün verimine etkisi.....	34
Şekil 4.2 Sabit ısıtma hızı, sabit gaz akış hızının ve optimum sıcaklıkta pirinç kabuğu ilavesinin katı, yakıt, su ve gaz ürün verimine etkisi.....	35
Şekil 4.3 Dizel ve F10 yakıtlarının motor momenti değişimleri .....	36
Şekil 4.4 Dizel ve F10 yakıtlarının motor gücü değişimleri .....	36
Şekil 4.5 Dizel ve F10 yakıtlarının özgül yakıt tüketimleri değişimi. ....	37
Şekil 4.6 Dizel ve F10 yakıtlarının is emisyonları değişimi .....	39
Şekil 4.7 Dizel ve F10 yakıtlarının NO emisyonları değişimi. ....	39
Şekil 4.8 Dizel ve F10 yakıtlarının HC emisyonları değişimi. ....	40
Şekil 4.9 Dizel ve F10 yakıtlarının CO emisyonları değişimi. ....	41
Şekil 4.10 Dizel ve F10 yakıtlarının CO <sub>2</sub> emisyonlarının değişimi.....	42

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1 Dünya fındık üretimi (Kabuklu/ Ton).....	4
Çizelge 2.2 Dünya fındık ihracatı (Yıllık Bazda-Kabuklu/Ton).....	5
Çizelge 2.3 Fındık kabuğunun analiz sonuçları. ....	6
Çizelge 2.4 Kimyasal yöntemle biyodizel üretim metotları. ....	12
Çizelge 2.5 Dizel ve pirolitik yakıtların özelliklerinin karşılaştırılması. ....	19
Çizelge 3.1 Antor 6LD400 test motoru özellikleri.....	28
Çizelge 3.2 Bosch BEA 350 egzoz emisyonu ölçüm cihazı teknik özellikleri. ....	28
Çizelge 3.3 AVL 4000 is ölçüm cihazının teknik özellikleri. ....	29
Çizelge 3.4 Üretilen pirolitik yakıtların dizel yakıtla farklı oranda karışımlarının dizel yakıtla karşılaştırılması. ....	32
Çizelge 4.1 Piroliz deneyleri ile elde edilen katı, yakıt, su ve gaz ürünlerin % verimlerinin sıcaklıkla değişimi. ....	33
Çizelge 4.2 Piroliz deneyleri ile elde edilen katı, yakıt, su ve gaz ürünlerin % verimlerinin pirinç kabuğu ilavesiyle değişimi. ....	35

## RESİMLER DİZİNİ

### Sayfa

<b>Resim 3.1</b> Hassas terazi.....	24
<b>Resim 3.2</b> Piroliz cihazı.....	25
<b>Resim 3.3</b> Diklorometan.....	25
<b>Resim 3.4</b> Ayırma hunisi.....	26
<b>Resim 3.5</b> Evaporatör.....	26
<b>Resim 3.6</b> Test düzeneği.....	27
<b>Resim 3.7</b> Bosch BEA 350 egzoz emisyonu ölçüm cihazı.....	29
<b>Resim 3.8</b> AVL 4000 DiSmoke egzoz emisyon cihazı.....	29
<b>Resim 3.9</b> Deneyleerde kullanılan fındık kabuğu ve pirinç kabuğu.....	30
<b>Resim 3.10</b> Süzme işlemi.....	31
<b>Resim 3.11</b> Ayırma hunisinde pirolitik yakıt ve suyu ayırma işlemi.....	31
<b>Resim 3.12</b> Üretilen pirolitik yakıt.....	32

## 1. GİRİŞ

Hızla artan dünya nüfusu ve gelişmekte olan endüstri uygulamalarıyla birlikte enerjiye olan talep giderek artmaktadır. Dünya üzerinde yaşayan insanlar, endüstriyel ve evsel ihtiyaçlarını karşılamak için petrol ve türevi enerji kaynaklarına bağımlı kalmaktadır (Sharma and Sheth 2015). Günümüzde en çok enerji elde etmek için kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil türevli kaynaklar kullanılmaktadır (Pan *et al.* 2010). Yapılan araştırmalara göre dünyadaki fosil yakıtlarda petrolün 40 yıl, doğalgazın 62 yıl, kömürün ise 216 yıl yetecek olduğu bilinmektedir (Ürün and Soyu 2016).

Üretim, taşıma ve depolama maliyetlerinin ucuz ve kolay olması nedeniyle fosil yakıt (petrol, kömür ve doğal gaz) kullanımı oldukça yaygındır. Bu fosil yakıtların en büyük dezavantajı, kullanımları sonucu ortaya çıkan büyük miktarlardaki SO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> bileşiklerinin asit yağmurlarına dönüşerek çevreye verdikleri zararlar ve CO<sub>2</sub> oluşumundan kaynaklanan küresel ısınmadır. Son yıllarda fosil yakıt tüketimindeki aşırı artışın neticesinde ortaya çıkan küresel ısınmanın olumsuz etkilerini bütün dünya yaşamaktadır. Her yıl ortalama olarak 20 milyon m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> atmosfere salınmaktadır (Çağlar 2007). Küresel ısınmanın ve iklim değişikliğinin en büyük nedeni CO<sub>2</sub> salınımının sınırlandırılmamasıdır. Kişi başına düşen CO<sub>2</sub> salınımı yıllık ortalama 5,4 tondur. İklim bilimcilerine göre 2050 yılına kadar CO<sub>2</sub> salınımının kişi başına 2 tona kadar düşürülmesi gerekmektedir. Ayrıca mevcut fosil yakıt kaynaklarının gelecekteki talebi karşılayamayacağı düşüncesi enerji fiyatlarında sürekli olarak artışa neden olmaktadır. Bu durumlar göz önüne alındığında insanoğlu yenilenebilir enerji arayışına girmiştir (Özçiftçi and Özbay 2013).

Biyokütle, insan ve doğal faaliyetlerle üretilen tüm organik maddelerden türetilen bol ve yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Biyokütle, çevre dostu yenilenebilir enerji seçeneklerinden biri olarak görülebilir ve bu enerji kaynağına talep giderek artmaktadır (Zhao and Li 2016). Biyokütle; ısı, enerji ve ulaşım yakıtlarının üretimi, kimyasalların ve biyo malzemelerin üretimi gibi birçok uygulamada fosil kaynakların yerine kullanılacak en iyi yenilenebilir çözümlerden biridir. Biyokütle, farklı termokimyasal süreçler vasıtasıyla yakıt ürünlerine dönüştürülebilir. Biyodizel olarak adlandırılan bu

yakıt petrole olası bir alternatif yakıt olarak öne çıkmaktadır (Guedes *et al.* 2017). Biyodizelin moleküler yapısı oksijen içerdiği için, oksijenli yakıtlar olarak kabul edilir (Nabi *et al.* 2017).

Biyokütle, biyolojik (fermantasyon ve anaerobik sindirim) veya termokimyasal (gazlaştırma, sıvılaştırma) yollarla yakıt ve kimyasal hammaddeye dönüştürülebilir. Bu dönüştürme işlemleri arasında, piroliz yüksek geri enerji kazanımı sağlar ve diğer seçeneklerden daha az kirleticidir. Dahası, bu süreç çok sayıda uygulama ile geniş bir yelpazede (katı, sıvı ve gaz) ürün üretir (Angin 2013). Piroliz proseslerinden elde edilen pirolitik yakıtlar, yüksek enerji yoğunluğu ve kullanımı, depolanması ve taşınması açısından kolay ve tercih edilen bir yakıt olarak düşünülmektedir (Zhao and Li 2016).

Pirolitik yakıtlar, dizel motorlarda hiç değiştirilmeden veya çok az değiştirilerek kullanılabilir. Pirolitik yakıtların yakıt özellikleri dizel yakıtına benzer. Pirolitik yakıtların üstün yakıt özellikleri daha yüksek oksijen içeriği, daha düşük kükürt ve aromatik içerik, daha iyi yağlama, daha yüksek parlama noktası ve setan sayısıdır. Bununla birlikte, pirolitik yakıtların dezavantajları daha yüksek viskozite, düşük ısıtma değeri, daha yüksek maliyet, yüksek bulut ve akma noktasıdır.

Bu çalışmada fındık kabuğundan piroliz yöntemiyle pirolitik yakıt üretiminin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Sabit gaz akış hızı ve ısıtma oranlarında sıcaklığın yakıt verimi üzerine etkisi incelenmiştir. Optimum sıcaklıkta fındık kabuğu içerisine belirli oranlarda (%5, %10, %15, %20) pirinç kabuğu ilave edilmiş ve dönüşüm verimi üzerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen yakıtlar hacimce %10 pirolitik yakıt %90 dizel yakıtla karıştırılarak motor performans ve egzoz emisyon değerleri incelenmiştir.

## **2. LİTERATÜR BİLGİLERİ**

### **2.1 Fındık**

Fındık, dünya üzerinde 36-41 kuzey enlemlerinde yetişebilen ve kendine özgü iklime ihtiyaç duyan, kıyılardan en çok 30 km içerlerde ve yüksekliği 750-1000 m'yi geçmeyen yerlerde yetiştirilen bir bitkidir. Doğu Karadeniz bölgesi, fındığın anavatanı ve fındık kültürünün doğduğu yerdir. Bu bölgede dünyanın en kaliteli fındıkları yetiştirilmektedir. Fındık yetiştiriciliği yapan başlıca illerimiz; Ordu, Giresun, Trabzon'dur. Ayrıca, diğer Karadeniz Bölgesi illeri ile Kocaeli ve Sakarya'da da fındık yetiştiriciliği yapılmaktadır (Uncu 2008).

#### **2.1.1 Fındık Bitkisinin Genel Özellikleri**

Fındık meyve olarak yıllık toplam yağış miktarı en az 700 mm'de, sıcaklığı 13-16°C'de, ılıman ve nemli iklim koşullarında, genellikle derin, tınlı, humuslu ve pH'ı 6 olan, besin maddelerince zengin topraklarda iyi gelişme göstermektedir (Sobutay 2006). Ekonomik öneminin yanı sıra fındık, içerdiği besinsel lif, bitkisel protein, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve selenyum gibi elzem mineral maddeler, E ve B grubu vitaminler, doymamış yağ asitleri, bitkisel steroller ve fitokimyasal bileşikler içeriğiyle insan beslenmesi ve sağlığı açısından da önemli bir gıda maddesidir. Fındık önemli miktarda yağ, protein, karbonhidrat ve mineral madde içermektedir. Özellikle fındık yağının yüksek doymamışlık oranına sahip olması kalp ve damar sağlığının korunması yönünden önemlidir. Ayrıca özellikle fındık zarında yoğunlaşmış olan fitokimyasal maddeler güçlü birer antioksidan olup kanser türü hastalıkların önlenmesinde önemli rol oynamaktadır (Karaosmanoğlu and Üstün 2017).

#### **2.1.2 Fındık Bitkisinin Türkiye Ekonomisindeki Yeri**

Bir gıda ürünü olarak geniş bir tüketim alanına sahip olan fındık yüzyıllardan beri tanınmaktadır. Önceleri yalnızca Giresun yöresinde başlayan fındık yetiştiriciliği fındığın çok değerli bir çerez olması, iyi gelir getirmesi ve tarımının kolaylığı nedenleri ile önce



yakın çevresindeki Trabzon ve Ordu; zamanla da Samsun'a yayılmıştır. Daha sonraları da Doğu Karadeniz'deki arazi yetersizliği nedeniyle geçimini başka yörelerde arayanların, özellikle Bolu ve Sakarya'nın ormanla kaplı ve nüfus yoğunluğu az olan kesimlerine göçerken beraberlerinde götürdükleri fidanlarla, Batı Karadeniz Bölgesi'nde de yetiştirilmeye başlanmıştır (Topçuoğlu 2008). Çizelge 2.1'de yıllık bazda dünyadaki fındık üretimi verilmiştir (Hekimoğlu and Altındağ 2017).

**Çizelge 2.1** Dünya fındık üretimi (Kabuklu/ Ton).

Ülkeler	2013	2014	2015	2016	Ortalama
Türkiye	549.000	412.000	646.000	420.000	537.000
İtalya	100.000	80.000	125.000	130.000	103.800
Azerbaycan	35.000	25.000	40.000	50.000	38.000
Gürcistan	40.000	35.000	50.000	60.000	42.600
ABD	40.200	36.300	27.850	37.800	34.830
İspanya	18.000	19.500	22.000	18.000	18.700
Diğerleri	25.000	25.000	42.000	42.000	31.800
<b>TOPLAM</b>	<b>807.200</b>	<b>632.800</b>	<b>952.850</b>	<b>757.800</b>	<b>807.130</b>

Fındık dünyada sert kabuklu meyveler içinde gerek üretim gerekse tüketim bakımından bademden sonra ikinci sırada yer almaktadır. Fındığın çerezlik olarak tüketimi sınırlı olup fındık özellikle çikolata, şekerleme gibi sektörlerde gıda sanayinin temel ham maddelerinden biridir. Dünyada özellikle 36°-41° kuzey enlemlerinde uygun iklim koşullarında yetiştirilebilen fındığın üretiminde önemli yeri olan başlıca ülkeler Türkiye, İtalya, İspanya ve ABD'dir. Dünya fındık üretiminin yaklaşık %65-70'ini, ihracatının ise %70-75'ini karşılayan Türkiye dünyanın en önemli fındık üreticisi ve ihracatçısı konumundadır. Dünya fındık ihracatında diğer önemli ülkeler ise İtalya, İspanya ve ABD'dir. Dünya fındık ithalatı yönünde ise çikolata ve şekerleme gibi gıda sanayinin oldukça gelişmiş olduğu Avrupa ülkeleri baskın durumdadır. Dünya fındık üretimi ve ihracatının yaklaşık %69'unu gerçekleştiren Türkiye dünya fındık piyasasında lider ülke konumundadır. Fındık mamulleri ihracatı da dikkate alındığında Türkiye'nin payı %80'lere ulaşmaktadır. Türkiye'nin geleneksel ihraç ürünleri arasında yer alan fındığın 1,5 milyar dolara yakın döviz girdisi sağlaması, yaklaşık 400 bin civarında üretici ve ailesinin geçimini doğrudan veya dolaylı olarak ilgilendirmesi, fındığın yarı mamul haline dönüştürülmesi ve pazarlanması aşamalarında önemli bir istihdam kaynağı sağlamasının yanı sıra yaratılan katma değer gibi sosyoekonomik nedenlerden dolayı

Türkiye ekonomisi içinde önemli bir yere sahiptir (Aktaş *et al.* 2009). Çizelge 2.2’de yıllık bazda dünyadaki fındık ihracatı gösterilmiştir (Hekimoğlu and Altındeğer 2017).

**Çizelge 2.2** Dünya fındık ihracatı (Yıllık Bazda-Kabuklu/Ton).

Ülkeler	2013	2014	2015	2016	Ortalama
Türkiye	531.488	549.315	505.051	480.275	510.133
İtalya	28.320	34.263	31.785	36.994	33.174
Gürcistan	21.106	51.889	38.614	37.676	39.906
ABD	3.142	31.308	39.098	40.051	26.713
Azerbaycan	20.500	20.830	23.918	490	18.308
Almanya	5.658	10.072	11.989	9.615	9.440
İspanya	4.652	5.096	4.763	3.224	4.659
Fransa	2.024	4.937	5.354	3.716	4.128
Diğerleri	17.016	47.243	27.957	30.650	37.020
TOPLAM	639.906	760.953	694.595	642.691	684.536

### 2.1.3 Fındık Kabuğu

Fındık kabuğu ülkemizde, özellikle fındık üretilen yörelerde çok değerli ve yüksek kalorili (4100–4400 cal/gr) bir yakacak olarak kullanılmaktadır. Fındık kabuğundan; İtalya, ABD ve Almanya gibi teknolojisi ileri ülkelerde, kontralit, muşamba yapılmakta ve boya sanayinde yararlanılmaktadır. Ayrıca, petrokimya da bir ara ürün olan furfural ve furfuril alkolün elde edildiği pentosan da fındık kabuğunda %25 oranında bulunmaktadır. Fındık kabuğundan kömürleştirme yolu ile briket kömürü, aktif kömür ve sınaî kömür de elde edilmektedir (Topçuoğlu 2008).

Ülkemizde yıllık ortalama 600,000 tonluk fındık üretimi yapıldığı ve kabuklu fındığın yaklaşık %50’lik kısmının kabuk olduğu düşünülecek olursa, fındık üretimi sonucunda yıllık yaklaşık olarak 300,000 ton fındık kabuğu açığa çıkmaktadır. Fındık kabuklarının yerel olarak yakılarak ısı elde edilmesinin dışında, bilinen endüstriyel bir uygulaması bulunmamaktadır. Fındık kabuklarını, içermiş oldukları lignin ve karbonhidrat bileşimleri nedeniyle, biyorafineri yaklaşımı ile katma değeri yüksek bileşiklerin eldesinde ham madde olarak kullanmak mümkündür (Hoşgün and Bozan 2017).

Çizelge 2.3’de fındık kabuğunun endüstriyel, elementer, yapısal ve kalorifik analiz sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre fındık kabuklarının kömüre göre yüksek uçucu

madde ve düşük sabit karbona göre tipik bir biyokütle yapısı olduğu görülmektedir. Öte yandan, yanma, gazlaştırma, karbonizasyon ve piroliz gibi ısı işlemler sırasında yüksek reaktiviteye yol açan oksijen içeriği çok yüksektir. Buna ek olarak, lignin, bu biyokütle materyalinde yoğun olarak bulunan bir organik maddedir (Acma and Yaman 2010).

**Çizelge 2.3** Fındık kabuğunun analiz sonuçları.

Endüstriyel analiz (%, kuru)	Uçucu	72
	Sabit Karbon	21
	Kül	7
Elementler Analiz (%, kuru külsüz)	C	54,8
	H	6,7
	N	1
	S	0,1
	O	37,4
Yapısal Analiz	Çözücüler	6,2
	Lignin	51,5
	Holoselüloz	38,6
Kalorifik Analiz	Yüksek Kalorifik Değer (kcal/kg)	4512

## 2.2 Pirinç

Pirinç, dünyada 1,6 milyar kişinin besin maddesinin yarısını oluşturmaktadır. Ekilebilen alanların %11'inde yani yaklaşık olarak 145 milyon hektar alanda pirinç ekimi yapılmaktadır. Pirinç üretimi sonucu, atık malzeme olarak aşırı miktarda pirinç kabuğu ortaya çıkmakta ve üretimin fazla olduğu bölgelerde büyük alanları kaplayarak çevrenin kirlenmesine neden olmaktadır (Sadıç 2008).

Pirinç tahıl ziraatının en önemlilerinden biridir. Pirincin ülkemizin zirai bünyesi ve ekonomisinde de önemli bir yeri vardır. Pirinç ekimi ülkemizin pek çok kısmında gerçekleştirilmektedir. Bu yerler arasında; Fırat, Murat, Kızılırmak ve Yeşilirmak vadileri, bunların yanı sıra Antalya, Çankırı ve bazı doğu illerimiz de sayılabilir (Yiğiter 2014).

### 2.2.1 Pirinç Kabuğu

Pirinç üretiminin atığı olan kabukların tanelerden ayrılması sırasında iki kabuk oluşur. Birinci kabuk; pirinç tanesinin etrafını saran ince bir zar şeklinde olup buna kepek denir.

Besleyici yönden zengin olduğu için hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. İkinci kabuk ise; bir pirinç tanesinin en dışındaki kabuktur. İçteki kabuğa göre daha serttir ve bu kabuğa da kavuz veya kapçık denmektedir. Kavuz, silis ve karbon içerir. Yapısındaki silis kabukların iskeletini oluşturur ve amorf haldedir. Kabuk organik ve inorganik bileşikler içerir. Kabukların kimyasal kompozisyonu, coğrafi konum, su ve özel kültür uygulamalarına göre değişkenlik göstermektedir. Bu değişkenlere bağlı olarak pirinç kabukları yaklaşık %40-45 selüloz, %25-30 lignin, %15-20 kül, %8-15 nem içermektedir. İtalya'nın Po nehri bölgesinde üretilen pirinçlerin kimyasal bileşiminin, kabukların ortalama %40 C, %5 H<sub>2</sub>, %40 O<sub>2</sub> ve %15 kül bileşimine sahip olduğu saptanmıştır (Sadıç 2008).

### **2.2.2 Pirinç Kabuğu Kullanım Alanları**

Pirinç kabuğunun çeşitli kullanım alanları vardır. Kırsal bölgelerde kış mevsiminde ısı gereksinimini karşılamak üzere sobalarda yakıt olarak kullanılmaktadır. Çelik üretimi sonunda kabuklar çelik külçelerin üzerine serilerek, çeliğin soğuması yavaşlatılır ve kristal yapı oluşur. Özellikle Mısır, Japonya ve bazı diğer ülkelerde refrakter malzeme üretiminde ve izolasyon malzemesinde pirinç kabuğundan yararlanılır. Pirinç kabukları havasız yerde yakılarak aktif karbon elde edilebilir ve ayrıca aktif karbon absorpsiyon özelliğinin yüksek oluşu nedeniyle sanayide renk, koku giderici olarak kullanılmaktadır. Yapı malzemesi olarak hafif beton imalinde hafif agrega olarak kullanılmaya elverişlidir. Ayrıca çimentoda da puzzolan olarak kullanılır. Kauçuk üretiminde dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Pirinç kabuğu silis içeriği sayesinde günümüzde silika jel, silikat filmler, sodyum silikat, silisyum karbür, silisyum nitrit, silikon tetraklorid, saf silikon ve zeolit gibi silisyum bazlı malzemelerin üretimi için hammadde haline gelmiştir (Sadıç 2008).

### **2.2.3 Pirinç Kabuğu Külü**

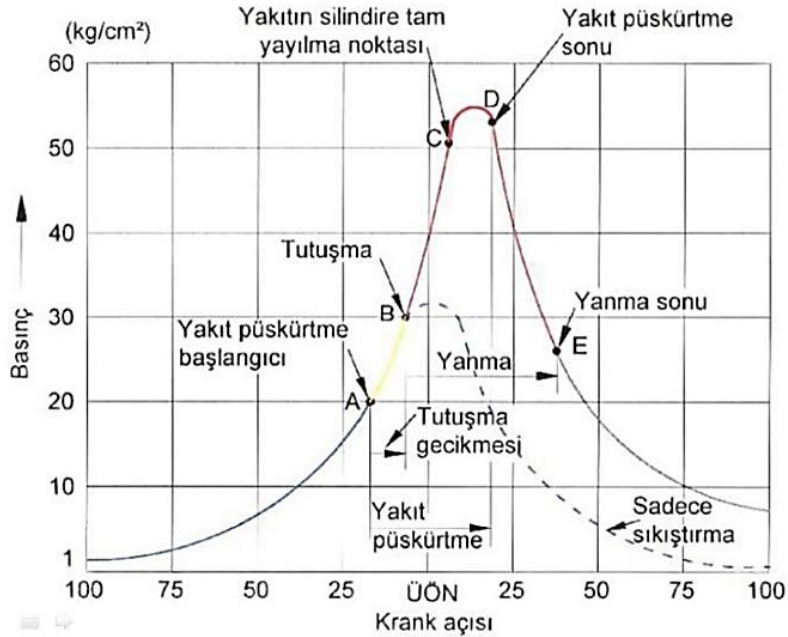
Pirinç kabuğu külü pirinç tanelerinin kabuktan ayrılmasından sonra kabuğun yakılması sonucu elde edilir. Pirinç kabuğu külünde, %80-90 oranında silis bulunmaktadır. Pirinç kabuğu külünde bulunan silis içeriği, iklime ve coğrafi konuma dayanır. Pirinç kabuğu

külünde çok küçük oranda bulunan  $K_2O$ ,  $Na_2O$  ve  $Fe_2O_3$  asit muamelesi ile giderilebilir. Pirinç kabuğu külünün yapısında bulunan silis amorf halde olduğu için düşük sıcaklıklarda ve düşük enerji metoduyla ekstrakte edilebilir. Pirinç kabuğu külünün porlu bir yapısı vardır (Terzioğlu 2010).

### 2.3 Dizel Motorlar ve Yanma

Dizel motor, Alman mühendis Rudolf Diesel tarafından 1892 yılında icat edilmiştir. Dizel motorlar benzinli motorlardan farklı olarak silindir içerisine alınan havanın yüksek basınç ve sıcaklığa ulaşmaya kadar sıkıştırılarak içine yakıtın püskürtülmesiyle alev alması ve yanması prensibine dayanır (Çevik 2012).

Dizel motorlarında yanma; sıkıştırma zamanı sonuna doğru silindire emme zamanında alınan havanın sıcaklığı yaklaşık olarak 600–900 °C yükseltilmesiyle, sıcaklığı ve basıncı yükselen havanın üzerine enjektör tarafından yakıtın basınçlı olarak püskürtülmesi sonucu gerçekleşir. Yanma olayı; tutuşma gecikmesi, kontrolsüz yanma (hızlı yanma), kontrollü yanma ve gecikmiş yanma olmak üzere dört aşamada gerçekleşir (Örs 2014). Şekil 2.1’de dizel motorlarında oluşan yanma safhaları grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Dizel motorlarda yanma safhaları (Denizköpüğü 2017).

Yanma odasına püskürtülen yakıt tanecikleri bazı fiziksel ve kimyasal değişimlere uğrayarak tutuşma için uygun duruma gelirler. Tanecikler oda içerisinde ilerlerken önce ısınırlar, daha sonra buharlaşırlar ve tutuşma sıcaklığına erişirler. Tutuşma olayı ancak bu yüksek sıcaklığa ulaşıldığında gerçekleşir. Atomize olmuş yakıtın yanma odasına ilk püskürtüldüğü zaman ile ilk alev oluşması arasında geçen süreye “tutuşma gecikmesi” denir. Bu ilk tutuşma bir kaç noktada meydana gelir, nispeten zayıftır ve silindir basıncını yükseltmeyebilir (Denizköpüğü 2017).

İlk tutuşmanın gerçekleştiği andan, basıncın en yüksek seviyeye çıktığı ana kadar geçen süre “kontrolsüz yanma” olarak adlandırılır. Bu zaman aralığında, tutuşma gecikmesi süresince silindire giren yakıtın ani olarak yanması nedeniyle, silindir içindeki basınç birden artar. Bu fazdaki yanma hızlı ve patlamalar şeklinde meydana gelir. Şekil 2.1’de B ve C noktaları arasında kalan bu evre, dört aşamalı yanma olayının ilk ve hazırlayıcı kısmını oluşturur (Denizköpüğü 2017).

Kontrolsüz yanma sonucunda piston içerisindeki hava basıncı ve sıcaklığı çok yükselir ve öyle bir seviyeye gelir ki, artık içeri püskürtülen yakıt hiçbir gecikme olmadan yanar. Bu yanma olayına “kontrollü yanma” denir. Bu süreçte yaşanan basınç değişimi çok küçük seviyelerdedir ve ihmal edilebilir. Şekil 2.1’de C ve D noktaları arasında gösterilen kısım kontrollü yanmayı temsil eder (Denizköpüğü 2017).

Yakıtın silindire püskürmesi bittikten sonra ve piston AÖN’ye indiğinde, daha önce püskürtülen ve yanma fırsatı bulamamış yakıt, genişleme süresince oksijen buldukça yanar. Bu yanmaya gecikmiş yanma denir (Örs 2014).

#### **2.4 Dizel Motorlarda Yanmayı Etkileyen Parametreler**

Dizel motorlarda yanma olayını etkileyen en önemli faktörlerden biri tutuşma gecikmesidir. Tutuşma gecikmesi fiziksel olarak, yakıt spreyinin oluşumu ve giriş havasının miktarı gibi değişkenlere bağlıdır. Enjeksiyon zamanı, miktarı, hızı, oranı, damla boyutu ve sprey şekli, yakıt sprey oluşumunu etkileyen enjeksiyon sistemi parametreleridir.

Enjeksiyon zamanının normal değerinden farklı olarak değişkenlik göstermesi motorda yanma olaylarını olumsuz etkilemekte ve performans değerlerini de düşürmektedir. Minimum tutuşma gecikmesi ÜÖN'den yaklaşık 10°-15° önce ve motorun normal çalışma koşullarında (80°C sıcaklık ve düşük devir) oluşur. Enjeksiyon erken başlarsa ilk durumdaki hava sıcaklığı ve basınç düşük olacağı için TG artacaktır. Enjeksiyonun geç başlama durumunda ise sıcaklık ve basınç yüksek olduğundan yanma sonunu geciktirip gereksiz ısı kaybına yol açmaktadır (Atmanlı 2013).

Sıkıştırma oranının artması sonucunda sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklık artar. Sıkıştırma oranı arttıkça, basınç ve sıcaklıktaki artış nedeniyle tutuşma gecikmesi süresi azalmaktadır. Direkt püskürtmeli dizel motorlarında NO<sub>x</sub> oluşumunu belirleyen en önemli faktörlerden biri sıkıştırma oranıdır (Atmanlı 2013).

Setan sayısı tutuşma gecikmesinin doğrudan etkileyen bir parametredir. Setan sayısı yüksek olan yakıtlarda tutuşma gecikmesi süresi daha kısa olmaktadır. Ancak belirli bir miktardan fazla setan sayısının yüksek olması tutuşmayı çok kısa sürede gerçekleştireceğinden ani yanma aşamasında basınç artma oranını azaltır (Atmanlı 2013).

Silindir içerisine alınan havanın hareketi, yakıtla karışacağı için direk olarak yanma sürecine ve emisyonlara etki etmektedir. Girdap oranındaki değişim, yakıtın yanma buharlaşmasını ve havayla karışım sürecini değiştirir. Girdap oranındaki artış TG süresinde bir değişiklik oluşturmadığı fakat maksimum basıncın ve basınç artma oranının daha yüksek olduğu belirlenmiştir (Atmanlı 2013).

## **2.5 Dizel Motorlarda Yanma Sonucu Oluşan Gazlar**

Dizel motorların yanma odasındaki yüksek sıcaklık seviyeleri azot ve oksijenin tehlikeli nitrojen oksitlere dönüşmesine neden olur. Azot oksitler, sağlığa ve çevreye zararlı gazlardır. Dizel motorlarda, motor, azot oksitlerin oluşma potansiyelini arttıran daha fazla miktarda hava ile çalışır. Dizel motorlarda yanma oranı düşüktür, yani yanma odasına giren yakıt - hava karışımı homojen olarak yanmaz ve sera gazı açığa çıkar.

Dizel yakıtların yanması sonucunda CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> gibi gazlar oluşmaktadır. Tam olarak yanmanın gerçekleşmediği durumlarda ise bu gazlara ek olarak CO, PM, HC, NO<sub>x</sub>, H<sub>2</sub>, NO gibi ürünlerde oluşur.

Bir yakıtın kalorifik değeri, sabit basınçta ve standart koşullar altında (0 °C'de ve 1,013 mbar basınç altında) yanma sonucu ortaya çıkan ısı miktarıdır. Yanma süreci su buharı üretir ve bazı teknikler buharında bulunan ısı miktarını yoğunlaştırarak geri kazanır. İki kalorifik değer vardır; yüksek kalorifik değer ve düşük kalorifik değer. Setan numarası (CN) dizel yakıtın yanma hızının bir göstergesidir. Dizel'in kalitesi ile ilgili diğer ölçümler arasında enerji içeriği, yoğunluk, kayganlık, soğuk akış özellikleri ve kükürt içeriği de sayılabilir. Bir aleve maruz kaldığında yakıtın tutuşacağı en düşük sıcaklık, parlama noktası olarak adlandırılır. ASTM sertifikalı B100, 266° F'den (130°C) daha büyük bir parlama noktasına sahip olmalıdır. Parlama noktası, farklı hammadde ve diğer faktörler nedeniyle değişmektedir. Bazı pirolitik yakıtlar 300 °F'dan daha büyük parlama noktalarına sahiptir. Pirolitik yakıtların parlama noktası (>130°C, >266°F), dizelden (64°C, 147°F) veya benzinden (-45°C, -52°F) daha yüksektir (Yücel 2016).

## **2.6 Biyodizel Elde Etme Yöntemleri**

Ülkemizde biyodizelle ilgili yapılan çalışmalar son zamanlarda giderek artmaktadır. Biyokütle atıklarının katı, sıvı ve gaz yakıtlarına dönüştürülmesinde çeşitli teknolojiler kullanılmaktadır. Bu oluşan yakıtların üretiminde termokimyasal ve biyokimyasal olarak çeşitli yöntemler geliştirilmiş ve bu yöntemlerin katı, sıvı ve gaz yakıtlara verimi araştırılmıştır (Altunbaş 2015). Yağların viskozitesi ısı ve kimyasal yöntem uygulanarak azaltılabilir. Isıl yöntemde, ön ısıtma ile yağların viskozitesinin düşürülmesi gerçekleşmekte olup, ısıl yöntemin hareketli bir araç motorunda uygulaması sırasında oluşabilecek problemler nedeniyle kimyasal yöntem tercih edilmektedir. Çizelge 2.4'de kimyasal yöntemle biyodizel üretim metotları gösterilmiştir (Özdemir and Mutlubaş 2016).



**Çizelge 2.4** Kimyasal yöntemle biyodizel üretim metotları.

<b>Metod</b>	<b>Avantajı</b>	<b>Dezavantajı</b>
Seyreltme	Doğal sıvı, yenilenebilir özellik, kullanıma hazır.	Yüksek derecede viskozite, düşük miktarda uçuculuk, doymamış hidrokarbonların aktifliği
Mikro-emülsiyon	Yanma esnasında iyi derecede spreyleme, düşük viskozite.	Düşük miktarda enerji içeriği ve düşük setan sayısı.
Piroliz	Petrol kökenli olan dizel ve benzine kimyasal yönden benzerlik gösterir.	Maliyeti yüksektir.
Transesterifikasyon	Yüksek miktarda setan sayısı, yenilenebilir özellik, yüksek yanma verimi ve düşük miktarda emülsiyon içerir.	Biyodizelden suyun ve gliserinin ayrılması zordur.

### **2.6.1 Seyreltme**

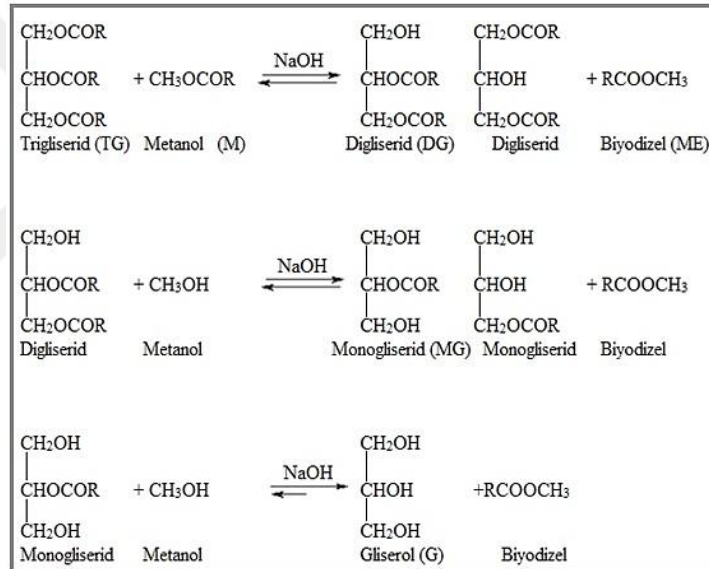
Dizel yakıtın belirli miktarlarda bitkisel ve atık yağlarla karıştırılması olayına seyreltme denir. İlk defa 1980 yılında Caterpillar şirketi Brezilya’da %10 bitkisel yağ ve %90 dizel karışımını ön yanma odalı bir dizel motorda yakıt olarak kullanmışlardır. Bu yöntemle viskozitesi yoğun olan yağın viskozitesi düşürülmekte ve dizele daha yakın bir ürün oluşmaktadır. Seyreltme yöntemiyle elde edilen biyodizelerde en çok kullanılan yağlar; atık yağlar, yer fıstığı, ayçiçeği, kolza gibi bitkisel yağlardır (Aksoy 2010).

### **2.6.2 Mikroemülsiyon**

Bitkisel yağların yüksek viskozitelerini düşürmek amacıyla uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemde metanol, etanol veya i-bütanoldan gibi kısa zincirli yağlardan mikroemülsiyon oluşturulmasıdır (Eliçin 2011). Bu yöntemin dezavantajı yakıtların alkol içermelerinden dolayı ısı değerlerinin dizel yakıtına göre düşük olmasıdır. Alkollerin setan sayılarının düşük olması sebebiyle oluşan emülsiyonunda setan sayısının düşük olması ve düşük sıcaklıklarda oluşan biyodizelin ayrışma yatkınlığı göstermesidir (Kaya 2007).

### 2.6.3 Transesterifikasyon

Transesterifikasyon, bir yağın, esterler ve gliserol oluşturmak üzere bir alkolle reaksiyonudur. Alkol gliserol ve esterleri oluşturmak için trigliseritlerle birleştirir. Bir katalizör genellikle reaksiyon hızını ve verimi arttırmak için kullanılır. Reaksiyon geri döndürülebilir olduğundan dengeyi ürün tarafına kaydırmak için fazla miktarda alkol gerekir. Transesterifikasyon prosesinde kullanılabilen alkoller arasında metanol, etanol, propanol, bütanol ve amil alkol bulunmaktadır. Alkali katalizli transesterifikasyon, asit katalizli transesterifikasyondan çok daha hızlıdır ve çoğunlukla ticari olarak kullanılır (Agarwal 2007). Şekil 2.3'te transesterifikasyon reaksiyon mekanizması gösterilmiştir. (İnal 2017).



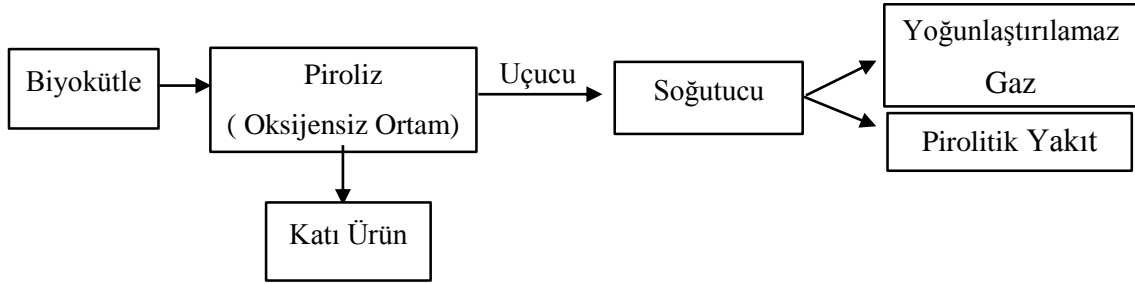
Şekil 2.2 Baz katalizli transesterleşme reaksiyon mekanizması (İnal 2017).

### 2.6.4 Piroliz

Piroliz, oksijenin yokluğunda oluşan bir termik bozunma işlemidir (Jouhara *et al* 2018). Pirolizde biyokütle, oksijen içeren ortama maruz kalmayacak şekilde termal olarak ayrışır. Piroliz işlemi çok farklı reaksiyonları içeren son derece karmaşık bir süreçtir. Biyokütlenin ısıtılması üzerine, biyokütlenin uçucu biyomolekülleri ayrılır ve yoğunlaşmadan sonra pirolitik yakıt elde edilir. Oksijensiz ortam, biyolojik kütlenin, termal denge sınırının üzerinde bir sıcaklığa kadar ısıtılmasını, daha kararlı ürünler ve

katı ürün oluşmasını sağlar. Piroliz temelde birincil piroliz ve ikincil piroliz olarak bilinen iki aşamadan oluşur. Birincil pirolizde biyokütle parçalanır ve ısının etkisi ile uçucu maddeler giderilir. Pirolizin ilk aşamasında farklı karboksil, karbonil ve hidroksil grupları da oluşur. Uçucu maddeleri giderme işlemi biyokütlenin kurutma, karboksil giderme ve hidrojen giderme işlemlerini içerir. Birincil pirolizi tamamlandıktan sonra ikincil piroliz işlemi başlar. Bu aslında ağır piroliz sürecine karşılık gelir ve bu süreçte biyokütleyi CH<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO ve CO<sub>2</sub> gibi katı ürün veya gazlara dönüştüren ağır bileşiklerin parçalanmasından meydana gelir (Tripathi *et al.* 2016).

Piroliz dünyada gün geçtikçe artan bir tekniktir. Bu tekniğin en önemli avantajlarından biri istenilen sonuçlara göre optimize edilebilmesidir. Örneğin, yüksek biyokömür üretimi için yavaş piroliz, daha yüksek pirolitik yakıt verimi için hızlı piroliz uygun bir işlem olarak kullanılabilir. Vakumlu piroliz, daha eşit dağılmış ürünleri verebilmektedir. Atıkların azaltılması ve atığın pirolitik yakıtlar, biyo-sentetik ve kömür gibi ürünlere dönüştürülmesi için çok güçlü bir araç olarak kullanılmaktadır. Piroliz biyolojik kütle için çoğunluğu (kuru, ıslak, sert, yumuşak) doğrudan geri dönüştürülebilir, ancak bazı durumlarda ön işlemlerle sonuçlar daha verimli hale getirebilir (Tripathi *et al.* 2016).



**Şekil 2.3** Piroliz işlemi şematik gösterimi.

Biyokömür (aynı zamanda odun kömürü olarak da adlandırılır), biyokütle bileşenlerinin kısmen veya tamamen ayrıştırılmasından üretilen dönüştürülmemiş organik katıları, karbonlu kalıntıları ve ayrıca bir mineral fraksiyonunu içeren ana katı üründür. Kömürlerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri, hammadde tipine ve piroliz çalışma koşullarına bağlıdır. Yavaş piroliz 300 ila 800°C piroliz sıcaklıklarında değişir ve pirolitik yakıt verimini azaltarak biyokömür üretimini artırır.

Biyokütle pirolizinden salınan gazlar genellikle karbon dioksit (CO<sub>2</sub>), karbon monoksit (CO), hidrojen (H<sub>2</sub>), düşük karbonlu hidrokarbonlar, metan (CH<sub>4</sub>), etan (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) ve etilen (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) olabilir. Ayrıca az miktarda da olsa propan (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), amonyak (NH<sub>3</sub>), azot oksitler (NO<sub>x</sub>), sülfür oksitler (SO<sub>x</sub>) ve düşük karbon sayılarına sahip alkoller gibi diğer gazlarda oluşabilir. Pirolitik gazların genel olarak alt ısıl değerleri elde edildiği biyokütlelere bağlı olarak 10 ila 20 MJ/Nm<sup>3</sup> arasındadır.

#### 2.6.4.1 Piroliz Etki Eden Faktörler

- **Parçacık boyutu**

Biyokütle, piroliz sırasında ısı aktarım hızında gecikmeye neden olabilecek, zayıf bir ısı iletkenidir. Besin partikül boyutunun etkisi, daha yüksek sıvı verimi elde etmek için ve ısı geçişi problemini en aza indirmek için önemli bir parametredir. Büyük parçacık boyutunu kullanmak, pirolitik yakıt özelliklerinde, ısıtma hızında, katı yanma süresinde ve ürün veriminde düşüğe neden olabilir. Bu bağlamda, yüksek ısıtma oranları ve sıvı verimi elde etmek için ortalama 3 mm'den küçük katı parçacıkları daha uygundur (Qureshi *et al.* 2018).

Shen ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada Avustralya yağlı odunsu biyokütleyle 500°C'de 0,81-5,6 mm'lik parçacık boyutunun etkisi araştırılmış ve parçacık boyutunun 0,3 mm'den 1,5 mm'ye yükselmesinin pirolitik yakıt miktarının önemli ölçüde azalttığı tespit edilmiştir (Shen *et al.* 2009).

- **Sıcaklığın etkisi**

Piroliz sıcaklığı ürünlerin dağılımını ve özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Genellikle pirolitik yakıt verimleri 400 ile 550°C arasında maksimum verime ulaşır. 600°C'den daha yüksek sıcaklıklarda, biyolojik yağlar ve yanma sonucu oluşan katı ürünleri ikincil parçalanma reaksiyonları nedeniyle gaza dönüştürülür. Pirolitik yakıtlardaki polar, alifatik ve aromatik bölümler 300-500°C'den 600-800°C'ye kadar sıcaklık artışı ile artmaktadır. Genellikle, 700°C'yi aşan sıcaklıklar, dekarboksilasyon ve dehidrasyon

reaksiyonları nedeniyle, piren ve fenantren gibi polisiklik aromatik hidrokarbonlar şeklinde pirolitik yakıtların karbon içeriğini artırır (Kan *et al.* 2016).

- **Isıtma hızı**

Isıtma hızı oluşan ürünlerin miktarı ve kimyasal yapısı üzerinde önemli derecede etkisi olan parametrelerden biridir. Genellikle yüksek ısıtma hızlarında daha çok ağırlıklı olarak gaz ürün miktarında bir artış gözlenirken, düşük ısıtma hızlarında sıvı ürün miktarında bir artış gözlemlenmektedir (Tiftik 2006).

Xiong vd. tarafından yapılan çalışmada farklı ısıtma hızlarının (0,33–200°C/s) ve sıcaklığın (300-800°C) katı, sıvı ve gaz verimi üzerine etkileri incelenmiştir. Düşük sıcaklıklarda (< 500°C) ve yavaş ısıtma hızlarında katı ürün miktarının arttığı, sıvı ve gaz ürünün ise azaldığı gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklıklarda (> 500°C) ve yüksek ısıtma hızlarında ise katı ürün miktarının azaldığı, sıvı ve gaz ürün miktarının arttığı belirlenmiştir (Xiong *et al.* 2018).

- **Gaz akış hızı**

Taşıyıcı gaz akış hızı, piroliz ürün dağılımını etkileyen bir başka parametredir. Biyokütlenin pirolizi sırasında orta ila yüksek miktarda buhar oluşur ve eğer bu buharlar temizlenmezse, ikincil reaksiyonlara karışabilirler ve piroliz ürünlerinin verimini ve bileşimini değiştirebilirler. Azot, argon ve su buharları taşıyıcı gaz olarak kullanılmışlardır ancak azot, pirolizde üretilen buharların temizlenmesi için en yaygın olarak kullanılır. Azot gazı, diğer inert gazlardan daha ucuzdur ve kolayca temin edilebilir (Tripathi 2016).

Şensöz ve Angin, aspir tohumu ezme reçinesinin pirolizi sırasında, biyokömür veriminin başlangıçta azot akış hızının artmasıyla azaldığını, ancak 100 cm<sup>3</sup>/dk azot akış hızını geçtiğinde, biyokömür veriminin sabit kaldığı gözlemlenmişlerdir (Şensöz and Angin 2008). Zhang vd., biyogaz veriminde, 2,3 L/dk'nın üzerindeki azot akış hızının artırılmasıyla belirgin bir değişiklik olmadığını belirlemişlerdir (Zhang *et al.* 2009).

## 2.7 Pirolitik Yakıtlar ve Özellikleri

Pirolitik yakıtların termo-fiziksel özellikleri, motor performansı ve emisyon özellikleri üzerinde etkisi vardır. Normalde pirolitik yakıtların önemli özellikleri, viskozite, yoğunluk, setan sayısı, kalorifik değer, parlama noktası, akma noktası vb. olarak öne çıkmaktadır. Bazı araştırmacılar, yağ asit içeriği ve pirolitik yakıtların kimyasal bileşimlerinin pirolitik yakıtların özellikleri üzerine önemli etkileri olduğunu belirtmektedir. Bu nedenle içten yanmalı motorlarda kullanılabilen pirolitik yakıtlar için en yaygın standartlar olan ASTM D6751 ve EN 14214 standartlarına göre özelliklerinin ölçülmesi zorunludur (Jiaqiang *et al.* 2017).

### 2.7.1 Yoğunluk

Yoğunluk, doğru yanmayı sağlamak için enjeksiyon sistemlerinin enjekte ettiği yakıt miktarını tahmin etmek için kullanılan temel yakıt özelliklerinden biridir. Pirolitik yakıtların yoğunluğu kullanılan kimyasal madde, pirolitik yakıtların dönüşüm yöntemi ve metil ester profili gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Yakıt yoğunluğu, motorun çalışmasını doğrudan etkilediği için enjektör başlığı tasarımında çok önemli bir rol oynar. Dahası bu, motorun termik verimliliğini etkileyen yakıt atomizasyonunu doğrudan etkileyebilir (Sakthivel *et al.* 2018). Pirolitik yakıtları, klasik dizel yakıtla karşılaştırıldığında daha yoğun ve daha az sıkıştırılabilir özelliklere sahiptir. Bu gerçek, pirolitik yakıtların daha yüksek moleküler ağırlığına bağlanmaktadır. Yoğunluk, püskürtme kalitesini, yakıt damlacıklarının boyutunu ve enjeksiyon sisteminde nüfuz etmeyi etkilediği dizel motorun performansı ve emisyonu üzerindeki etkilerini tanımlamada viskozite ile benzer bir role sahiptir (Zaharin *et al.* 2017).

### 2.7.2 Kinematik Viskozite

Viskozite, yakıtın akış yeteneğini gösteren önemli özelliklerinden biridir. Akışa dirençli olan viskozite akış atomizasyonunda ve akış penetrasyonunda büyük rol oynamaktadır. Pirolitik yakıtların daha büyük kimyasal yapıya ve moleküler kütleye sahip olması nedeniyle, pirolitik yakıtların viskozitesi geleneksel fosil yakıtın 10-15 katı daha fazladır.

Yüksek viskoz yakıtlar yetersiz yakıt atomizasyonuna neden olur ve bu da termal verimliliğin azalmasına ve kurumdaki birikintilere neden olur. Öte yandan, düşük viskozite, daha ince yakıt damlacıkları oluşturarak enjektörün yakıtı yanma odasına pompalamasını kolaylaştırır (Sakthivel *et al.* 2018).

### **2.7.3 Parlama Noktası**

Parlama noktası (FP), ateşleme kaynağına maruz bırakıldığında uçucu yakıtın buharlarından ateşlemeye başladığı en düşük sıcaklıktır. Geleneksel dizel yakıtın parlama noktası yaklaşık 50-65°C iken, pirolitik yakıtların parlama noktası 150°C'nin üzerindedir. Bu, pirolitik yakıtların dizel yakıtla depolamada ve taşımada daha iyi güvenlik özelliklerine sahip olduğunun bir göstergesidir. Genel olarak, düz bitkisel yağın, zayıf uçuculuğu nedeniyle metil esterlerinden daha yüksek bir parlama noktası vardır (Sakthivel *et al.* 2018). Parlama noktası, yakıtın ateş ve hava teması ile yakıldığı başlangıç sıcaklığı olarak tanımlanır ve bu, oldukça uçucu maddelerin varlığına işaret eder. Bu özelliğin yanma kalitesi üzerinde doğrudan bir etkisi yoktur. Bununla birlikte, yakıt depolama, taşıma ve nakliye açısından önemlidir (Zaharin *et al.* 2017).

### **2.7.4 Setan Sayısı**

Setan sayısı (CN), tutuşma gecikmesi süresini doğrudan etkileyen pirolitik yakıtların en önemli özelliklerinden biridir. Tutuşma gecikmesi, yanma odasına yakıt enjeksiyonu ve ateşlemenin başlaması arasındaki süredir (Sakthivel *et al.* 2018). Düşük setan yakıt sayısı, daha uzun tutuşma gecikmesine neden olur ve vuruntu eğilimini artırır. Setan sayısını etkileyen özellikler, moleküllerde doygunluğun varlığı ve yağ asidi karbon zincirlerinin uzunluğudur. Yüksek setan sayısı, motorun daha düşük vuruntu ve gürültü rahatsızlığı eğilimi olmadan sorunsuz çalışmasına izin vererek motorun performansı ve emisyon özellikleri bakımından belirgin bir üstünlük sağlar. Bununla birlikte, çok yüksek setan sayısı, enjektörün aşırı derecede ısınmasına ve enjektör başlığının hasar görmesine neden olur (Zaharin *et al.* 2017).

### 2.7.5 Su ve Tortu İçeriği

Pirolitik yakıtlarda bulunan su ve tortu içerikleri, bu yakıtların temizliğini tanımlamaktadır. Su ve tortu içerikleri asılı su damlaları veya çözülmüş halde bulunabilirler. Pirolitik yakıtlarda su içeriğinin bulunması, yakıtın kalorifik değerini düşürür ve motor yakıt sisteminin bileşenlerini korozyona uğratar. Bu arada, tortu yakıt hatlarında tıkanmaya neden olabilecek pas ve kir parçacıkları içerebilir (Sakthivel *et al.* 2018).

### 2.7.6 Kaynama Noktası

Bir maddenin normal kaynama noktası, maddenin buhar basıncının atmosferik basınca eşit olduğu sıcaklıktır. Normal kaynama noktası aynı zamanda maddenin genel uçuculuğunu ölçebilir. Genel olarak, bir maddenin kaynama noktası uçuculuğuyla ters orantılıdır. Kaynama noktası ne kadar yüksekse uçuculukta o derece düşük olmaktadır. Öte yandan kaynama noktası da madde içindeki moleküller arasındaki yapışkanlığa bağlıdır (Sakthivel *et al.* 2018). Çizelge 2.5’de dizel ve pirolitik yakıtların özelliklerinin karşılaştırılması verilmiştir.

**Çizelge 2.5** Dizel ve pirolitik yakıtların özelliklerinin karşılaştırılması (Doğan 2012).

Özellikler	Dizel	Pirolitik yakıt
Kaynama Noktası (°C)	210	150
Özgül Ağırlık	0,8-0,84	0,95
Parlama Noktası (°C)	80	55
Kinematik Viskozite (40°C)	5	41
Isıl Değer (kJ/kg)	44546	39793,6
Atık Karbon (% kütlesel)	0,20	0,99
Kül (% kütlesel)	0,01	0,51
Kükürt (% ağırlık)	0,30	0,92

### 2.8 Literatürde Yapılan Çalışmalar

Atık lastiklerle ilgili çalışmada piroliz yöntemiyle pirolitik yağ üretimi yapılmış ve bazı fiziksel özellikleri incelenmiştir. Pirolitik yağın özgül ağırlığı 0,93 g/cm<sup>3</sup> iken, benzin ve mazot sırasıyla 0,74 ve 0,84 g/cm<sup>3</sup>’dür. Pirolitik yağın Motor Oktan Sayısı (MON),



benzin için ortalama değerinden biraz daha düşük, dizel için ise yüksek bulunmuştur. Pirolitik yağ, geleneksel yakıtlarla karşılaştırıldığında daha yüksek bir vuruntu direnci göstermiştir. Prolitik yağ, benzin ve dizele kıyasla 42 kJ/g'a ulaşan yüksek ısı değerine sahip olduğu görölmüştür. Lastik prolitik yağı tüm şartlar altında dizel yakıtla karışabilmiştir (Umeki *et al.* 2016).

Neem tohumundan prolitik yakıt üretimi yapılmış, farklı oranlarda dizel yakıtla karıştırılarak motor performansı ve emisyon değerleri incelenmiştir. Neem tohum katalitik pirolitik yağ ile hacimce %5 ve %10 oranında dizel karışımları bir dizel motorda test edilmiştir. Özgöl yakıt tüketiminde %5 Neem tohumu karışımında %23,9 bir artış meydana gelmiştir. Tam yük koşulunda HC (%46,9), CO (%42,2), CO<sub>2</sub> (%29,8) ve NO<sub>x</sub> (%20,7) emisyon seviyelerinde azalma gözlemlenmiştir. Bu çalışma, neem tohumu pirolitik yakıtın yenilenebilir ve sürdürülebilir çevre dostu bir yakıt olduğu belirlenmiştir (Alagu and Sundaram 2018).

700°C'de ve 900°C'de polipropilenden üretilen yağlar, dört silindirli bir dizel motorda test edilmiş ve piroliz sıcaklığının verimliliğe etkisi araştırılmıştır. Motorun yanması, performansı ve emisyon özellikleri analiz edilmiş ve dizel yakıtla ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar 900°C'de verimlilik ve emisyon açısından biraz daha iyi performans gösterdiğini, hem 700°C hem de 900°C'de elde edilen yakıtların motor deneylerinin dizel yakıtla benzer şekilde olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, 700°C ve 900°C'de yapılan deneylerin dizel yakıtlara kıyasla daha uzun tutuşma gecikmesi, daha uzun yanma periyotları, daha yüksek NO<sub>x</sub>, yanmamış hidrokarbonlar ve CO emisyonları, daha düşük CO<sub>2</sub> emisyonlarına sahip oldukları belirlenmiştir. Az miktarda dizel ilavesi, yağ karışımlarının genel performansını arttırmış ve 900°C'de elde edilen yakıtın dizelle daha iyi bir karışım sağlayabileceği belirlenmiştir (Kalargaris *et al.* 2018).

Plastik atıklardan piroliz yöntemiyle yakıt üretimi yapılmış, plastik piroliz yağı, %25 ile %100 arasındaki farklı motor yüklerinde %0 ila %100 arasında plastik piroliz yakıtı ve dizel yakıtının çeşitli karışımlarında çalışan dört silindirli doğrudan enjeksiyonlu dizel motor üzerinde test edilmiştir. Motor yanma özellikleri, performans ve egzoz emisyonları analiz edilmiş ve dizel yakıtlar ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, motorun dizel ile benzer

performans gösteren yüksek yüklerde plastik piroliz yakıtı ile çalıştırabildiğini, düşük yüklerde ise uzun tutuşma gecikme süresinin sorunlara neden olduğunu göstermiştir. Sonuçlar, plastik piroliz yakıtının belirli çalışma koşullarında belirli motor uygulamaları için uygulanabilir bir alternatif yakıt olduğunu göstermiştir (Kalargaris *et al.* 2018).

Yaygın plastiklerden elde edilen piroliz gazlarının üretim ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Polivinil klorür gazlar  $178,62 \text{ cm.s}^{-1}$  ile doğalgazın yaklaşık 5 katı kadar laminer yanma özelliğine sahiptir. 500 ve  $700^{\circ}\text{C}$ 'de polivinil klorürden üretilen gazlar birbirine yakın tutuşma sıcaklığı göstermiştir. Enerjik olarak en yüksek kalitede gazlar ortalama kalorifik değerlerinin sırasıyla 75,43 ve  $74,45 \text{ MJ.kg}^{-1}$  olduğu polietilen ve polipropilen pirolizinden elde edilmiştir. Polivinil klorürden elde edilen gazlar için en yüksek ortalama kalorifik değer  $59,54 \text{ MJ.kg}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Gaz enerjisi bakımından piroliz için en uygun ürün  $900^{\circ}\text{C}$ 'de polietilen ve polipropilen olarak belirlenmiştir (Honus *et al* 2018).

Tarımsal (okaliptüs kabuğu, üzüm çekirdeği, şeftali taşları, ceviz kabukları, zeytinyağı ve yer fıstığı kabukları) ve endüstriyel (birincil ve biyolojik kâğıt fabrikası atıkları) biyo atıkların yanma ve piroliz süreçleri incelenmiş ve birbiriyle karşılaştırılmıştır. Tarımsal biyo atıklar, fosil yakıt değerlerine ( $20\text{-}30 \text{ MJ.kg}^{-1}$ ) yakın olan en yüksek kalorifik değerleri göstermiş ve tarımsal biyo atıklar genel olarak endüstriyel biyo atıklara göre daha fazla Karbon elementi ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$  ve  $\text{CO}_2$ ) içeren gaz emisyonları yaymışlardır (Ferreira *et al.* 2018).

Kavak ağacının pirolizi farklı piroliz sıcaklığında ( $400$ ,  $450$ ,  $500$ ,  $550$  ve  $600^{\circ}\text{C}$ ) ve farklı ısıtma oranlarında ( $10$ ,  $30$  ve  $50^{\circ}\text{C}/\text{dk}$ ) kapsamlı olarak araştırılmıştır. Artan ısıtma oranı pirolitik yakıtların su içeriğini azaltırken,  $\text{CO}$  ve  $\text{CH}_4$  oluşumunu arttırmıştır. Piroliz sıcaklığının ürün özellikleri üzerinde ısıtma oranına kıyasla daha fazla etkiye sahip olduğu belirlenmiştir (Chen *et al.* 2016).

Piroliz sıcaklığının ve ısıtma oranının ürün ve enerji dağılımı üzerindeki etkisinin araştırmak için çam talaşının pirolizi gerçekleştirilmiştir. Gaz bileşiminin sonuçları üretilen gazda  $\text{CO}_2$ 'nin ana bileşen olduğunu ve %54,5'lik maksimum gaz veriminin

900°C sıcaklıkta elde edildiğini göstermiştir. Katı ürünün yanma enerjisi 290-314°C'de 461.10 kJ.mol<sup>-1</sup>, 314-518°C'de ise 108,45 kJ.mol<sup>-1</sup> olduğu görülmüştür (Ningbo *et al* 2015).

Gürgen, meşe ve kavak gibi odunsu bitkilerin pirolizi gerçekleştirilmiş ve oluşan gaz, sıvı ve çar ürün miktarları belirlenmiştir. Gaz ürünler için optimum sıcaklık değerleri gürgen için 450°C (%65,05), meşe için 350°C (%47,60) ve kavak için 450°C (%35,59) piroliz sıcaklığı olarak belirlenmiştir. Oluşan sıvı ürünler için optimum sıcaklıklar; gürgen için 350°C (%43,77), meşe için 450°C (%66,98) ve kavak için 400°C (%69,18) olarak belirlenmiştir. Bu biyokütlelerin pirolizi sonucunda yapılan analizlerde sıvı ürünlerin benzen, toluen, etil benzen, furfural, 2-hidroksi-3-metil-2-siklopenten-1-one, ksilenler ve çeşitli fenol bileşikleri içerdiği, benzen ve fenol bileşiklerinin miktarlarının fazla olduğu gözlenmiştir (Olgun 2005).

Çay fabrikası atığının pirolizi üzerine sıcaklık, ısıtma hızı, parçacık boyutu ve piroliz süresinin etkilerini incelemiştir. Deneylede yapılan sıcaklıklar 300-900°C, ısıtma hızı 10, 50, 90°C/dk, parçacık boyutu elekaltı-75, 75-250, 250-500 µm, ve piroliz süresi 40, 60, 80 dk aralığında belirlenmiştir. Çalışmalarda dört parametreden üçü sabit tutularak gerçekleştirilmiş ve en yüksek sıvı veriminin 550°C sıcaklıkta, 50°C/dk ısıtma hızında, 250-500 µm parçacık boyutunda ve 60 dk piroliz süresinde %56 olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak sıcaklık parametresinin ürün verimini önemli oranda etkilediği, ısıtma hızı, parçacık boyutu ve piroliz süresinin ürün verimi üzerinde çok fazla etkilemediği görülmüştür (Tiftik 2006).

Atık lastiklerden piroliz yöntemiyle yakıt üretimi gerçekleştirilmiş, motor hızı, motor yükü, yakıt türü ve püskürtme basıncının tork, güç, fren özgül enerji tüketimi, efektif verim, NO<sub>x</sub>, HC, CO, is emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar farklı yük (%25, %50, %75, %100), farklı hız (1400, 2000, 2600, 3200 d/d) ve farklı püskürtme basınçlarında (185, 205, 225, 245 bar) gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları; standart dizel yakıtta %40'a kadar lastik pirolitik yakıt ilavesinin motor performansı ve yanma karakteristiklerini önemli ölçüde etkilemeden bazı egzoz emisyonlarında (CO, HC ve is) iyileşmeler sağladığını gözlemlenmiştir (Doğan 2012).

Pirolitik distilasyon yöntemiyle atık yağlama yağlarından motor yakıtları üretilmiş ve bu yakıtların motor performans ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri incelenmiştir. İlk olarak atık yağ içerisinde bulunan toz, karbon ve ağır metal partiküllerinden, yapışkan ve diğer maddelerden arıtılmıştır. Arıtılan yağ sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), zeolit ve kireç (CaO) gibi katkı maddeleriyle %2, %4, %6, %8 ve %10 oranlarında katılarak, karışımlar ısı bozulma işlemine tabi tutulmuş ve pirolitik distilasyon yöntemi ile yakıtlar üretilmiştir. Bu yakıtların karakteristik ve distilasyon testleri yapılmıştır. Bu testlerin sonucunda en önemli bulgu ise atık motor yağına kütleli olarak %2 CaO katıldığında, kükürt miktarının en aza düştüğü görülmüştür. Testler sırasında motor şaftına uygulanan kuvvet, hava ve yakıt debileri, motor hızı, eksoz sıcaklığı ve emisyonlardan CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ve HC miktarları ölçülmüştür. Yapılan karakteristik, distilasyon ve performans testlerine göre benzin benzeri yakıtların ve dizel benzeri yakıtların motorlarda problemsiz olarak kullanılabileceği gözlenmiştir (Arpa 2009).

### 3. MATERYAL ve METOD

#### 3.1 Deney Düzeneği ve Kullanılan Ekipmanlar

Yapılan çalışmada fındık kabuğu ve pirinç kabuklarının belli oranlarda karıştırılarak piroliz yöntemiyle yakıt üretimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde ağırlıkça 100 g numune kullanılmıştır ve inert gaz olarak N<sub>2</sub> kullanılmıştır. Deneyler, sabit 1 L/dk gaz akış hızı ve 10 °C/dk ısıtma oranında 400, 450, 500, 550 °C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir.

##### 3.1.1 Hassas Terazi

Numunelerin hazırlanması ve üretilmesi aşamasında RADWAG marka AS220 C/2 modelinde hassas ölçüm yapabilen bir terazi kullanılmıştır. Dijital terazi 0,1 mg hassasiyete sahiptir. Minimum ölçebileceği değer 10 mg ve maksimum ölçebileceği değer 220 g'dır. Deneysel çalışmalarda kullanılan hassas terazi Resim 3.1'de görölmektedir.



**Resim 3.1** Hassas terazi.

##### 3.1.2 Piroliz Cihazı

Hazırlanan numuneler piroliz cihazının ebatlarında yerleştirilmiştir. Piroliz cihazı 600x1200x1500 mm ölçülerde, 150 kg ağırlığında, 1000 g numune kapasitesindedir. Cihaz 100-550 °C sıcaklık aralığında ve 1-10 °C/dk ısıtma hızına sahiptir. Bir adet paslanmaz elik malzemeden imal edilmiş buhar faz yoğuşturma ünitesi, bir adet paslanmaz elik malzemeden imal edilmiş sıvı faz biriktirme haznesi ve iki adet

paslanmaz çelik malzemeden imal edilmiş gaz trap haznesi bulunmaktadır. Deneylede kullanılan piroliz cihazı Resim 3.2’de gösterilmektedir.



**Resim 3.2** Piroliz cihazı.

### 3.1.3 Diklorometan

Çözücü olarak Metilen klorür olarak da bilinen  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  kimyasal özelliklere sahip diklorometan kullanılmıştır. Moleküler ağırlığı 84,93 g/mol olan diklorometan  $40^\circ\text{C}$  kaynama noktasına ve  $-95,1^\circ\text{C}$  donma noktasına sahiptir. Resim 3.3’te diklorometan gösterilmiştir.



**Resim 3.3** Diklorometan.

### 3.1.4 Ayırma Hunisi

Piroliz cihazında numune, ısıl parçalanma işleminden sonra katı, yakıt, su ve gaz olarak ayrılırlar. Sıvı içerisinde bir miktar su bulunur. Elde edilen ürünü sudan ayırmak için Resim 3.4'te gösterilen ayırma hunisi kullanılmıştır.



**Resim 3.4** Ayırma hunisi.

### 3.1.5 Evaporatör

Diklorometanı yakıttan ayırmak için Heidolph marka G3 model evaporatör kullanılmıştır. Evaporatör cihazı 20°C-210°C sıcaklığı ve 10-280 rpm hız aralığında çalışmaktadır. Resim 3.5'te evaporatör görülmektedir.



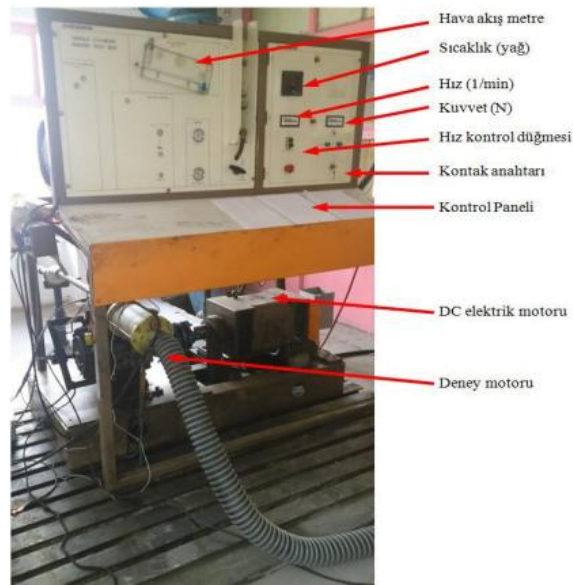
**Resim 3.5** Evaporatör.

### 3.1.6 Span 80

Deneyleerde pirolitik yakıt ve dizel karışımını homojen hale getirmek için sorbitan monooleat (SPAN 80) kullanılmıştır. SPAN 80 emülgatör gruplarından sorbatlar çeşidine girmektedir. Koyu sarı ile kahverengi arasında bir rengi vardır ve yoğun bir kıvamına sahiptir. SPAN 80 pirolitik yakıt ve dizel yakıt karışımına %1 oranında ilave edilmiştir.

### 3.2 Motor Test Düzenegi

Fındık kabuğu pirolitik yakıtının motor performans testleri Gazi Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği bölümü motor test laboratuvarında yapılmıştır. Deneyleerde egzoz emisyon ve motor performans ölçümleri yapılmıştır. Gaz keleşi sabit ve basılı konumda iken sırasıyla 1750, 2000, 2250, 2750 ve 3000 dev/dk olmak üzere beş farklı devirde motora yükleme yapılmıştır. Yapılan deneyleere, tam gaz konumunda ve motor yüksüz bir şekilde başlanmıştır. Motor ile dinamometre yüklenerek motor en düşük devire ininceye kadar yüklemelere devam edilmiştir. Egzoz emisyonları, moment değerleri, yakıt tüketimi ve motor devri eş zamanlı olarak kaydedilmiştir. Aynı şartlar altında en az üç test sonucunda motor devri ve motor momenti verilerinin aritmetik ortalaması alınarak sonuçlar tespit edilmiştir. Hassas terazi ve kronometre kullanılarak ölçülen yakıt sarfiyatı baz alınarak 2 dakikadaki yakıt tüketimlerine göre kaydedilmiştir.



**Resim 3.6** Test düzenegi.



### 3.2.1 Test Motoru Özellikleri

Deneyle tek silindire sahip direkt enjeksiyonlu (DI) bir dizel motorda gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.1’de kullanılacak motorun teknik özellikleri görülmektedir.

**Çizelge 3.1** Antor 6LD400 test motoru özellikleri.

Marka	Antor 6LD400
Motor Tipi	DI, Dizel
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı (mm)	86
Kurs	68
Strok Hacmi (m <sup>3</sup> )	395
Sıkıştırma Oranı	18:1
Maksimum Motor Devri (dev/dk)	3600
Maksimum motor gücü (kW)	5,4 (3000 dev/dk motor devrinde)
Maksimum moment (Nm)	19,6 (2200 dev/dk motor devrinde)
Yanma odası geometrisi	Meksika şapkası
Enjektör delik sayısı ve çapı	4x0,24
Eg. açılma avansı (supap zamanlaması)	AÖN’den 21° KMA önce
Eg. kapanma gecikmesi (supap zamanlaması)	ÜÖN’den 3° KMA sonra

### 3.2.2 Emisyon Cihazı

Test sürecinde egzoz emisyonlarının ölçümü için Resim 3.7 de görüldüğü gibi Bosch BEA 350 model emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihaz, CO, CO<sub>2</sub>, HC, NO emisyonlarını ve is emisyonlarını, egzoz gazının hacimsel debisine oranını (%) olarak ölçebilmektedir. Cihaza ait teknik özellikler Çizelge 3.2’de sunulmuştur.

**Çizelge 3.2** Bosch BEA 350 egzoz emisyonu ölçüm cihazı teknik özellikleri.

Ölçüm	Ölçme aralığı	Hassasiyet
CO <sub>2</sub> , % v/v	0 – 18	0,01
CO, % v/v	0 – 10	0,001
HC, ppm	0 – 9999	1 ppm
NO, ppm	0 – 5000	1 ppm
Duman, %	0 - 100	0,1



**Resim 3.7** Bosch BEA 350 egzoz emisyonu ölçüm cihazı.

### 3.2.3 İS Ölçüm Cihazı

Deneysel çalışmalarda AVL 400 serisi İS ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihazın özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir. Resim 3.8'de ise AVL 4000 DiSmoke egzoz emisyon cihazı gösterilmiştir.

**Çizelge 3.3** AVL 4000 İS ölçüm cihazının teknik özellikleri.

Model	AVL DiSmoke 4000 İS ölçüm cihazı	
Ölçüm prensibi	Kısmi akışlı	
Opasite	0-100 % ölçüm aralığı	Doğruluk % 0,1
K değeri	0-99,99 m <sup>-1</sup>	0,01 m <sup>-1</sup>



**Resim 3.8** AVL 4000 İS ölçüm cihazı.

### 3.3 Üretim Yöntemi

Deneyleerde kullanılan fındık kabuğu ticari bir firmadan tedarik edilmiştir. Piroliz cihazında yapılan deneyler Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Deneyleerde kullanılmak üzere fındık kabukları rindodan geçirilmiş ve hassas terazide tartılarak 100 g olarak numune hazırlanmıştır. Sıcaklık değerlerini optimize etmek için 4 ayrı sıcaklıkta deneyler gerçekleştirilmiş, her bir sıcaklık değeri için katı, yakıt, su ve gaz miktarları belirlenmiştir. Yapılan deneylerde gaz akış hızı 1 L/dk ve ısıtma oranı 10°C/dk olarak sabit tutulmuştur. Akış gazı olarak azot gazı kullanılmıştır. Yapılan ilk deneyler sadece fındık kabuğuyla gerçekleştirilmiş olup, optimum sıcaklık değeri 500°C olarak belirlendikten sonra fındık kabuğuna belirli oranlarda pirinç kabuğu ilave edilerek dönüşüm üzerine etkisi incelenmiştir. Resim 3.9’da deneylerde kullanılan fındık kabuğu ve pirinç kabuğu gösterilmiştir.



**Resim 3.9** Deneyleerde kullanılan fındık kabuğu ve pirinç kabuğu.

Elde edilen pirolitik yakıtın viskozitesi yüksek olduğu için çözücü olarak diklorometan kullanılmıştır. Biriken yakıt–su karışımı, diklorometan kullanılarak numune kaplarına alınmıştır. Elde edilen pirolitik yakıtın içerisindeki katı partikülleri filtre edilerek uzaklaştırılmıştır. Süzme işlemi Resim 3.10’da gösterilmiştir.



**Resim 3.10** Süzme işlemi.

Pirolitik yakıtın içerisindeki suyu uzaklaştırmak için ayırma hunisi kullanılmıştır. Su fazı, yakıt fazından ayrılarak miktarı belirlenmiştir. Ayırma hunisinde yapılan işlemler Resim 3.11 'de gösterilmiştir.



**Resim 3.11** Ayırma hunisinde pirolitik yakıt ve suyu ayırma işlemi.

Çözücü olarak kullanılan diklorometanı pirolitik yakıt içerisinde uzaklaştırmak için evaporatör cihazı kullanılmıştır. Evaporatör cihazı 50°C, 250 rpm ve 45 dakikada çalıştırılmıştır. Evaporatör cihazında ayrıştırılan pirolitik yakıt Resim 3.12'de gösterilmiştir.



**Resim 3.12** Üretilen pirolitik yakıt.

Yapılan çalışmalarda üretilen pirolitik yakıtta ait bazı fiziksel özellikler belirlenmiştir. Ölçümler Afyon Kocatepe Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Akaryakıt Analiz Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. 500°C sıcaklık, %85 fındık ve %15 pirinç kabuğu karışımından üretilen yakıtın özellikleri Çizelge 3.4'de verilmiştir.

**Çizelge 3.4** Üretilen pirolitik yakıtların dizel yakıtla farklı oranda karışımlarının dizel yakıtla karşılaştırılması.

Numune Adı	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Kükürt (ppm)	Su (ppm)	Bakır Şerit	Viskozite (mm <sup>2</sup> /s)
F5	0,83858	40,9	132,17	1a	-
F10	0,84168	90,5	248,25	1a	-
F15	0,84380	371,6	1947,83	1a	-
F20	0,86048	423,6	6832,81	1a	-
F100	1,14199	4000	19356	1a	6,301
Dizel	0,83033	7	35,44	1a	2,7

## 4. BULGULAR

### 4.1 Sıcaklığın Ürün Verimine Etkisi

Fındık kabuğunun pirolizi üzerine sıcaklığın etkisini belirlemek için, sabit ısıtma hızı (10°C/dk), sabit gaz akış hızı (1 L/dk) ve 400-550°C sıcaklık aralığında 50°C'lik artışlarla deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen katı, yakıt, su ve gaz ürünlerinin verimlerinin sıcaklıkla değişimi Çizelge 4.1'de verilmiştir.

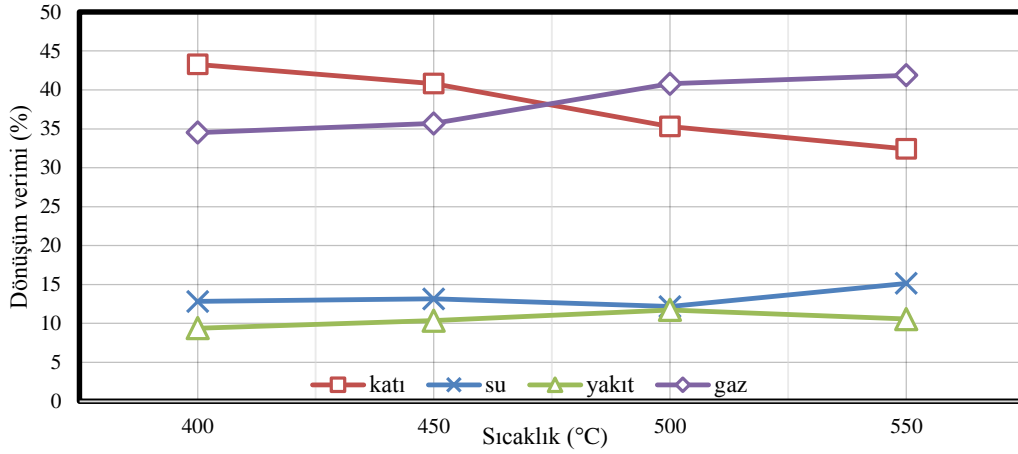
**Çizelge 4.1** Piroliz deneyleri ile elde edilen katı, yakıt, su ve gaz ürünlerin % verimlerinin sıcaklıkla değişimi.

Sıcaklık; °C	% Katı	% Yakıt	% Su	% Gaz <sup>a</sup>
400	43,28	9,39	12,82	34,51
450	40,81	10,35	13,15	35,69
500	35,30	11,74	12,16	40,80
550	32,42	10,56	15,15	41,87

<sup>a</sup> Fark ile belirlenmiştir.

Şekil 4.1, farklı sıcaklıklarda piroliz işlemine tabi tutulan fındık kabuğunun katı, yakıt, su ve gaz ürün verimlerinin dağılımını göstermektedir. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi sıcaklığın artmasıyla katı ürün verimi azalmaktadır. Örneğin 400°C'de %43,28 katı ürün verimi elde edilirken, bu değer 550°C'de %32,42'ye kadar düşmüştür.

Piroliz sıcaklığının artması katı ürün verimini azaltırken yakıt ve gaz ürün verimi artmıştır. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi sıvı verimi 400°C'den 500°C'ye kadar artmış, daha sonra sıcaklığın artmasıyla azalmıştır. Maksimum yakıt verimi ise 500°C'de %11,74 olarak elde edilmiştir ve bu sıcaklık, yakıt verimi için optimum sıcaklık olarak belirlenmiştir.



**Şekil 4.1** Sabit ısıtma hızı ve sabit gaz akış hızında sıcaklık değişiminin katı, sıvı, su ve gaz ürün verimine etkisi.

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi sıcaklık artışıyla gaz ürün verimi sürekli olarak artmıştır. Sıcaklığın 400°C’den 550°C’ye artmasıyla gaz ürün verimi %34,51’den %41,87’ye artmıştır. Pirolitik yakıtın maksimum olduğu 500°C’de ise gaz ürün verimi %40,80 olarak elde edilmiştir. Maksimum yakıt veriminin elde edildiği bu sıcaklıktan sonra yakıt veriminin azalmasına paralel olarak gaz ürün verimi artmıştır. Bunun sebebi yüksek sıcaklıklarda ikincil ve üçüncül parçalanmaların artarak gaz ürün verimini arttırmasıdır (Tiftik 2006).

Atık lastiklerle ilgili yapılan çalışmada sıcaklık, gaz akış hızı ve ısıtma oranı parametrelerinin, piroliz ürünleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada sıcaklık 400, 450, 500°C arasında değiştirilmiş, maksimum ürün veriminin 450°C’de %53,33 olarak belirlenmiştir. Sıcaklık değerinin 450°C’den sonra artmasıyla ürün veriminde bir azalma gözlemlenmiştir (Bahtlı *et al.* 2016).

#### 4.2 Pirinç Kabuğu Karışımının Ürün Verimine Etkisi

Fındık kabuğunun pirolizi üzerine pirinç kabuğunun etkisini belirlemek için, sabit ısıtma hızı (10°C/dk), sabit gaz akış hızı (1 L/dk) ve 500°C sıcaklık değerinde %5, %10, %15, %20 oranlarında pirinç kabuğu ilavesiyle deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen katı, yakıt, su ve gaz ürünlerinin % verimlerinin sıcaklık değişimi Çizelge 4.2’de verilmiştir.

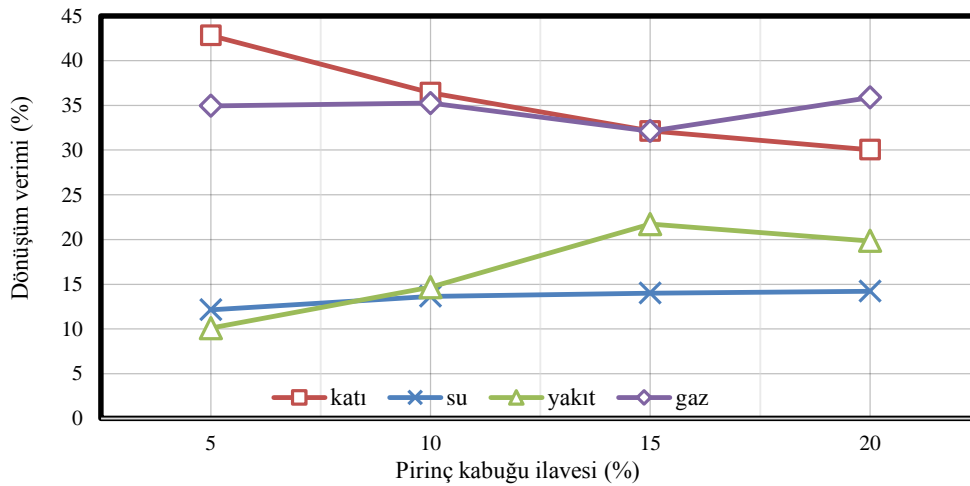
**Çizelge 4.2** Piroлиз deneyleri ile elde edilen katı, yakıt, su ve gaz ürünlerin % verimlerinin pirinç kabuğu ilavesiyle değişimi.

Fındık Kabuğu, %	Pirinç Kabuğu, %	% Katı	% Yakıt	% Su	% Gaz <sup>a</sup>
95	5	42,81	10,09	12,15	34,95
90	10	36,41	14,68	13,66	35,25
85	15	32,14	21,73	14,01	32,12
80	20	30,04	19,85	14,23	35,88

<sup>a</sup> Fark ile belirlenmiştir.

Şekil 4.2 farklı oranlarda pirinç kabuğu ilavesiyle pirolize tabi tutulan fındık kabuğunun katı, yakıt, su ve gaz ürün verimlerinin dağılımını göstermektedir. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi pirinç kabuğu miktarının artmasıyla katı ürün verimi azalmaktadır. Örneğin %5 pirinç kabuğu karışımında %42,81 katı ürün verimi elde edilirken, bu değer %20 pirinç kabuğu karışımında %30,04’e kadar düşmüştür.

Pirinç kabuğu miktarının artması katı ürün verimini azaltırken sıvı ve gaz ürün verimini arttırmıştır. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi sıvı verimi %5 pirinç kabuğu karışımından %15 pirinç kabuğu karışımına kadar artmış, daha sonra pirinç kabuğu miktarının artmasıyla azalmıştır. Maksimum yakıt verimi ise %15 pirinç kabuğu karışımında %21,73 olarak elde edilmiştir ve bu karışım, yakıt verimi için optimum karışım olarak belirlenmiştir.

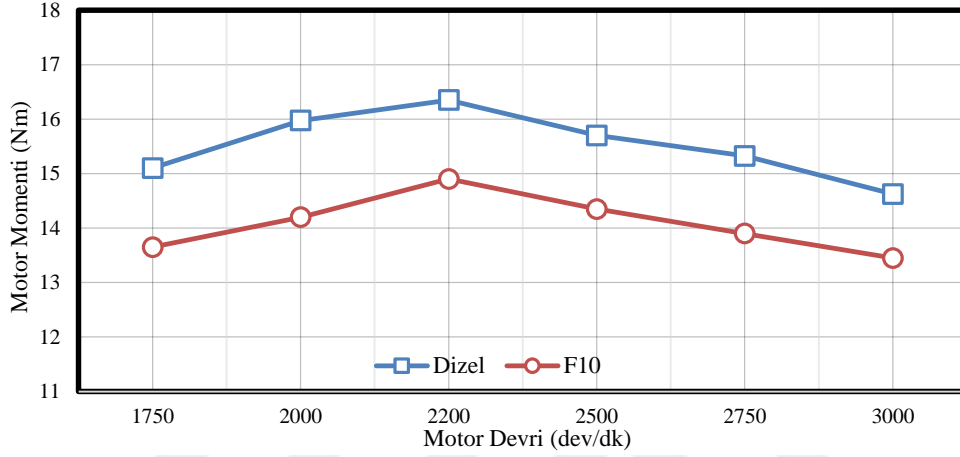


**Şekil 4.2** Sabit ısıtma hızı, sabit gaz akış hızının ve optimum sıcaklıkta pirinç kabuğu ilavesinin katı, yakıt, su ve gaz ürün verimine etkisi.



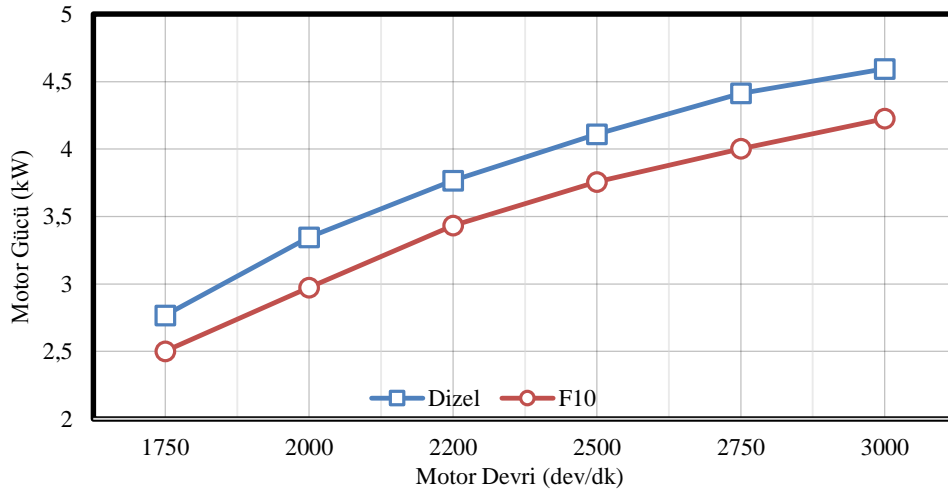
### 4.3 Motor Gücü ve Momenti Değişimi

Motor devrine bağlı olarak motor momentinin değişimi Şekil 4.3’de görülmektedir. Dizel ve F10 yakıtlarının kullanımıyla en yüksek motor momentleri 2200 dev/dk motor devrinde elde edilmiştir. Bu motor devrinde dizel yakıt ile F10 yakıtına göre ortalama %8,86 artış elde edilmiştir.



Şekil 4.3 Dizel ve F10 yakıtlarının motor momentleri değişimleri.

Motor devrine bağlı olarak motor güçlerinin değişimleri Şekil 4.4’de görülmektedir. Maksimum motor güçleri her iki yakıt için 3000 dev/dk motor devrinde elde edilmiştir. Bu motor devrinde dizel ve F10 yakıtları kullanımıyla maksimum motor güçleri sırasıyla 4,59 kW ve 4,22 kW olarak ölçülmüştür.



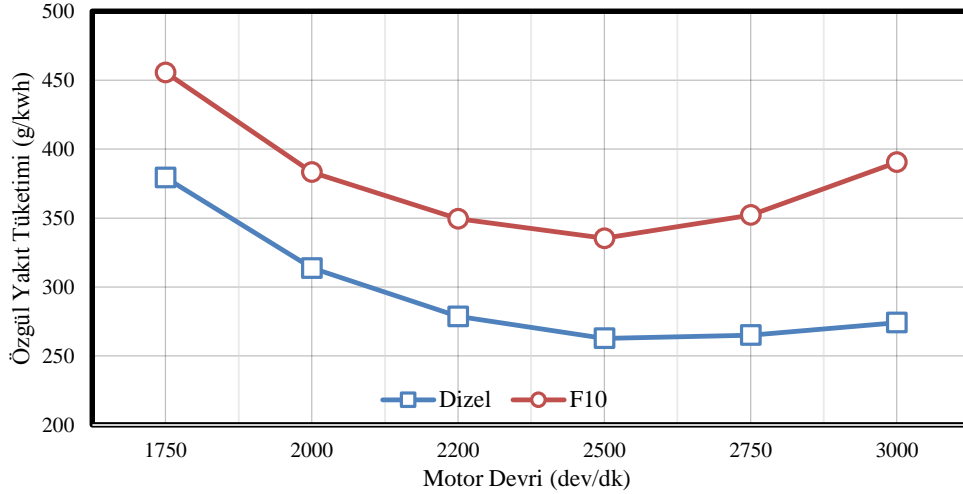
Şekil 4.4 Dizel ve F10 yakıtlarının motor gücü değişimleri

Pirolitik yakıt kullanımı motor momenti ve gücünde azalmaya neden olmuştur. Bunun en temel sebeplerinden biri pirolitik yakıtların ısıl değerlerinin dizel yakıttan daha düşük olmasıdır. Pirolitik yakıtların yüksek viskoziteleri nedeniyle tutuşma gecikmesi süresi uzamakta ve buna bağlı olarak motor momenti ve gücünde bir düşüş oluşmaktadır (Lee *et al.* 2014).

#### 4.4 Özgül Yakıt Tüketimi Değişimi

Bir içten yanmalı motorda aynı motor gücünü elde edebilmek için özgül yakıt tüketimiyle yakıtın ısıl değeri ters orantılı olarak değişmektedir. Mekanik kayıpların yakıtı oranı artan yük ile azaldığı için motor devri arttığında düşük özgül yakıt tüketimi ve yüksek ısıl verim gözlemlenmektedir (Martinez *et al.* 2014).

Şekil 4.5’de motor devrine bağlı olarak özgül yakıt değişimleri görülmektedir. Motor devrinin artması ile özgül yakıt tüketimleri belirli bir değere kadar azalmakta ve sonra artış göstermektedir. Tüm yakıtlar için minimum özgül yakıt tüketimi 2500 dev/dk motor devrinde elde edilmiştir. Bu motor devrinde F10 yakıt kullanımı ile dizel yakıtı göre ortalama % 27,64 artış ölçülmüştür.



Şekil 4.5 Dizel ve F10 yakıtlarının özgül yakıt tüketimleri değişimi.

Özgül yakıt tüketiminin pirolitik yakıt kullanımıyla artmasının temel nedeni düşük kalorifik değere sahip olmasıdır. Dizel yakıt kullanımıyla elde edilen motor gücüne ulaşabilmek için daha fazla pirolitik yakıt tüketilmiştir. Bunun yanı sıra pirolitik

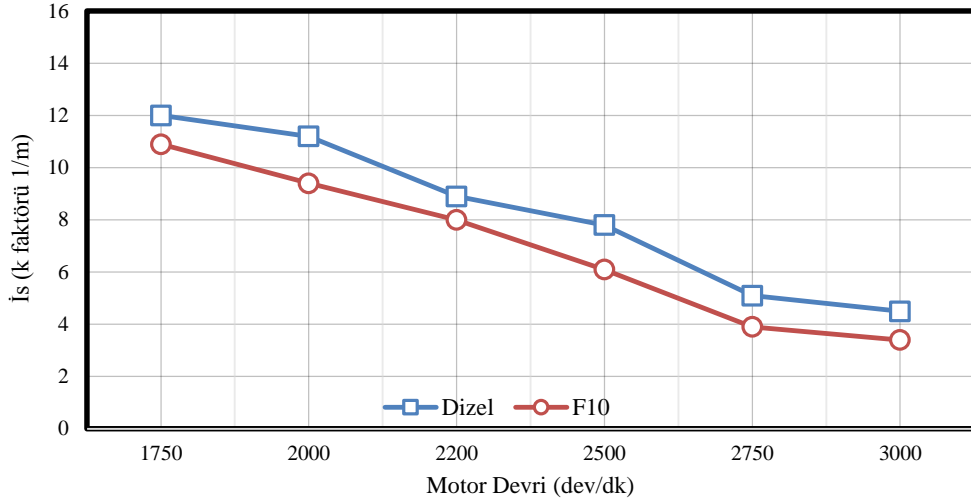
yakıtların yoğunluğu ve viskozitesi dizel yakıttan daha yüksek olduğu için kötü püskürtme, motor yanması ve dolayısıyla yakıt tüketiminin artmasına neden olmaktadır (Wang *et al.* 2016).

#### **4.5 İs Emisyonu Değişimi**

İs emisyonları özellikle hidrokarbondan oluşan yakıtın tam olarak oksitlenmemesi sonucu oluşmaktadır. Silindir içerisine yakıt püskürtüldüğünde yakıtın içerisinde bulunan H<sub>2</sub> molekkülleri silindir içerisindeki O<sub>2</sub> molekkülleri ile hızlı bir şekilde reaksiyona girmektedir. Geriye kalan C yeterli oksijen bulamadığından reaksiyona girememekte ve is partikülü olarak dışarı atılmaktadır (Şen 2012).

Şekil 4.6'da motor devrine bağlı olarak is emisyonu değişimi görülmektedir. Yüksek motor devirlerinde is emisyonu maksimumdur. Motor devrinin artması ile is emisyonu motor devrine bağlı olarak artmaktadır. Minimum is emisyonları dizel ve F10 için 1750 dev/dk motor devrinde elde edilmiştir. Bu motor devrinde F10 yakıtı kullanımı ile is emisyonunda tüketiminde dizel yakıtına göre %21,91 azalma görülmüştür.

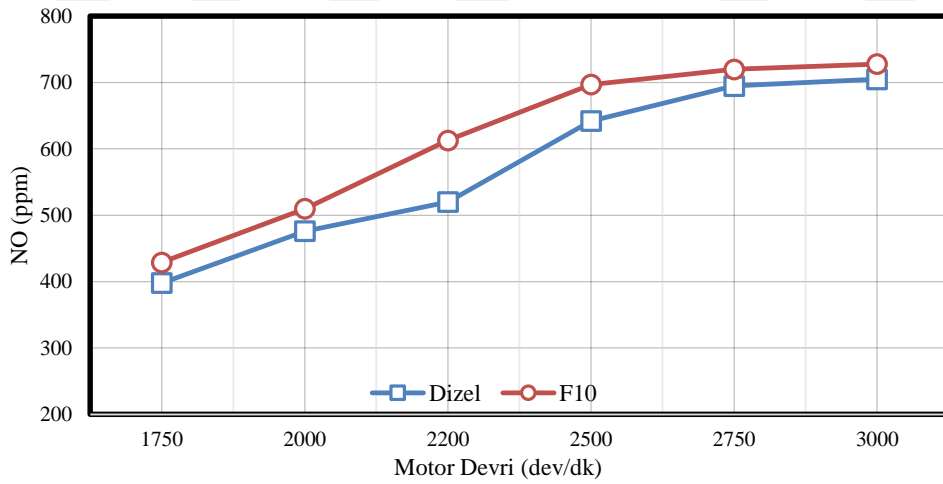
İs emisyonlarının azalmasının temel nedeni yanma bölgelerinde yeterli miktarda oksijen bularak silindir içerisindeki oksitlenme miktarını arttırmasıdır. Bunun yanı sıra pirolitik yakıtların çok az aromatik bileşik içermesi is emisyonlarında azalmalar sağlamaktadır (Şen 2012).



Şekil 4.6 Dizel ve F10 yakıtlarının is emisyonları değişimi.

#### 4.6 NO Emisyonları Değişimi

Şekil 4.7’de motor devrine bağlı olarak dizel ve F10 yakıtı kullanımının NO oluşumuna etkisi görülmektedir. Minimum NO oluşumu 1750 dev/dk motor devrinde elde edilmiştir. Bu devirde F10 yakıtı kullanımı ile dizel yakıtı göre ortalama %7,78 artış ölçülmüştür.



Şekil 4.7 Dizel ve F10 yakıtlarının NO emisyonları değişimi.

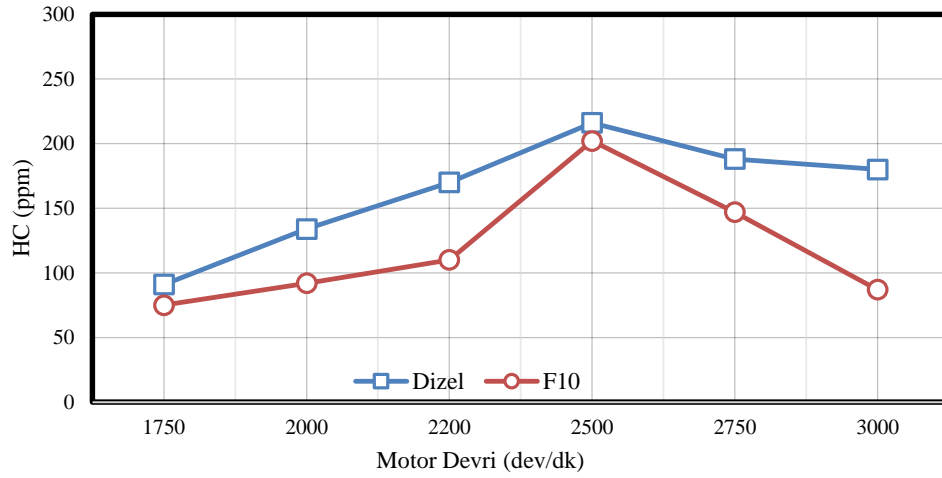
Nitrik oksit, güneşten gelen ultraviyole ışınları ile atmosferdeki ozonla reaksiyona girer ve nitrojen dioksiti üretir. Tüm bu oksitler arasında nitrik oksit, yaşam döngümüzdeki kirletici gazlardan biridir. Hidrokarbon bileşikleri parçalanarak direk NO veya yakıtı bağlı olarak NO<sub>x</sub> şeklinde atmosfere yayılır. NO'nun % 90'ı hidrokarbon bileşiklerine bağlı oluşur. NO oluşumunu etkileyen iki temel faktör sıcaklık ve oksijen fraksiyonudur.

Pirolitik yakıtların içerisinde bulunan fazla su miktarından dolayı yanma sıcaklığını azalır ve pirolitik yakıt kullanımıyla NO emisyonları artar (Prakash *et al.* 2011).

#### 4.7 HC Emisyonları Değişimi

HC emisyonlarının oluşmasındaki temel neden sıcaklıkların veya oksijenin miktarının yetersiz olması sonucunda yanmanın gerçekleşmemesidir. Egzoz gazları içerisinde hidrokarbon miktarının fazla olması yakıtın tam olarak yanmadığını gösterir (Reşitoğlu 2010).

HC emisyonlarının motor devrine bağlı olarak değişimi Şekil 4.8’de görülmektedir. Yanmamış HC emisyonları her iki yakıt için 2500 dev/dk motor devrine kadar artmış, bu motor devrinden sonra azalmıştır. 2500 dev/dk motor devrinde F10 yakıt kullanımı ile HC emisyon değerlerinde dizel yakıtı göre ortalama %6,93 azalma elde edilmiştir.



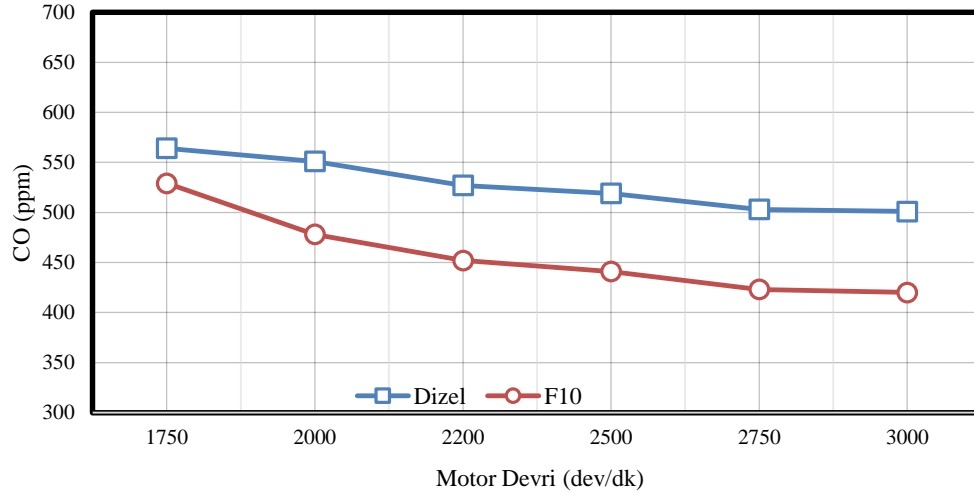
Şekil 4.8 Dizel ve F10 yakıtlarının HC emisyonları değişimi.

HC emisyonlarının 2500 dev/dk motor devrine kadar arttığı, daha sonra azalma meydana geldiği görülmektedir. Yakıt homojenliği ve daha yüksek oksijen içeriği nedeniyle daha düşük devirlerde yanmamış hidrokarbon seviyesi pirolitik yakıtlarda daha azdır. Artan devir miktarıyla birlikte daha yüksek miktarda yakıt girişi olacağından belli bir devre kadar yanmamış hidrokarbon miktarı artmaktadır (Antup and Watwe 2014).

#### 4.8 CO Emisyonları Değişimi

CO emisyonları motorda kullanılmayan kayıp kimyasal enerjiyi ifade etmektedir. Egzoz gazları içerisinde CO emisyonlarının bulunmasının en temel nedeni hava-yakıt oranının düşük olmasıdır. Yanmanın tam gerçekleşmesi halinde CO gazı CO<sub>2</sub> gazına dönüşür. Fakat yakıt-hava karışımındaki hava yetersizliği veya düşük egzoz gazı sıcaklığı sebebiyle yanma tamamlanamaz ve CO gazı oluşur (Sel 2013).

Şekil 4.9’da motor devrine bağlı olarak dizel ve F10 yakıtlarının CO emisyon değerlerindeki değişim görülmektedir. Yapılan testler sonucunda maksimum CO emisyonlarının düşük motor hızlarında olduğu, motor devrinin artışına bağlı olarak azalma gösterdiği görülmektedir. F10 yakıt kullanımı ile CO emisyonlarında ortalama %15,72 azalma olduğu görülmüş, her iki yakıt için minimum emisyon değerleri 3000 dev/dk’da elde edilmiştir.



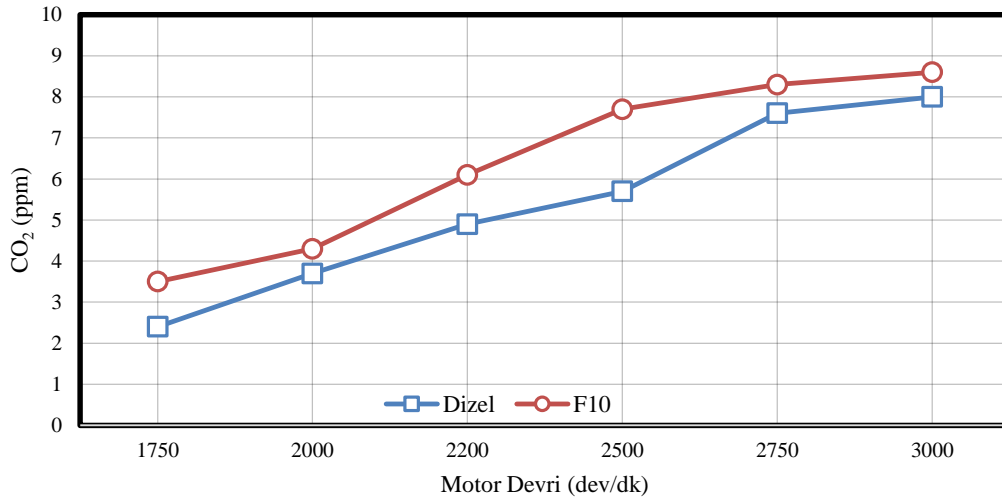
Şekil 4.9 Dizel ve F10 yakıtlarının CO emisyonları değişimi.

CO emisyonları, tipik olarak yanma işleminin tamamlanması için döngüdeki oksijen eksikliği veya mevcut zamandan dolayı eksik yanmanın sonucudur. Genel olarak, motor yükünde veya hızındaki artış CO emisyonlarında azalmaya neden olur. CO emisyonları, daha düşük motor devirlerinde daha yüksek CO<sub>2</sub> emisyonlarına dönüşerek CO<sub>2</sub> emisyonlarını artırır. Yakıttaki tamamen oksitlenmiş karbonlar, daha yüksek CO<sub>2</sub> emisyonlarına yol açmaktadır (Verma *et al* 2018).

#### 4.9 CO<sub>2</sub> Emisyonları Değişimi

Yanma sonucu oluşan gazlardan biri olan CO<sub>2</sub> emisyonu tam yanmayı ifade eden bir değerdir. Renksiz, kokusuz ve zararsız bir gaz olan CO<sub>2</sub>, tam yanma sonucunda meydana gelmektedir. Yakıtın içerisinde bulunan karbon ve hidrojen bileşenlerinin yanma sonucunda ayrışmasıyla hidrojen bileşeni suya dönüşür. Karbon bileşeni ise yeterli miktarda oksijen bulduğunda CO<sub>2</sub>, bulamaması durumunda CO emisyonlarına dönüşmektedir (Alçelik 2017).

Şekil 4.10'da motor devrinin artması ile CO<sub>2</sub> emisyonları her iki yakıt için artış göstermektedir. Minimum CO<sub>2</sub> emisyonları tüm yakıtlar için 1750 dev/dk motor devrinde elde edilmiştir. F10 yakıtı kullanımı ile CO<sub>2</sub> emisyon değerlerinde dizel yakıtına göre ortalama olarak %23,05 artış gözlemlenmiştir.



Şekil 4.10 Dizel ve F10 yakıtlarının CO<sub>2</sub> emisyonlarının değişimi.

Karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) emisyonu, yakıtta bulunan karbon atomlarının tamamen oksitlendiği tam yanmanın bir sonucudur. CO<sub>2</sub> emisyonlarındaki artış ile F10 arasında neredeyse doğrusal bir ilişki gözlemlenmektedir. Bunun nedeni, pirolitik yakıtların karbon oranının (C: H = 10.34) dizelden (C: H = 6.47) daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Yanma sonucu daha fazla karbon oksitlenmiş ve dolayısıyla CO<sub>2</sub> emisyonlarında bir artış meydana gelmiştir (Kalargaris *et al.* 2017).

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada; fındık kabuğundan, piroliz yöntemi ile pirolitik yakıt üretimi gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık ve pirinç kabuğu ilavesinin verim üzerine etkileri incelenerek üretilen pirolitik yakıtın bazı fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Dizel ve F10 yakıtlarının egzoz emisyonu ve motor performansına etkileri direkt enjeksiyonlu ve tek silindirli bir dizel motorunda incelenmiştir.

Saf fındık kabuğunun piroliz işleminde 500°C sıcaklık, 10°C/dk ve 1L/dk gaz akış hızında dönüşüm verimi %11,74, %15 pirinç kabuğu-%85 fındık kabuğu karışımının piroliz işleminde 500°C sıcaklık, 10°C/dk ve 1L/dk gaz akış hızında dönüşüm verimi %21,73 olarak belirlenmiştir. %15 pirinç kabuğu ilavesiyle yakıt veriminde %85,09 artış meydana gelmiştir. Yakıt veriminde meydana gelen bu artışın pirinç kabuğu içerisinde bulunan silisyum bileşiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Gerçekleştirilen motor deneylerinde hazırlanan F10 yakıt karışımı yakıt enjektörlerini tıkadığı için %1 oranında SPAN 80 ilave edilmiş ve daha homojen bir karışım elde edilmiştir. Deneyler SPAN 80 ilavesinden sonra gerçekleştirilmiştir.

F10 yakıt kullanımıyla dizel yakıtı göre motor gücünde ve momentinde ortalama %10,20 azalma meydana gelmiştir. Bu durumun temel nedeni pirolitik yakıtlarının ısı değeri dizel yakıtı göre düşük olmasıdır. Ayrıca yüksek viskoziteden dolayı büyük parçacık boyutunda püskürtülen yakıtlar yakıtın yanma ve buharlaşma süresini uzatmaktadır. Bu durum motor momentinde bir azalmaya neden olmaktadır.

Özgül yakıt tüketimi (SFC) değerlerinde F10 yakıt kullanımıyla dizel yakıtı göre ortalama %28,42 artış meydana gelmiştir. Özgül yakıt tüketiminin pirolitik yakıt kullanımıyla artmasının temel nedeni düşük kalorifik değere sahip olmasıdır. Bunun yanı sıra pirolitik yakıtların yoğunluğu ve viskozitesi dizel yakıttan daha yüksek olduğu için kötü püskürtme ve dolayısıyla yakıt tüketiminin artmasına neden olmaktadır.

İs emisyonları düşük motor devirlerinde maksimumdur. Motor devrinin artmasıyla her iki yakıt için is emisyon değerlerinde azalma gözlemlenmiştir. F10 yakıt kullanımıyla



dizel yakıtına göre ortalama %21,91 azalma elde edilmiştir. Pirolitik yakıtların içerisinde bulunan oksijen miktarının fazla olması yanma sürecini uzattığı için is emisyonlarında azalmaya sebep olduğu düşünülmektedir.

Genel olarak motor devir sayısı arttıkça NO emisyonları artış göstermiştir. Pirolitik yakıt kullanımıyla dizel yakıtına göre ortalama %8,04 artış meydana gelmiştir. Pirolitik yakıtların içerisinde bulunan fazla su miktarından dolayı yanma sıcaklığının azaldığı ve pirolitik yakıt kullanımıyla NO emisyonlarının arttığı düşünülmektedir.

HC emisyonları dizel yakıtına göre ortalama %43,87 azalmıştır. Pirolitik yakıtlar içeriğindeki fazla oksijen miktarı sebebiyle dizel yakıtlara göre daha iyi yanma performansı sergilemektedir. Bu durum sonucunda HC emisyonlarının azaldığı düşünülmektedir.

Her iki yakıt için motor devri arttıkça CO emisyonlarında bir azalma meydana gelmiştir. Pirolitik yakıt kullanımı ile dizel yakıtlara göre CO emisyonlarında ortalama %15,72 azalma elde edilmiştir. Oksijenin yetersiz olduğu durumlarda yanma sonucunda CO emisyonu salınımı artmaktadır.

CO<sub>2</sub> emisyonlarında pirolitik yakıt kullanımıyla dizel yakıtına göre ortalama %23,05 artış gözlemlenmiştir. Yanma sonucu daha fazla karbon oksitlenmiş ve dolayısıyla CO<sub>2</sub> emisyonlarında bir artış meydana gelmiştir.

Günümüzde alternatif yakıtlar üzerine yapılan çalışmalarda başlıca; motor performansını artırma, yakıt tüketimini azaltma ve egzoz emisyon değerlerini azaltarak çevre dostu yakıtlar kullanma üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışma sonucuna göre fındık kabuğu ve pirinç kabuğu karışımından elde edilen pirolitik yakıtın dizel motora benzer karakteristiklere sahip olduğu anlaşılmıştır.

Genel olarak pirolitik yakıtlarının viskozite değerlerinin yüksek olması motor momentinde ve gücünde düşüğe sebep olmaktadır. Alternatif bir yakıt olarak kullanılabilmesi için çalışmalar özellikle viskozite üzerine yoğunlaşmalıdır.

Bazı pirolitik yakıtlar dizel yakıtla homojen olarak tam karışmadığı için bu karışımı iyileştirecek farklı kimyasal katkı maddeleri kullanılabilirliğinin araştırılması yapılmalıdır. Dizel motor üzerinde bazı değişiklikler yapılarak pirolitik yakıt ve dizel yakıt karışımlarına uygun bir sistem üzerine araştırmalar yapılmalıdır. Yakıt verimini arttırmak için pirinç kabuğu yerine farklı bir biyo atık kullanımının araştırılması yapılmalıdır.

Üretilen bu pirolitik yakıtlar uzun süre common-rail ve elektronik kontrollü dizel yakıt sisteminde kullanılarak motor parçaları üzerine etkisi incelenmelidir. Yapılan deneyler motor devir sayıları artırılarak daha detaylı grafiklerle sonuçlar incelenmelidir. Motor performans ve egzoz emisyon değerlerine ek olarak silindir içi basınç verileri, yanma analizleri, egzoz gazı sıcaklıkları, tutuşma gecikmesi değerleri belirlenmelidir.

Motor deneylerinde pirolitik yakıt dizel yakıtı karışımlarının, motorun değişik parametrelerine (enjektör püskürtme basıncı, enjektör püskürtme zamanlaması), motor gücüne ve emisyonlarına etkileri incelenmelidir.

## 6. KAYNAKLAR

- Acma, H., Yaman, S. (2010). production of smokeless bio-briquettes from hazelnut shell. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science Vol II WCECS. San Francisco, USA.
- Agarwal, A.K. (2007). Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. *Progress in Energy and Combustion Science*, **33**: 233-271.
- Aksoy, L. (2010). Alternatif enerji kaynağı olarak biyodizel ve üretim prosesleri. *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)*, **2**: 45-52.
- Aktaş, A.R., Öztürk, E., Hatırlı S.A. (2009). Dünya fındık piyasasında türkiye'nin rolü. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, **1**:1.
- Alagu, R.M., Sundaram, E.G. (2018). Preparation and characterization of pyrolytic oil through pyrolysis of neem seed and study of performance, combustion and emission characteristics in CI engine. *Journal of the Energy Institute*, **91**: 100-109.
- Alçelik, N. (2017). Atık yağlardan üretilen biyodizelin tek silindirli bir dizel motorun performans, egzoz emisyonları ve titreşimine olan etkilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Düzce.
- Altunbaş, O. (2015). Pelemin bitkisinin pirolizi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Angın, D. (2013) Effect of pyrolysis temperature and heating rate on biochar obtained from pyrolysis of safflower seed press cake. *Bioresource Technology*, **128**: 593-597.
- Anup, T.J., Watwe, V. (2014). Waste plastic pyrolysis oil as alternative for si and ci engines. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, **3**:7.
- Arpa, O. (2009). Performance and exhaust emission tests of fuels obtained from waste lubrication oil by pyrolytic distillation. Doktora Tezi. Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Gaziantep.

- Atmanlı, A. (2013). Dizel motorunda dizel yakiti - alkol – bitkisel yağ karışımları kullanımının motor karakteristiklerine etkilerinin incelenmesi. Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Bahtlı, T., Karadağ, H.B., Hopa D.Y., Yastı Ş.Y. (2016). Yields and sulphur contents of pyrolysis products of waste tires. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)*, **3:4**.
- Chen, D., Li, Y., Cen, K., Luo, M., Li, H., Lu, B. (2016). Pyrolysis polygeneration of poplar wood: Effect of heating rate and pyrolysis temperature. *Bioresource Technology*, **218**: 780-788.
- Çağlar, A. (2007). Biyokütlenin katalitik pirolizi: biyokütlenin yapısal bileşiminin sıvı ürün verimine etkisi. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, **15:2**, 651-660.
- Çevik K. (2012). Tek silindirli bir dizel motorunda atık kızartma yağı metil esterinin, petrol dizeli ile karışımının ve ön ısıtmalı mısır yağı kullanımının etkisinin deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Denizköpüğü, B. (2017). Dizel motorlar için endüstriyel bilgisayar ile yakıt püskürtme sistemi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Doğan, O. (2012). Atık taşıt lastiğinden üretilen pirolitik yakıtın bir dizel motorda kullanımının deneysel olarak araştırılması. Doktora Tezi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Karabük.
- Eliçin, A.K., Biyodizel yakıtla çalıştırılan küçük güçlü bir dizel motorun performans ve emisyonuna giriş hava basıncı etkisinin deneysel olarak araştırılması. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ferreira, C.I.A., Calisto, V., Cuerda-Correa, E.M., Otero, M., Nadais, H., Esteves, V.I. (2018). Comparative valorisation of agricultural and industrial biowastes by combustion and pyrolysis. *Bioresource Technology*, **218**: 918-925.
- Guedes, R.E., Luna, A.S., Torres, A.R. (2018). Operating parameters for bio-oil production in biomass pyrolysis: A review. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **129**: 134-149.

- Hassan, M.H., Kalam, M.A. (2013). An overview of biofuel as a renewable energy source: development and challenges. *Procedia Engineering*, **56**: 39-53.
- Hekimoğlu, B., Altındeğer, M. 2017. Fındık sektörünün mevcut durumu. Samsun Valiliği Gıda Tarım ve Hayvancılık İl Müdürlüğü. Samsun.
- Honus, S., Kumagai, S., Molnár, V., Fedorko, G., Yoshioka, T., Pyrolysis gases produced from individual and mixed PE, PP, PS, PVC, and PET—Part II: Fuel characteristics. *Fuel*, **221**: 361-373.
- Hoşgün, E.Z., Bozan, B. (2017). Düşük sıcaklık düşük zaman alkali ön işlemlerinin fındık kabuğunun bileşimi ve enzimatik hidrolizi üzerine etkisinin incelenmesi. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* **32**: 517-529.
- Jiaqiang, E., Pham, M., Zhao, D., Deng, Y., Le, D., Zuo, W., Zhu, H., Liu, T., Peng, Q., Zhang, Z. (2017). Effect of different technologies on combustion and emissions of the diesel engine fueled with biodiesel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **80**: 620-647
- Jouhara, H., Ahmad, D., Boogaert, I., Katsou, E., Simons, S., Spencer, N. (2018). Pyrolysis of domestic based feedstock at temperatures up to 300°C. *Thermal Science and Engineering Progress*, **5**: 117-143.
- Kalargaris, I., Tian, G., Gu, S. (2017). Combustion, performance and emission analysis of a DI diesel engine using plastic pyrolysis oil. *Fuel Processing Technology*, **157**: 108-115.
- Kalargaris, I., Tian, G., Gu, S. (2018). Experimental characterisation of a diesel engine running on polypropylene oils produced at different pyrolysis temperatures. *Fuel*, **211**: 797-803.
- Kan, T., Strezov, V., Evans, T.J. (2016). Lignocellulosic biomass pyrolysis: A review of product properties and effects of pyrolysis parameters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **57**: 1126-1140.
- Kanthavelkumaran, N., Seenikannan, P. (2012). Recent trends and applications of bio diesel. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, **2**: 197-203.

- Karaosmanoğlu, H., Üstün, N.Ş. (2017). Organik ve konvansiyonel fındıkların (corylus avellana l.) bazı fiziksel özellikleri. *Akademik Gıda Dergisi*, **15:4**, 377-385.
- Kaya, A. (2007). Kızartma atığı yağlarından süperkritik alkol transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel elde edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Lee, S., Yoshida, K., Yoshikawa, K. (2014). Application of waste plastic pyrolysis oil in a direct injection diesel engine: for a small scale non-grid electrification. *Energy and Environment Research*; **5:1**.
- Martinez, J.D., Fernandez, J.R., Valdepeñas, J.S., Murillo, R., Garcia, T. (2014). Performance and emissions of an automotive diesel engine using a tire pyrolysis liquid blend. *Fuel*, **115**: 490-499.
- Nabi, M.N., Zare, A., Hossain, F.M., Ristovski, Z.D., Brown, R.J. (2017). Reductions in diesel emissions including PM and PN emissions with diesel-biodiesel blend. *Journal of Cleaner Production*, **166**: 860-868
- Ningbo, G., Baoling, L., Aimin, L., Juanjuan, L. (2015). Continuous pyrolysis of pine sawdust at different pyrolysis temperatures and solid residence times. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **114**: 155-162.
- Olgun, A. (2005). Bazı biyokütlelerin pirolizi ve piroliz ürünlerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Örs, İ. (2014). Biyoyakıt kullanan bir dizel motorunun performans, yanma ve emisyon analizi. Doktora Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Konya.
- 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* **28:3** 473-479.
- Özdemir, Z.Ö., Mutlubaş, H. (2016). Biyodizel üretim yöntemleri ve çevresel etkileri. *Kirklareli University Journal of Engineering and Science*, **2**: 129-143.
- Pan, P., Hu, C., Yang, W., Li, Y., Dong, L., Zhu, L., Tong, D., Qing, R., Fan Y. (2010). The direct pyrolysis and catalytic pyrolysis of Nannochloropsis sp. residue for renewable bio-oils. *Bioresource Technology* **101**: 4593–4599.

- Prakash, R., Singh, R.K., Murugan, S. (2011). Performance and emission studies in a diesel engine using bio oil-diesel blends. 2nd International Conference on Environmental Science and Technology, Singapore.
- Qureshi, K.M., Lup, A.N.K., Khan, S., Abnisa, F., Daud, W.M.A.W. (2018). A technical review on semi-continuous and continuous pyrolysis process of biomass to bio-oil. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **131**: 52-75.
- 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. Mersin.
- Sakthivel, R., Ramesh, K., Purnachandran, R., Shameer P.M. (2018). A review on the properties, performance and emission aspects of the third generation biodiesels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **82**: 2970-2992.
- Sel, Ö.F. (2013). Atık biyodizel kullanılan bir motorda yakıt katkısının performans ve emisyonlarına etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Karabük.
- Şen, S. (2012). Hayvansal yağlardan biyodizel üretimi ve dizel motor performans ve emisyonlarına etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Karabük.
- Şensöz, S., Angın, D. (2008). Pyrolysis of safflower (*Charthamus tinctorius* L.) seed press cake: Part 1. the effects of pyrolysis parameters on the product yields. *Bioresource Technology*, **99**: 5492-5497.
- Sharma, R., Sheth, P.N. (2015), Thermo-chemical conversion of jatropha deoiled cake:pyrolysis vs. gasification. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, **6**: 5.
- Shen, J., Wang, X., Garcia-Perez, M., Mourant, D., Rhodes, M.J., Li, C. (2009). Effects of particle size on the fast pyrolysis of oil mallee woody biomass. *Fuel*, **88**: 1810-1817.
- Sobutay, T. (2016). Fındık sektör araştırması, İstanbul Ticaret Odası Dış Ticaret Şubesi Uygulama Servisi.

- Terzioğlu, P. (2010). Buğday ve pirinç kabuğu külünden magnezyum silikat üretimi ve adsorpsiyon performansının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Tiftik, B.E. (2006). Çay fabrikası atığının pirolizi ve piroliz ürünlerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Topçuoğlu, G. (2008). Uluslararası piyasada findığın Türkiye ekonomisine katkısı ve sorunları. Yüksek Lisans Tezi. Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Tekirdağ.
- Tripathi, M., Sahu, J.N., Ganesan, P. (2016). Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **55**: 467-481.
- Tripathi, M., Sahu, J.N., Ganesan, P. (2016). Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **55**: 467-481.
- Umeki, E.R., Oliveira, C.F., Torres, R.B., Santos, R.G. (2016). Physico-chemistry properties of fuel blends composed of diesel and tire pyrolysis oil, *Fuel* **185**: 236–242.
- Uncu, E.B. (2008). Farklı lamine ambalajların öğütölmüş findıklarda oksidasyon ve toplam tokoferol düzeyi üzerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara.
- Ürün, E., Soyu, E. (2016). Türkiye'nin enerji üretiminde yenilenebilir enerji kaynakları üzerine bir değerlendirme. *Sosyal Bilimler Dergisi*, ICEBSS Özel Sayısı.
- Verma, P., Zare, A., Jafari, M., Bodisco, T.A., Rainey, T., Ristovski, Z.D., Brown, R.J. (2018). Diesel engine performance and emissions with fuels derived from waste tyres. *Nature Research Journals*, **8**:2457
- Wang, W., Bai, C., Lin, C., Prakash, S. (2016). Alternative fuel produced from thermal pyrolysis of waste tires and its use in a DI diesel engine. *Applied Thermal Engineering*, **93**:330-338



- Xiong, Z., Wang Y., Syed-Hassan, S.S.A., Hu, X., Han, H., Su, S., Xu, K., Jiang, L., Guo, J., Berthold, E.E.S., Hu, S., Xiang, J. (2018). Effects of heating rate on the evolution of bio-oil during its pyrolysis. *Energy Conversion and Management*, **163**: 420-427
- Yücel, N. (2016). The performance and emission studies of biodiesel produced from tea seed oil and its blend with diesel fuel. Msc Thesis, Çukurova University, Institute of Natural and Applied Sciences, Adana.
- Zaharin, M.S.M., Abdullah, N.R., Najafi G., Sharudin, H., Yusaf, T. (2017). Effects of physicochemical properties of biodiesel fuel blends with alcohol on diesel engine performance and exhaust emissions: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **79**: 475-493.
- Zhang, H., Xiao, R., Huang, H., Xiao, G. (2009). Comparison of non-catalytic and catalytic fast pyrolysis of corncob in a fluidized bed reactor. *Bioresource Technology*, **100**: 1428-1434.
- Zhao, N., Li, B. (2016). The effect of sodium chloride on the pyrolysis of rice husk. *Applied Energy*, **178**: 346–352.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Furkan  
Doğum Yeri ve Tarihi : Akbulut  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : 0553 220 44 49 / 58furkanakbulut@gmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : 24 Kasım Anadolu Lisesi, (2008-2012)  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, (2012-2016)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, (2016-2018)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Afyonkarahisar ÖSYM İl Sınav Koordinatörlüğü (2017-Devam Ediyor)