

**BİYODİZEL İÇERİSİNE METALİK ESASLI YAKIT  
KATKI MADDESİ İLAVESİNİN MOTOR  
PERFORMANSI VE EGZOZ EMİSYONLARI  
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet OPUZ

Danışman

Prof. Dr. Fatih AKSOY

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞUBAT 2022

Bu tez çalışması 20.FEN.BİL.05 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BİYODİZEL İÇERİSİNE METALİK  
ESASLI YAKIT KATKI MADDESİ  
İLAVESİNİN MOTOR PERFORMANSI  
VE EGZOZ EMİSYONLARI  
ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN  
İNCELENMESİ**

**Mehmet OPUZ**

**DANIŞMAN**

**Prof. Dr. Fatih AKSOY**

**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM  
DALI**

**ŞUBAT 2022**

## TEZ ONAY SAYFASI

Mehmet OPUZ tarafından hazırlanan "Biyodizel İçerisine Metalik Esaslı Yakıt Katkı Maddesi İlavesinin Motor Performansı ve Egzoz Emisyonları Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi" adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 24 / 02 / 2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** :Prof. Dr. Fatih AKSOY

**Başkan** :Doç. Dr. Yaşar Önder ÖZGÖREN  
Afyon Kocatepe Üniversitesi,  
Teknoloji Fakültesi

İmza 

**Üye** :Prof. Dr. Fatih AKSOY  
Afyon Kocatepe Üniversitesi,  
Teknoloji Fakültesi

İmza 

**Üye** :Doç. Dr. Ahmet UYUMAZ  
Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi  
MühendislikMimarlık Fakültesi

İmza 

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

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

## BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

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

**beyan ederim.**

24/02/2022

  
Mehmet OPUZ

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### BİYODİZEL İÇERİSİNE METALİK ESASLI YAKIT KATKI MADDESİ İLAVESİNİN MOTOR PERFORMANSI VE EGZOZ EMİSYONLARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Mehmet OPUZ

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Fatih AKSOY

Bu çalışmada, kanola yağından transesterifikasyon yöntemi kullanılarak biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Biyodizel dizel yakıtı içerisine %20 oranında ilave edilerek B20 yakıtı elde edilmiştir. B20 yakıtı içerisine 50 ppm, 100 ppm ve 150 ppm oranlarında karbon nanopartikül (karbon quantum nokta) ilave edilmiştir. Test yakıtlarının motor performans, yanma karakteristikleri ve emisyonları üzerine etkileri tek silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı bir dizel motorunda incelenmiştir. Deneyle 2200 d/dk motor devrinde 4,12 Nm, 9,61 Nm, 15,10 Nm ve 20,60 Nm motor yüklerinde gerçekleştirilmiştir. Düşük motor yüklerinde dizel yakıtı ile daha fazla silindir basıncı ölçülürken, özellikle motor yükünün artması ile dizel yakıtı ve karışım yakıtlar arasında silindir basıncı açısından farkın azaldığı belirlenmiştir. Maksimum özgül yakıt tüketimi tüm motor yüklerinde B20 yakıtı ile elde edilirken, karbon nanopartikül ilavesi ile yakıt ekonomisinin iyileştiği gözlenmiştir. En düşük maksimum basınç artış oranı ve vuruğu yoğunluğu değerleri dizel yakıtı ile elde edilmiştir. Karbon nanopartikül ilavesi ile dizel yakıtına göre HC ve is emisyonlarında azalma, NO<sub>x</sub> ve CO emisyonlarında artışlar gözlenmiştir.

**2022, ix+46 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Biyodizel 1, Motor performansı 2, Yakıt 3, Nanopartikül 4

## **ABSTRACT**

M.Sc. Thesis

### INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ADDITIONAL METALLIC FUEL ADDITIVE INTO BIODIESEL ON ENGINE PERFORMANCE AND EXHAUST EMISSIONS

Mehmet OPUZ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Prof. Fatih AKSOY

In this study, biodiesel was produced from canola oil using the transesterification method. B20 fuel was obtained by adding 20% of biodiesel to diesel fuel. Carbon nanoparticles (carbon quantum dots) were added to B20 fuel at the rates of 50 ppm, 100 ppm and 150 ppm. The effects of test fuels on engine performance, combustion characteristics and emissions were investigated in a single-cylinder, four-stroke, water-cooled diesel engine. The experiments were carried out at engine speed of 2200 rpm at engine loads of 4.12 Nm, 9.61 Nm, 15.10 Nm and 20.60 Nm. While more cylinder pressure was measured with diesel fuel at low engine loads, it was determined that the difference in cylinder pressure between diesel fuel and mixed fuels decreased with increasing engine load. While maximum specific fuel consumption was achieved with B20 fuel at all engine loads, it was observed that fuel economy improved with the addition of carbon nanoparticles. The lowest maximum pressure rise rate and knock intensity values were obtained with diesel fuel. With the addition of carbon nanoparticles, a decrease in HC and soot emissions, and an increase in NO<sub>x</sub> and CO emissions were observed compared to diesel fuel.

**2022, ix+46 pages**

**Keywords:** Biodiesel 1, Engine performance 2, Fuel 3, Nanoparticle 4

## TEŐEKKÖR

Bu tez alıŐmam sűresince, baŐından itibaren alıŐmalarımın yűnlendirilmesinde, uygulamaların gerekleŐtirilmesinde, sonuç ve yazım aŐamasında değerli katkılarından dolayı tez danıŐmanım Prof. Dr. Fatih AKSOY'a, deneysel çalıŐmalarda katkılarından dolayı Mustafa BABAGİRAY ve Tolga KOCAKULAK'a, tez yazım aŐamasında yardımlarını ve manevi desteklerini esirgemeyen eŐim Norhani MAMUKİD OPUZ ve baŐta annem olmak űzere aileme sonsuz teŐekkűr, saygı ve sevgilerimi sunarım.

Bu tez alıŐması 20.FEN.BİL.05 numaralı proje ile Afyon Kocatepe űniversitesi Bilimsel AraŐtırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiŐtir.

Mehmet OPUZ  
Afyonkarahisar 2022

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	viii
RESİMLER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ .....	1
2. DİZEL MOTORLARDA YANMA ve YAKIT ÖZELLİKLERİ.....	3
2.1 Dizel Motorlarda Yanma .....	3
2.1.1 Tutuşma Gecikmesi .....	4
2.1.2 Kontrolsüz Yanma .....	5
2.1.3 Kontrollü yanma .....	5
2.1.4 Art Yanma .....	5
2.2 Dizel Yakıt Özellikleri .....	5
2.2.1 Setan Sayısı .....	6
2.2.2 Dizel İndeksi.....	6
2.2.3 Kinematik Viskozite .....	7
2.2.4 Yoğunluk.....	7
2.2.5 Isıl Değer .....	8
2.2.6 Kükürt ve Kül Miktarı .....	8
2.2.7 Distilasyon.....	9
2.2.8 Parlama Noktası.....	9
2.2.9 Soğuk Akış Özellikleri.....	9
3. BİTKİSEL YAĞLAR VE BİYODİZEL .....	10
3.1 Bitkisel Yağlar ve Kanola Bitkisi .....	10
3.2 Biyodizel ve Biyodizel Üretim Yöntemleri.....	11
3.2.1 Seyreltme.....	12
3.2.2 Mikroemülsiyon .....	12



3.2.3 Piroliz .....	12
3.2.4 Transesterifikasyon.....	13
4. KAYNAK ÖZETLERİ .....	14
5. MATERYAL VE METOT.....	17
5.1 Biyodizel üretimi ve yakıtların özellikleri .....	17
5.2 Deney Verilerinin Analizi.....	18
5.3 Motor Test Ekipmanları.....	21
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	23
7. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	36
8. KAYNAKLAR .....	39
ÖZGEÇMİŞ.....	46

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

---

$T_{50}$	Yakıtın %50'sinin damıtıldığı sıcaklık
$P_a$	Ölçülen silindir basıncı
$m^3/KA$	Krank mili açısına bağlı silindir hacmi değişimi
$P_a/KA$	Krank mili açısına bağlı silindir basınç değişimi
$P_e$	Motorun efektif gücü
$\dot{m}_y$	Bir çevrimde silindire alınan yakıt miktarı
$P_i$	Fonksiyonların silindir basınç sinyali
$i$	İndisleri belirli krank mili aralıkları
$P$	Ölçülen silindir basıncı
$V$	Silindir hacmi
$KA_{50}$	Kümülatif ısı dağılımının %50'sinin krank açısı
$\eta_T$	Isıl verim
$W_{net}$	Elde edilen faydalı iş
$\dot{m}Q_{LHV}$	Yakıt ile elde edilen ısı enerjisi
$RI$	Vuruntu yoğunluğu
$\dot{V}_{mep}$	İndike ortalama efektif basınç
$V_{kurs}$	Kurs hacmi
$\gamma$	Maksimum silindir basıncı indeksi
$P_{max}$	Maksimum basınç artış oranı
$T_{max}$	Maksimum sıcaklık

### Kısaltmalar

---

AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
API	American Petroleum Institute
GAP	Güney Anadolu Projesi
M.Ö.	Milattan Önce
ÜÖN	Üst Ölü Nokta
TG	Tutuşma Gecikmesi

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Dizel motorlarında yanma süreci. ....	3
Şekil 2.2 Yanma sürecinin aşamaları.....	4
Şekil 3.1 Piroлиз işlemi. ....	13
Şekil 3.2 Transesterifikasyon reaksiyonu. ....	13
Şekil 5.1 Deney düzeneği.....	21
Şekil 6.1 Karbon nanopartikülün silindir basıncı ve ısı dağılımı üzerindeki etkileri. ....	24
Şekil 6.2 Tutuşma gecikmesi. ....	25
Şekil 6.3 Özgül yakıt tüketimi değişimi. ....	26
Şekil 6.4 KA50 ve ısıl verim değişimi.....	27
Şekil 6.5 Yanma süresi. ....	28
Şekil 6.6 İndike ortalama efektif basınca bağlı çevrimsel farklılıklar.....	29
Şekil 6.7 50 çevrime bağlı imep değişimi.....	30
Şekil 6.8 Maksimum basınç artış oranı değişimi.....	31
Şekil 6.9 Vuruntu yoğunluğu. ....	32
Şekil 6.10 CO ve CO <sub>2</sub> emisyonları. ....	33
Şekil 6.11 HC emisyonu. ....	34
Şekil 6.12 NO <sub>x</sub> ve is emisyonlarının değişimi. ....	35

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 5.1</b> Yakıt özellikleri.....	18
<b>Çizelge 5.2</b> Test motorunun teknik özellikleri. ....	22
<b>Çizelge 5.3</b> Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri. ....	22

## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 3.1</b> Kanola bitkisi, tohumu ve yağı. ....	11
<b>Resim 5.1</b> Karbon nanopartikül (karbon quantum nokta). ....	17
<b>Resim 5.2</b> Silindir içi basınç ölçüm ekipmanları. ....	22

## 1. GİRİŞ

Enerji, ülkelerin nüfus artışına bağlı olarak enerji taleplerini karşılayabilmesi, teknolojik gelişmelere (sanayi, askeri, ulaşım vb.) karşı rekabet edebilmesi için oldukça önemlidir. İlk enerji kaynağı olarak odun kullanılmıştır. Ancak teknolojik ilerlemelere bağlı olarak fosil enerji kaynakları (kömür, doğalgaz, petrol vb.) kullanılmaya başlanmıştır (Pekmezci 2020).

Ülkemizde enerji tüketimi 2000-2016 yılları karşılaştırıldığında %28 oranında artış göstermiştir. Enerji talebindeki artış ile doğru orantılı olarak çevreye salınan zararlı gaz emisyonları da artmaktadır. Zararlı emisyonlar hem doğal yaşamı hem de insan sağlığını olumsuz etkilemektedir (Demirkesen 2018).

İçten yanmalı motorlar ulaştırma sektörlerinde (deniz, karayolu, havayolu ve demiryolu vb.) yaygın olarak kullanılmaktadır (Demirkesen 2018). İçten yanmalı motorlar fosil kökenli yakıtların kimyasal enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren makinelerdir. İçten yanmalı motorlar kullanılan yakıt türüne göre benzinli ve dizel olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Kaplan 2017).

İçten yanmalı motorlarda fosil kökenli yakıtların yanması sonucunda oluşan egzoz emisyonları, hava kirliliğine sebep olan önemli kaynaklardan biridir. Günümüzde içten yanmalı motorların sayılarının artışına bağlı olarak hava kalitesi olumsuz etkilenmektedir. İçten yanmalı motorlardan kaynaklanan kirletici emisyonlar birçok faktöre (motor türü, motor ayarı, yakıt bileşimi vb.) bağlıdır (Kelen 2014). Dizel motorlarda yanma sonucu partikül madde (PM), azotoksitler (NO<sub>x</sub>), hidrokarbonlar (HC), karbonmonoksit (CO) emisyonları ortaya çıkmaktadır. Dizel motorlarda CO ve HC emisyonları benzinli motorlara göre oldukça azdır. Bu emisyonlar arasında azot oksit (NO<sub>x</sub>) ve partikül madde (PM) emisyonları öncelikle insan sağlığı ve çevre için oldukça tehlikelidir (Keskin ve Sağıroğlu 2010).

İçten yanmalı motorlarda oluşan zararlı emisyonların ve petrol kökenli yakıtlarının kullanımının azaltılması için alternatif yakıt türleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Uyumaz 2009). Alternatif yakıt olarak gaz yakıtlar (hidrojen, LPG, doğalgaz) ve sıvı

yakıtlar (metil alkol etanol, bütanol vb.) kullanılabilir (Ergen 2006).

Günümüzde alternatif yakıt olarak biyodizel ve biyoetanol ön plana çıkmaktadır. Biyoetanol bitkiler (şeker pancarı, buğday, mısır, şeker kamışı vb.) yada tarımsal atıklardan elde edilmektedir. Etanol, benzinli motorlarda modifikasyona gerek duyulmadan belirli oranlarda kullanılabilir (Alptekin 2013).

Biyodizel yağlı tohumlu bitkilerden elde edilen bitkisel (kanola, soya ayçiçeği, aspir vb) ve hayvansal yağların metanol ve etanol gibi kısa zincirli bir alkol ve bir katalizör ile reaksiyonu sonucunda elde edilen alternatif bir yakıttır (Artukoğlu 2006, Uyumaz 2009). Biyodizel 16-20 arasında karbon içeren bir hidrokarbon zincirine sahiptir. Biyodizel %11 civarında oksijen içeriğine sahip iken, motorun yanma verimini ve egzoz emisyonlarını içeren maddeleri (kükürt, aromatik hidrokarbonlar vb.) içermez. Biyodizelin setan sayısı dizel yakıtına göre daha yüksektir. Ayrıca viskozite ve yoğunluk değerleri dizel yakıtına yakındır. Yüksek akma ve bulutlanma noktaları nedeniyle biyodizel ve dizel-biyodizel karışımlarının soğuk havalarda kullanımı önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bu problem uygun katkı maddeleri kullanılarak çözülebilmektedir (Artukoğlu 2006).

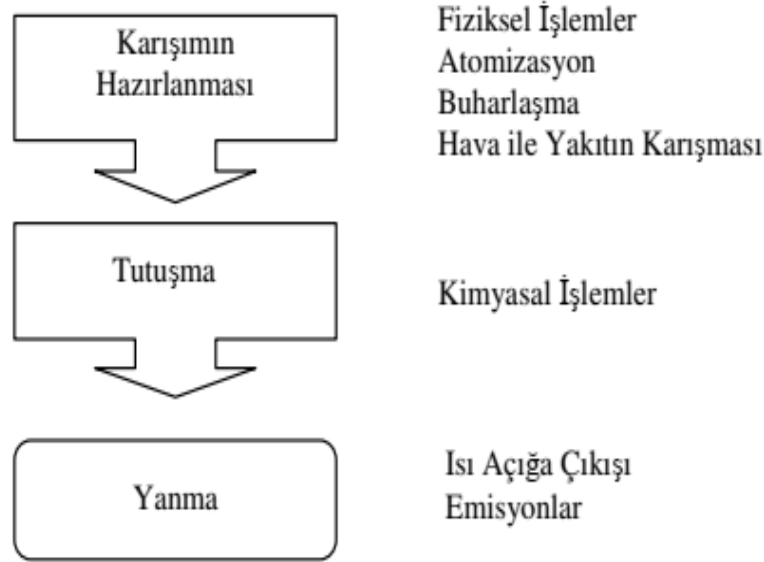
Bu çalışmada, kanola yağından transesterifikasyon metodu kullanılarak biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Biyodizel dizel yakıtı içerisine %20 oranında ilave edilerek B20 yakıtı elde edilmiştir. B20 yakıtı içerisine 50 ppm, 100 ppm ve 150 ppm oranlarında karbon nano partikül (karbon quantum nokta) ilave edilmiştir. Yakıtlar tek silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı bir dizel motorunda test edilerek, motor performans, yanma karakteristikleri ve egzoz emisyonları üzerine etkileri incelenmiştir.

## 2. DİZEL MOTORLARDA YANMA ve YAKIT ÖZELLİKLERİ

İçten yanmalı motorlar kimyasal enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürerek güç üreten makinalardır. İçten yanmalı motorlarda enerji yakıtın yanma odasında yanması ile ortaya çıkmaktadır. İçten yanmalı motorlar dizel (sıkıştırma ile ateşlemeli motorlar) ve benzinli motorlar (kivılcım ateşlemeli motorlar) olarak ikiye ayrılır (Demirkesen 2018).

### 2.1 Dizel Motorlarda Yanma

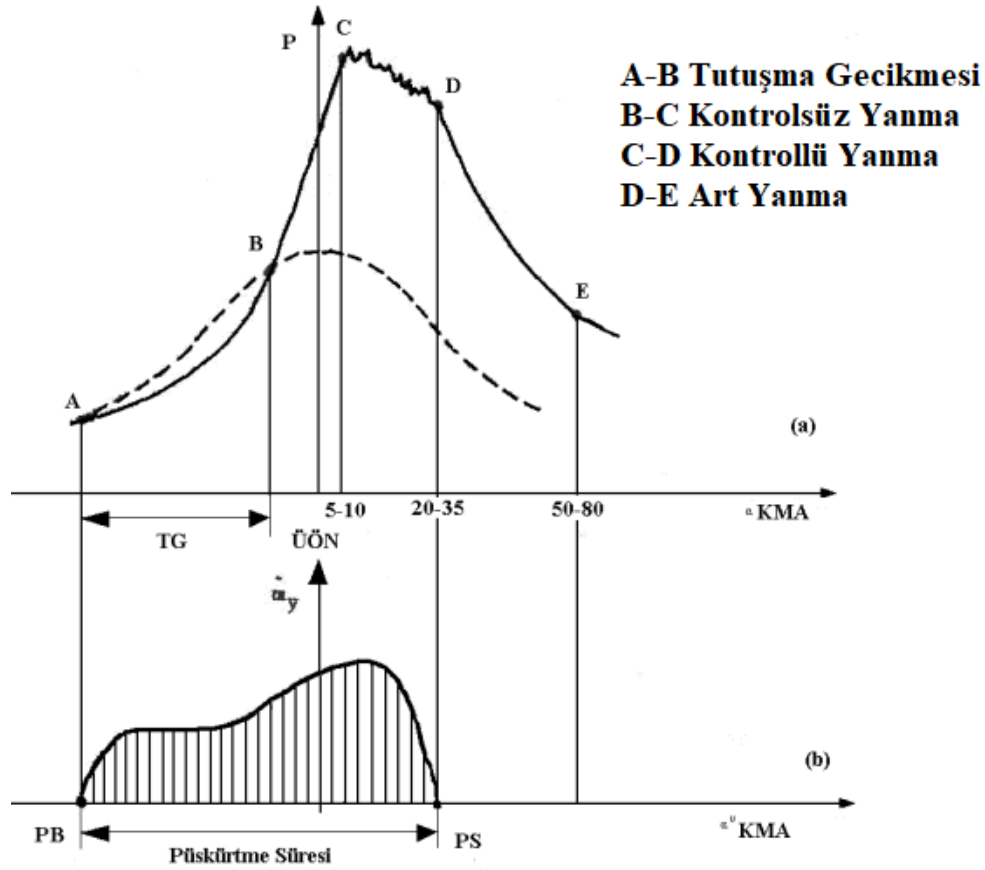
Yakıtın oksijen ile birleşmesi sonucunda ısı ve ışık oluşmasına yanma denir. İçten yanmalı motorlarda yanma reaksiyonu ile yakıtın sahip olduğu kimyasal enerji ısı enerjisine ve daha sonrada mekanik enerjiye dönüşür (Uyumaz, 2009). Dizel yakıtının püskürtülme başlangıcı ile egzoz zamanı başlangıcı arasında kimyasal-fiziksel olayları içeren süre dizel motorlarında yanma süreci olarak ifade edilmektedir. Dizel motorlarında yanma süreci Şekil 2.1’de görülmektedir (Ergen 2006).



Şekil 2.1 Dizel motorlarında yanma süreci (Ergen 2006).

Dizel motorlarda yanma süreci tutuşma gecikmesi, kontrolsüz yanma, kontrollü yanma ve art yanma olmak üzere dört aşamada incelenmektedir. Şekil 2.2’de yanma sürecinin aşamaları görülmektedir (Ergen 2006, Uyumaz 2009).





Şekil 2.2 Yanma sürecinin aşamaları (Ergen 2006).

### 2.1.1 Tutuşma Gecikmesi

Dizel motorlarda yakıtın yanma odasına püskürtülmesi ile kimyasal reaksiyonlar başlamakta ve ilk alev çekirdeğinin oluşması belirli bir süre almaktadır (Ergen 2006, Bulut 2008). Dizel motorlarda püskürtme başlangıcı ve tutuşma başlangıcı arasında geçen süre tutuşma gecikmesi olarak adlandırılır (Çelik 2015). Fiziksel ve kimyasal olmak üzere tutuşma gecikmesi ikiye ayrılmaktadır. Fiziksel tutuşma gecikmesi yakıt püskürtülme başlangıcı ile kimyasal reaksiyonların başlaması arasında geçen süre olarak adlandırılmaktadır (Doğan 2012). Kimyasal reaksiyonların başlangıcı ile soğuk alevin oluşması arasında geçen süre kimyasal tutuşma gecikmesi olarak ifade edilmektedir (Ergen 2006). Tutuşma gecikmesi süresine yakıt özellikleri, yakıtın atomizasyonu, türbülans, yüzey sıcaklığı, sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklık gibi parametreler etki etmektedir (Şen 2012).

### **2.1.2 Kontrolsüz Yanma**

Tutuşma gecikmesi süresince silindir içerisine püskürtülen yakıt silindir içerisinde buharlaşır, küçük parçacıklara bölünerek hava ile karışır. Bu karışımda ilk alev çekirdeği oluştuğunda yakıt oksijen ile temas eder ve ani olarak yanar. Yakıt-hava karışımının ani olarak yanması ile basınçta hızlı bir yükselme meydana gelir. Bu hızlı basınç artışı motor parçalarının birbirleri arasındaki boşlukların birden kapanmasına sebep olur ve motor vuruntulu çalışır (Ergen 2006, Uyumaz 2009, Çelik 2015). Kontrolsüz yanma süreci, yakıtın atomizasyonu, tutuşma gecikmesi süresince silindir içerisine alınan yakıt miktarı ve yakıt-hava oranı gibi parametrelere bağlıdır (Ergen 2006, Şen 2012).

### **2.1.3 Kontrollü yanma**

Maksimum yanma sonu basıncı ile yanmanın büyük ölçüde tamamlandığı an arasındaki süreç kontrollü yanma olarak adlandırılmaktadır (Şen 2012). Bu süreçte, silindir içerisinde oluşan sıcaklık ve basınç, kontrolsüz yanma süreci sonrasında püskürtülen yakıtın doğrudan ve gecikme olmadan yanmasını sağlamaktadır (Ergen 2006, Bulut 2008). Kontrollü yanma sürecinde yanma hızı, yakıt buharının hava ile karışım hızı ve buharlaşma hızı olmak üzere iki parametreye bağlıdır. Ayrıca hava fazlalık katsayısının birden büyük olması, hava hareketleri ve damlacık çapı kontrollü yanma fazı için oldukça önemlidir (Ergen 2006).

### **2.1.4 Art Yanma**

Art yanma süreci, enjektörlerden yakıtın püskürtülmesinin sonlanması ile egzoz supabının açıldığı ana kadar geçen süre olarak adlandırılmaktadır. Bu süreçte yanmayı tamamlayamamış ürünler ve silindir içerisinde kalan yakıt yanmaya devam ederler (Uyumaz 2009).

## **2.2 Dizel Yakıt Özellikleri**

İçten yanmalı motorlarda sıvı hidrokarbon olan dizel ve benzin yakıtları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunların dışında içten yanmalı motorlarda alkoller, biyodizel ve gaz yakıtlar kullanılmaktadır (Özcan 2018).

Dizel yakıtı ham petrolün damıtılması aşamasında 200-300 °C kaynama noktası aralığında elde edilen üründür (Özcan 2018). Dizel yakıtı parafinler, naftenler, olefinler ve aromatiklerden oluşan hidrokarbonlardır ve 8-18 aralığında karbon sayısına sahiptirler (Murcak 2012).

### **2.2.1 Setan Sayısı**

Setan sayısı, dizel motorlarında kendi kendine tutuşma yeteneğini belirleyen önemli özelliklerden birisidir (Uyumaz 2009). Benzinli motorlardan farklı olarak dizel motorlarda sıkıştırma sonunda oluşan basınç ve sıcaklıklarda yakıt hava buharının kendi kendine tutuşma eğiliminin yüksek olması istenmektedir. Bu nedenle dizel motorlarda setan sayısının yüksek olması gerekmektedir (Ergen 2006).

Setan sayısı tutuşma gecikmesi ve yanma karakteristiklerini etkileyen önemli bir özelliktir. Sıkıştırma sonu sıcaklığı; sıkıştırma basıncı, ortam veya soğutucu sıcaklığı gibi parametrelere bağlıdır. Bu parametrelerin düşük olması sıkıştırma sonu sıcaklığının azalmasına sebep olur. Düşük sıkıştırma sonu sıcaklıklarında tam yanmanın gerçekleşmesi için yüksek setan sayısına ihtiyaç duyulmaktadır (Çelik 2015).

Setan sayısı, yakıtın tutuşma eğilimini ve buna bağlı olarak tutuşma gecikmesi süresini etkilemektedir. Düşük setan sayısı tutuşma gecikmesi süresinin ve yanma odasında biriken yakıt miktarının artmasına sebep olmaktadır. Bu durum yanma sonunda yüksek basınçların oluşmasına ve mekanik zorlanmalara sebep olmaktadır. Setan sayısının fazla yüksek olması tutuşma gecikmesi süresinin kısılmasına, yakıtın yanma odasında dağılamamasına ve yetersiz buharlaşmaya sebep olmaktadır. Bu durum yanma sonucunda is oluşumuna ve enjektörlerde karbon birikintisine sebep olmaktadır (Ergen 2006).

### **2.2.2 Dizel İndeksi**

Setan sayısının belirlenmesi oldukça uzun ve zor bir deneysel süreci gerektirmektedir. Bu nedenle hesaplama işlemi yapılarak bulunabilen dizel indeksi adı verilen bir sayı kullanılmaktadır (Çelik 2015). Dizel indeksi;

$$Dizel \text{ İndeks} = \frac{API \text{ Gravite } (60^{\circ}F) \times Anilin \text{ Noktası } (^{\circ}F)}{100} \quad (2.1)$$

$$Dizel \text{ İndeks} = 454,74 - 1641,416 \times D + 774,74 \times D^2 - 0,554T_{50} + 7,803[\log_{10}(T_{50})] \quad (2.2)$$

ifadeleri ile bulunmaktadır (Çelik 2015). Eş. 2.2’de D 15°C deki yakıtın yoğunluğunu ve  $T_{50}$  ise yakıtın %50’sinin damıtıldığı sıcaklığı göstermektedir. Dizel indeksi değerinin 50’nin üzerinde olması istenmektedir. Bu değer üzerinde yakıt daha iyi yanma karakteristikleri göstermektedir (Çelik 2015).

### 2.2.3 Kinematik Viskozite

Viskozite, sürtünme ve çekim kuvvetleri sebebiyle akışkanın akmaya karşı gösterdiği direnç olarak ifade edilmektedir. Viskozite dinamik ve kinematik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sıvı ve katılar için önemli özelliklerden birisi kinematik viskozitedir (Ergen 2006, Bulut 2008).

Kinematik viskozite, özellikle yakıt hava karışımının teşkilini ve dolayısı ile yanmayı etkilemektedir. Düşük viskozite ile yakıtın silindir içerisinde küçük zerreciklere ayrılmasını ve homojen bir karışımın oluşmasını sağlar. Böylece yanma daha iyi gerçekleşir. Viskozitenin büyük olması homojen bir karışım oluşması engeller. Ayrıca özellikle soğuk havalarda yakıtın püskürtülmesinde sorunların oluşmasına sebep olur (Şen 2012).

### 2.2.4 Yoğunluk

Birim hacimdeki kütle miktarı yoğunluk olarak ifade edilmektedir (Şen 2012). Birden fazla çeşite sahip olan akaryakıt ve yağların birbirinden kolay ve hızlı şekilde ayrılmasını sağlayan özelliklerden birini yoğunluk oluşturmaktadır. Ham petrolden üretilen akaryakıtların yoğunluklarının tespiti, akaryakıtların tanınması bakımından önem taşımaktadır (Ergen 2006, Çelik 2015).

Motor performansını etkileyen önemli bir yakıt özelliği yoğunluktur. Aynı zamanda bazı yakıt özellikleride (setan sayısı, ısıl değer vb.) yoğunluk ile ilişkilidir (Çelik 2015). Dizel motorlarda kullanılan yakıt enjeksiyon sistemleri yakıtı hacimsel olarak silindirlere gönderirler. Bu nedenle, yakıt yoğunluğundaki değişiklikler silindir içerisine gönderilen yakıt miktarını etkilemektedir (Şen 2012). Yakıtların yanma ısısı, yakıt tüketimi ve yakıt püskürtme karakteristiklerini etkileyen önemli iki parametre viskozite ve yoğunluktur (Çelik 2015). American Petroleum Institute (API), yoğunluk için özel bir ölçektir ve API derecesi,

$$API\ Gravite = \frac{141,5}{\text{Özgül Gravite} \left(\frac{60}{F}\right)} - 131,5 \quad (2.3)$$

eşitliği yardımı ile hesaplanmaktadır (Çelik 2015).

### 2.2.5 Isıl Değer

Yakıt içinde bulunan kimyasal enerjinin yanma reaksiyonu ile birlikte serbest bir hale dönüşüm sağlama şekli ya da yakıtın içerdiği enerji ısıl değer olarak ifade edilmektedir. Isıl değer enerji depolama ve tüketim alanlarında oldukça önemli bir yere sahiptir. Bunun nedeni ise birim kütle ve sahip olduğu eşdeğer enerjidir (Ergen 2006, Bulut 2008, Çelik 2015). Alt ve üst ısıl değer olmak üzere iki ısıl değer belirlenmektedir. Ancak içten yanmalı motorlarda su, yanma sonu sıcaklıklarında buhar halinde bulunduğu için alt ısıl değer kullanılmaktadır (Ergen 2006).

### 2.2.6 Kükürt ve Kül Miktarı

Kül tanım olarak katı parçaların, yakıt içerisinde yer alan suda çözülen metalik veya yağ bileşenlerinden oluşan madde diye tanımlanmaktadır. Kül içeriği dizel yakıtlar için önemli bir sorun oluşturmaktadır (Ergen 2006, Çelik 2015). Dizel yakıtı içerisindeki kül özellikle enjektör ve yakıt filtresinde tıkanıklara sebep olmaktadır (Ergen 2006).

Ham petrol içerisinde bulunan kükürt bileşenleri, damıtma işlemleri sırasında artırılmaktadır. Yakıt içerisinde bulunan kükürt, yanma sırasında oksijen miktarına bağlı olarak  $O_2$  ile birleşerek  $SO_2$  ya da  $SO_3$  oluşturur.  $SO_3$  yanma sonucunda ortaya çıkan  $H_2O$

ile birleşerek aşındırıcı bir etkiye sahip  $H_2SO_4$  oluşturur (Ergen 2006, Çelik 2015).

### **2.2.7 Distilasyon**

Yakıtın buhar haline geçmesini ya da uçuculuğu sağlayan sıcaklık aralığı distilasyon testi ile belirlenmektedir. Yakıtın hacimsel olarak %90'ının distile edildiği sıcaklıkta (T90) dizel yakıtının uçuculuğu belirlenmektedir. T90 değerinin düşük olması, HC ve CO emisyonlarının artmasına,  $NO_x$  emisyonunun bir miktar azalmasına sebep olmaktadır. Hidrokarbonların distilasyon özellikleri motor performansını önemli ölçüde etkileyen bir parametredir. Ayrıca viskozite, tutuşma sıcaklığı, parlama noktası, yoğunluk, setan sayısı vb. yakıt özellikleri de yakıtın kimyasal bileşimine bağlı olan yakıtın damıtma aralığından etkilenmektedir (Çelik 2015).

### **2.2.8 Parlama Noktası**

Bir kapta ısıtılan yakıt üzerine alevin yaklaştırılması sonucunda geçici olarak yakıt buharının tutuştuğu en düşük sıcaklık parlama noktası olarak ifade edilmektedir (Şen 2012). Depolama ve yangın önlemede büyük öneme sahip olan yakıtların parlama noktasının 65 ile 150 °C aralığında olması gerekmektedir. Parlama noktası yakıtın buharlaşma miktarı ve basıncına bağlıdır (Çelik 2015).

### **2.2.9 Soğuk Akış Özellikleri**

Dizel yakıtı soğutulduğunda ilk parafin mumunun görüldüğü sıcaklık bulutlanma noktası olarak ifade edilmektedir. Çöken parafin kristalleri nedeniyle dizel yakıtının aktığı en düşük sıcaklık ise akma noktası olarak tanımlanmaktadır. Akma noktası özellikle soğuk havalarda yakıtın motor içerisindeki akışını belirlemektedir. Bu nedenle dizel yakıtın yüksek akma noktasına sahip olması yakıt sisteminin tıkanmasına sebep olmaktadır (Çelik 2015, Şen 2012).

### 3. BİTKİSEL YAĞLAR VE BİYODİZEL

#### 3.1 Bitkisel Yağlar ve Kanola Bitkisi

Ülkemiz yüzölçümü olarak 780.576  $km^2$ 'ye sahiptir. Türkiye'nin 769,6 milyon dekarlık karasal büyüklüğünün % 30,8'ini tarım alanları oluşturmaktadır (İnt. Kyn. 1)

2020 yılı verilerine göre, Türkiye'nin yüzölçümünde yer alan tarım alanlarının %67,5'inde tarla bitkileri, %3,4'ü sebze, %15,4 meyve, içecek ve baharat ve %0,02'sinde süs bitkileri ekilirken, %13.7'si nadasa bırakılmaktadır. Tarım alanlarında en çok ekilen bitkiler; buğday, arpa, ayçiçeği, mısır, nohut, şeker pancarı, mercimek, pamuk ve patatestir (Tarım ve Orman Bakanlığı 2020).

Günümüzde soya, ayçiçeği, pamuk, kolza, yerfıstığı, susam, aspir, hintyağı, haşhaş, keten, kenevir, jojoba, mısır, zeytin, hurma ve Hindistan cevizi bitkilerden yağ elde edilmektedir. Pamuk, keten, pamuk ve mısır yağ elde etmek amacı ile yetiştirilmemektedir. Bu bitkilerin tohumlarından yan ürün olarak yağ elde edilmektedir. Bu bitkiler arasında çok yıllık bitkilerde (zeytin, jojoba, Hindistan cevizi ve hurma) bulunmaktadır. Türkiye'de iklim özellikleri nedeniyle Jojoba, Hurma ve Hindistan cevizi dışındaki yağlı tohumlu bitkilerin tamamı yetiştirilmektedir (Arioğlu 2016).

Kolza bitkisi, Dünya genelinde birden fazla ülke içerisinde üretimi sağlanan önemli endüstri bitkiler grubunda yer almaktadır. Milattan önce (M.Ö.) 2000 yılında Hindistan'da kültürel bir bitki olarak ele alınmıştır. Sonraki süreçlerde kolza bitkisi yaygınlaşarak tüm ülkelerde önemli bir yere sahip olmuştur. 2. Dünya Savaşı sonrasında kanola bitkisine dair üretimlerde artış görülmüştür (Arıkan 2011, Tosun ve Özkal 2000).

1960'larda içerdiği erusik asitin zararlı olduğu anlaşılmıştır. 1978 yılında % 2'den daha az erusik asit içeren kolza bitkisi türü kanola olarak adlandırılmıştır (Tosun ve Özkal 2000). Kanola %50'ye yakın yağ ve %24'e yakın protein içermektedir. Kanola bitkisi oleik asit (%65) içeriğinin yüksek olması nedeni ile zeytinyağı ile benzerlik göstermektedir (Nazarian 2016). Resim 3.1'de kanola bitkisi, tohumu ve yağı görülmektedir.



**Resim 3.1** Kanola bitkisi, tohumu ve yağı (Arıkan 2011).

### **3.2 Biyodizel ve Biyodizel Üretim Yöntemleri**

1900'lı yılların başında bitkisel yağlar ilk olarak Rudolf Diesel tarafından yakıt olarak kullanılmıştır (Altın vd. 2001). Bitkisel yağların yüksek viskozite ve düşük uçuculukları nedeniyle dizel motorlarda yakıt kullanımı motorda bazı problemlere (yağlama yağında bozunmaya ve enjektörlerin tıkanmasına) sebep olmaktadır. Bitkisel yada hayvansal yağların özelliklerinin iyileştirilmesi için bazı yöntemler kullanılarak biyodizel olarak adlandırılan yakıt üretilmektedir (Keskin 2015).

Bitkisel veya hayvansal yağlardan türetilen yağ asidi zincirinin mono alkil esteri biyodizel olarak adlandırılmaktadır. Biyodizel kelimesindeki “biyo” ifadesi yenilenebilir ve biyolojik olduğunu, “dizel” kelimesi de dizel motorlarında kullanabilir olduğunu ifade etmektedir (Çildir 2006). Biyokütle (biyoenerji) enerjisi sınıfının alt dalı olan biyodizel yakıt özelliği olarak çevreye duyarlı ve yenilebilir niteliğe sahip, toksik olmayan sıvı bir yakıt türüdür (Özdemir ve Mutlubaş 2016). Bitkisel yada hayvansal yağlardan biyodizel üretiminde seyreltme, piroliz, mikroemülsiyon ve transesterifikasyon yöntemleri kullanılmaktadır (Şeker 2007).



### **3.2.1 Seyreltme**

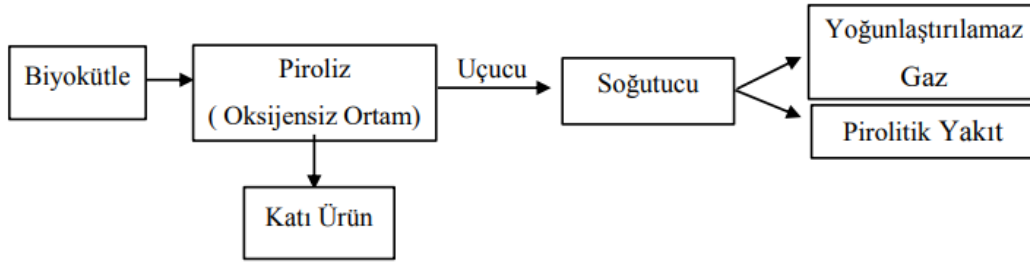
Bu yöntem ile bitkisel yağlar dizel yakıtı içerisine belirli oranlarda ilave edilerek yağın vizkozitesinin azaltılması sağlanmaktadır. Bitkisel yağlar dizel yakıtı içerisine genellikle %20, %30, %40 oranında karıştırılmakta ve kullanılan yakıtlar sırası ile B20, B30, B40 olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntem ile elde edilen yakıtın özellikleri dizel yakıtına oldukça yakındır. Ayrıca bitkisel yağların dizel yakıtına ilavesi ile yakıt maliyeti azalmaktadır (Deniz 2012).

### **3.2.2 Mikroemülsiyon**

Bu yöntemde kısa zincirli alkoller (etanol, metanol vb) kullanarak bitkisel yağın viskozite değerini azaltmak için mikroemülsiyon oluşturulmaktadır. Mikroemülsiyon 1-150 nm boyutundaki karışmayan iki sıvı ile organik karışımların kolodial denge dağılımları olarak ifade edilmektedir. Bu yöntem ile petrol kökenli olmayan dizel yakıtına alternatif yakıt üretilmektedir (Şeker 2007).

### **3.2.3 Piroliz**

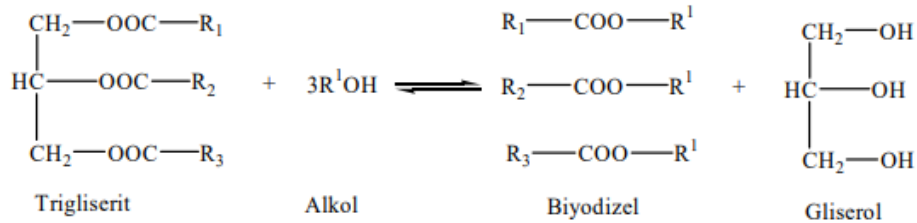
Biyokütlenin oksijen içermeyen bir ortamda termal olarak bozunma işlemi piroliz olarak adlandırılmaktadır. Karmaşık bir süreç olan piroliz işleminde biyokütle ısıtılarak biyokütle içerisindeki uçucu moleküller ayrılır ve daha sonra yoğunlaştırılarak yakıt elde edilir. Bu süreçte ortamın oksijen içermemesi, termal denge sınırı üzerinde işlemlerin gerçekleştirilmesini ve daha kararlı ürünler elde edilmesini sağlar. Piroliz ile yakıt üretimi parçacık boyutu, ısıtma hızı, sıcaklık ve gaz akış hızı gibi faktörlere bağlıdır. Şekil 3.1'de piroliz işleminin şematik görünümü görülmektedir (Akbulut 2018).



Şekil 3.1 Piroliz işlemi (Akbulut 2018).

### 3.2.4 Transesterifikasyon

Transesterifikasyon bitkisel yada hayvansal yağlardan biyodizel üretiminde kullanılan, kısa reaksiyon süresi ile yüksek verimin elde edildiği bir yöntemdir. Bu yöntemde yağlar, etanol veya metanol gibi kısa zincirli bir alkol ile katalizör eşliğinde reaksiyona girerek gliserol ve ester oluşturmaktadır (Deniz 2012). Transesterifikasyon reaksiyonunda polar ve kısa zincirli bir alkol olması nedeniyle metanol yaygın olarak kullanılmaktadır. Reaksiyonlarda asidik, alkali ve enzimatik katalizörler kullanılmaktadır. Şekil 3.2’de transesterifikasyon metodu ile biyodizelin elde edilme reaksiyonu görülmektedir (Aksoy 2010).



Şekil 3.2 Transesterifikasyon reaksiyonu (Aksoy 2010).

#### 4. KAYNAK ÖZETLERİ

Bitkisel yağlar ve bitkisel yağlardan elde edilen yakıtların dizel motorlarda kullanımı üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu araştırmaların bir kısmı aşağıda verilmiştir.

Keskin (2005) tarafından yapılan çalışmada tall yağı kullanarak metil ester üretimi gerçekleştirilmiştir. Tall yağı metil esteri dizel yakıtı ile %50, %60, %70, %80 ve %90 oranında karıştırılmış ve optimum karışım oranı motor performans testleri sonucunda %60 metil ester-%40 dizel yakıtı karışımı (TE60) olarak belirlenmiştir. TE60 yakıtı içerisine metalik esaslı katkı maddeleri (NiO, MoO<sub>3</sub>, MgO, MnO<sub>2</sub> ve Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) farklı oranlarda ilave edilerek tam yük şartlarında motor performans ve emisyon testleri gerçekleştirilmiştir. Motor tork ve güç değerlerinde artışlar tespit edilirken, emisyon değerlerinde iyileşmeler gözlenmiştir (Keskin 2005).

Şeker (2007) tarafından yapılan çalışmada ayçiçeği ve palmye yağından transesterifikasyon metodu ile biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Organik katkı maddelerinin (donma noktası düşürücü, oksidasyon kararlılığı düzenleyici ve soğuk filtre tıkanma noktası düşürücü) yakıt özellikleri üzerine etkisini incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda ayçiçeği yağı ve palm yağı biyodizeli için soğuk filtre tıkanma noktası kısmında iyileştirici herhangi bir etkiye rastlanılmamıştır (Şeker 2007).

Alpgiray ve Gürhan (2007), kanola yağı-dizel yakıtı karışımları ve kanola yağı metil esterini direkt püskürtmeli bir dizel motorunda test etmiştir. Farklı oranlarda kanola yağı dizel yakıtı karışımı kullanımı ile motor gücü ve motor momentinde dizel yakıtına göre düşüşler gözlenmiştir. Kanola yağı metil esteri ile motor gücü ve motor momentinde dizel yakıtına yakın değerler elde edilmiştir. Duman koyuluğu değerlerinde dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında kanola yağı-dizel karışımı kullanımı ile artış, kanola metil esteri kullanımı ile azalma gözlenmiştir (Alpgiray ve Gürhan 2007).

Boz ve Sunal (2009), çinko oksit destekli KOH ve K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> katalizörler kullanılarak kanola yağından biyodizel üretim sürecini optimize etmişlerdir. Kanola yağından 60 °C reaksiyon sıcaklığı, 12/1 metanol/yağ oranında çinko oksit destekli KOH ve K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> katalizörler ile sırası ile %94 ve %96 dönüşüm verimi elde edilmiştir. Alkol olarak

kullanılan metanolün etanola göre dönüşüm verimleri daha yüksek elde edilmiştir (Boz ve Sunal 2009).

Gümüş (2010), fındık (*Corylus avellana* L.) çekirdek yağından katalizör olarak potasyum hidroksit kullanılarak biyodizel üretimini gerçekleştirmiştir. Dizel, biyodizel, biyodizel-dizel karışımları (hacme göre %5, %20 ve %50) tek silindirli, hava soğutmalı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda farklı motor parametreleri (motor yükleri, enjeksiyon zamanlamasını, enjeksiyon basıncını ve sıkıştırma oranını) kullanılarak test edilmiştir. Deneysel çalışma ile biyodizel-dizel karışımlarının motorda hiçbir modifikasyon gerektirmeden kullanılabilceği sonucuna ulaşılmıştır (Gümüş 2010).

Kannan vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada, atık yemeklik palmiye yağından üretilen biyodizel içerisine farklı oranlarda (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 ve 50  $\mu\text{mol/L}$ ) ferrik klorür ( $\text{FeCl}_3$ ) ilave edilmiş ve yakıt özellikleri belirlenmiştir. Bu test yakıtlarından 20  $\mu\text{mol/L}$  ferrik klorür ( $\text{FeCl}_3$ ) ilaveli biyodizel uygun yakıt özellikleri nedeniyle test yakıtı olarak kullanılmıştır. Test yakıtlarının (dizel, biyodizel ve 20  $\mu\text{mol/L}$  ferrik klorür katkılı biyodizel) motor performans, emisyon ve yanma özellikleri 1500 d/dk motor devrinde direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda belirlenmiştir. Ferrik klorür katkılı biyodizel kullanımı ile fren özgül yakıt tüketiminde % 8,6'lık bir azalma ve fren termal verimde ise % 6,3 artış elde edilmiştir. Ferrik klorür katkılı biyodizel kullanımı ile dizel yakıtına göre NO emisyonlarında azalma ve CO<sub>2</sub> emisyonlarında artış gözlenmiştir (Kannan vd. 2011).

Şen (2019) tarafından yapılan çalışmada, dizel yakıtı ve kanola yağından üretilen biyodizel karışımlarının motor performans, emisyon ve yanma karakteristikleri yapay sinir ağları kullanılarak tahmin edilmiştir. Modelde 44 farklı deney koşulu ve ağ eğitiminde geri beslemeli algoritma kullanılmıştır. Yapay sinir ağları kullanımı ile tutuşma gecikmesi, yanma süresi, duman koyuluğu ve NO<sub>x</sub> için R<sup>2</sup> değerleri sırası ile 0,998, 0,992, 0,984 ve 0,990 olarak belirlenmiştir (Şen 2019).

Yıldız ve Çalışkan (2020), %100 biyodizel yakıtlı dört silindirli bir dizel motoru 100 Nm ve 294 Nm motor yüklerinde deneysel olarak araştırmışlardır. Enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirilerek sonuçlar termodinamik yönden detaylı incelenmiştir. Yapılan deney

sonucunda hava, yakıt, egzoz gazları, net güç enerjisi ve ekserji değerlerinin motor tork artışıyla birlikte artış gösterdiği gözlenmiştir (Yıldız ve Çalışkan 2020).

Acaroğlu ve Köse (2020), bir Akdeniz bitkisi olan *Cynara cardunculus* tohumundan biyodizel üretmiştir. Dizel, biyodizel, biyodizel-dizel yakıtı karışımlarını (B5 ve B7) dört silindirli, common rail direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda farklı motor devirlerinde test etmiştir. Maksimum motor torku ve gücü B7 yakıtı kullanımı ile elde edilmiştir. Minimum özgül yakıt tüketimleri 2000 d/dk motor devrinde dizel ve B5 yakıtları ile sırası ile 217.71 g/kWh ve 216.58 g/kWh olarak ölçülmüştür. Maksimum silindir içi basınç değeri B7 yakıtı ile 3000 d/dk motor devrinde elde edilmiştir (Acaroğlu ve Köse 2020).

Alagöz ve Şahin (2020) tarafından yapılan çalışmada, haşhaş yağından biyodizel üretim sürecinin optimizasyonu katalizör olarak Afyon yöresi mermer atıklarından elde edilen CaO kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda 6:1 metanol-yağ oranı, %1 katalizör oranı, 65 °C reaksiyon sıcaklığı ve 120 dakika reaksiyon süresi optimum koşullar olarak belirlenmiştir. Optimum koşullarda üretilen biyodizelin yakıt özellikleri ölçülmüş ve biyodizelin yoğunluğunun standartların üzerinde olması dolayısıyla ile %100 oranında motorlarda kullanılamayacağı belirlenmiştir (Alagöz ve Şahin 2020).

Özer (2020), tall yağının damıtılması ile elde edilen yağ asitlerinin %20 fuzel yağı ve %5 sülfürik asit ile reaksiyonu ile biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon, 72 °C sıcaklık ve 120 dk sürede gerçekleştirilmiştir. Üretilen biyodizelin özellikleri belirlenerek dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır (Özer 2020).

Üstün (2021), %10 fuzel yağı-%90 dizel yakıtı içerisine 8 ppm, 12 ppm ve 16 ppm oranlarında organik reçine esaslı mangan ilave ederek motor performans ve emisyonlarına etkisini dört zamanlı direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda incelemiştir. 12 ppm organik esaslı mangan ilavesi ile CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyonlarının ortalama olarak sırasıyla %13,17 ve %17,02 azaldığını tespit etmiştir.

## 5. MATERYAL VE METOT

### 5.1 Biyodizel üretimi ve yakıtların özellikleri

Kanola yağından biyodizel üretiminde transesterifikasyon metodu kullanılmıştır. Transesterifikasyon sürecinde alkol olarak %99 saflıkla metil alkol kullanılmıştır. Katalizör olarak NaOH kullanılmıştır. Transesterifikasyon süreci %20 alkol/yağ oranı, %0,5 katalizör/yağ oranı, 90 dk reaksiyon süresi, 60 °C reaksiyon sıcaklığı ve 600 rpm dönüş hızında gerçekleştirilmiştir.

Kanola yağından üretilen biyodizel dizel yakıtı içerisine %20 oranında ilave edilmiş ve B20 olarak adlandırılmıştır. Elde edilen B20 yakıtı içerisine 50 ppm, 100 ppm ve 150 ppm oranlarında Sigma-Aldrich marka karbon nanopartikül (karbon quantum nokta) ilave edilmiştir. Resim 5.1’de kullanılan karbon nanopartikül görülmektedir.



**Resim 5.1** Karbon nanopartikül (karbon quantum nokta).

Test yakıtları, D100 (%100 dizel yakıtı), B20 (%80 dizel yakıtı+%20 biyodizel), B20K50 (%80 dizel yakıtı+%20 biyodizel+ 50 ppm nanopartikül, B20K100 (%80 dizel yakıtı+%20 biyodizel+ 100 ppm nanopartikül) ve B20K150 (%80 dizel yakıtı+%20

biyodizel+ 150 ppm nanopartikül) olarak adlandırılmıştır. Test yakıtlarının özellikleri Çizelge 5.1’de görülmektedir.

**Çizelge 5.1** Yakıt özellikleri.

Yakıt Türü	Kinematik viskozite, $\text{mm}^2/\text{s}, 40\text{ }^\circ\text{C}$	Parlama Noktası, $^\circ\text{C}$	Su, ppm	Yoğunluk, $\text{kg}/\text{m}^3, 15\text{ }^\circ\text{C}$
<b>Dizel</b>	3,00	75	18,54	829,48
<b>B20</b>	3,214	80	37,18	839,25
<b>B20K50</b>	3,236	77	40,21	840,43
<b>B20K100</b>	3,23	77	39,58	840,36
<b>B20K150</b>	3,279	78	40,61	840,89

## 5.2 Deney Verilerinin Analizi

Motorun ürettiği birim güç başına birim zamanda tüketilen yakıt miktarı özgül yakıt tüketimi olarak adlandırılmaktadır. Özgül yakıt tüketimi Eş. 5.1 ile hesaplanmıştır (Heywood 1988, Uyumaz 2014).

$$\text{öyt} = \frac{\dot{m}_y}{P_e} \left( \frac{\text{kg}}{\text{kWh}} \right) \quad (5.1)$$

Isıl verim yakıt ile elde edilen ısı enerjisinin ne kadarının faydalı işe dönüştüğünün bir ölçüsüdür (Heywood 1988, Uyumaz 2014). Isıl verim Eş. 5.2 ile hesaplanmıştır.

$$\eta_T = \frac{W_{net}}{\dot{m} Q_{LHV}} \quad (5.2)$$

0,36° KA aralıklar ile silindir içi basınç verileri alınarak dijital sinyallere de dönüştürülmektedir. Bu işlem sonrasında basınç verilerinin türev işlemi yapıldığında ısı dağılımının hesaplanmasında gürültünün ortaya çıktığı görülmektedir. Bu ortaya çıkan gürültünün engellenebilmesi için basınç verilerinin aşağıda yer alan fonksiyon ile filtrelenmesi gereklidir. Yapılan çalışma içerisinde ısı dağılımı dördüncü dereceden filtreleme işlemi ile gerçekleştirilmiştir. Buna yönelik silindir içi basınç sinyalleri, Eş. 5.3’ de verildiği gibi Taylor serisi formatında 4. seriye göre açılabilir (Can 2012, Uyumaz 2014).

$$\begin{aligned}
P_{i+2} &= P_i + \frac{2P'_i d\theta}{1!} + \frac{2^2 P''_i d\theta^2}{2!} + \frac{2^3 P'''_i d\theta^3}{3!} + \frac{2^4 P''''_i d\theta^4}{4!} + \\
P_{i+1} &= P_i + \frac{P'_i d\theta}{1!} + \frac{P''_i d\theta^2}{2!} + \frac{P'''_i d\theta^3}{3!} + \frac{P''''_i d\theta^4}{4!} + \dots \\
P_i &= P_i \\
P_{i-1} &= P_i - \frac{P'_i d\theta}{1!} + \frac{P''_i d\theta^2}{2!} - \frac{P'''_i d\theta^3}{3!} + \frac{P''''_i d\theta^4}{4!} + \dots \\
P_{i-2} &= P_i - \frac{2P'_i d\theta}{1!} + \frac{2^2 P''_i d\theta^2}{2!} - \frac{2^3 P'''_i d\theta^3}{3!} + \frac{2^4 P''''_i d\theta^4}{4!} -
\end{aligned} \tag{5.3}$$

Dört adet düğüm noktasına göre fonksiyonun 1. mertebe türevi Eş. 5.4' de verilmiştir.

$$P'_i = \frac{P_{i-2} - 8P_{i-1} + 8P_{i+1} - P_{i+2}}{12d\theta} \tag{5.4}$$

Sonuçta elde edilen basınç verilerinde meydana gelen gürültüyü azaltmak amacıyla Eş. 5.5 ile filtreleme işlemi uygulanmıştır (Heywood 1988, Martyr 2007, Can 2012, Uyumaz 2014).

$$P_i = \frac{1}{x^2} \left[ \begin{array}{c} P_{i-(x-1)} + 2P_{i-(x-2)} + 3P_{i-(x-3)} + \dots + xP_i + \dots + 3P_{i+(x-3)} + \\ 2P_{i+(x-2)} + P_{i+(x-1)} \end{array} \right] \tag{5.5}$$

Motor veriminin belirlenmesinde temel parametre olan indike ortalama efektif basınç, motorun gerçek çevrimindeki gücünü vermesi için bir kurs boyunca piston üzerine etki eden basınç olarak ifade edilmektedir (Stone 1999, Uyumaz 2014, Calam 2018). İndike ortalama efektif basınç;

$$imep = \frac{W_{net}}{V_{kurs}} \quad (Pa) \tag{5.6}$$

ile hesaplanabilir (Stone 1999, Uyumaz 2014, Calam 2018). Net iş Eş. 5.7 ile hesaplanmaktadır.

$$W_{net} = \int PdV \quad (Joule) \tag{5.7}$$



Tek bölgeli yanma modeli ile termodinamiğin birinci kanunu kullanılarak yanma odasındaki ısı dağılımı hesaplanmaktadır. Yanma odası içerisindeki karışımın ideal gaz ve uniform olduğu kabul edilmektedir. Kompresyon kaçakları (segman ve piston kenarları) ihmal edilmekte ve silindir içerisindeki karışımın termodinamik olarak dengede olduğu kabul edilmektedir. Açık sistemler için termodinamiğin birinci kanunu kullanılarak ısı dağılım oranı Eş. 5.8 kullanılarak hesaplanmaktadır (Can 2012, Uyumaz 2014, Calam 2018, Heywood 1988).

$$\frac{dQ_{gr}}{d\theta} = \frac{k}{k-1} P \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{k-1} V \frac{dP}{d\theta} + \frac{dQ_{heat}}{d\theta} \quad (5.8)$$

Eş. 5.8'de  $\frac{dQ_{gr}}{d\theta}$ ,  $\frac{dQ_{heat}}{d\theta}$ ,  $P$ ,  $V$ ,  $\frac{dV}{d\theta}$  ve  $\frac{dP}{d\theta}$  sırası ile toplam ısı dağılımını ( $J$ ), silindir cidarlarına transfer edilen ısıyı ( $J$ ), ölçülen silindir basıncını ( $Pa$ ), silindir hacmini ( $m^3$ ), silindir hacminin krank mili açısına göre türevini ( $m^3/^\circ KA$ ), silindir basıncının krank mili açısına göre türevini ( $Pa/^\circ KA$ ) ifâde etmektedir. Yanma odasında gerçekleşen taşınım ile ısı transfer oranı Eş. 5.9 kullanılarak hesaplanmaktadır (Stone 1999, Can 2012, Uyumaz 2014, Calam 2018).

$$\frac{dQ_{heat}}{d\theta} = A_2 h_c (T_g - T_w) \quad (W/^\circ KA) \quad (5.9)$$

Vuruntu yoğunluğu ise aşağıdaki Eş. 5.10 yardımı ile hesaplanabilmektedir.

$$RI = \frac{1}{2\gamma} \frac{\left(\beta \left(\frac{dP}{dt}\right)_{\max}\right)^2}{P_{\max}} \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T_{\max}} \quad (5.10)$$

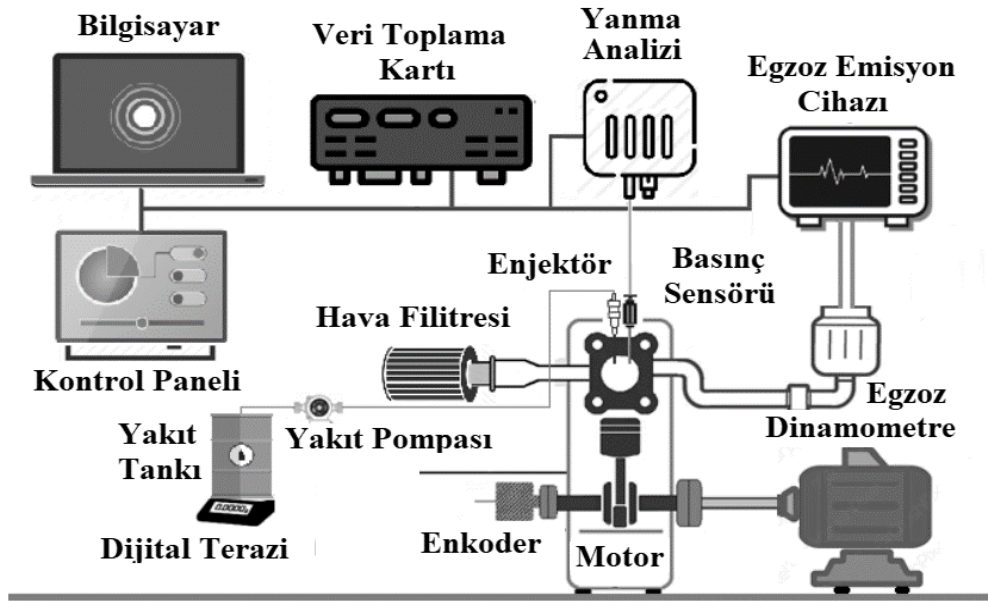
$\left(\frac{dP}{dt}\right)_{\max}$ ,  $T_{\max}$ ,  $P_{\max}$  ve  $\gamma$  sırası ile maksimum basınç artış oranını, maksimum sıcaklığı, maksimum basıncı ve politropik indeksi göstermektedir (Stone 1999, Wildman vd. 2009, Ansari vd. 2016, Poorghasemi vd. 2017).

Yanma başlangıcı ve bitişi arasında ortaya çıkan toplam enerjinin, silindir içerisindeki toplam enerjiye oranı yanma verimi olarak ifade edilmektedir. Yanma verimi Eş. 5.11 kullanılarak hesaplanabilmektedir (Can 2012, Uyumaz 2014, Calam 2018).

$$\eta_{yanma} = \frac{\int_{ty_{bas}}^{ty_{son}} \frac{dQ_{gr}}{d\theta} d\theta}{m_f Q_{LHV}} \quad (5.11)$$

### 5.3 Motor Test Ekipmanları

Deneysel çalışmalar Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü Motor-Test Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Deney düzeneği dinamometre, deney motoru, emisyon cihazı, dijital terazi, termokupl, basınç sensörü, veri toplama kartı ve amfikatörden oluşmaktadır. Deneyler motorun kararlı çalıştığı 2200 d/dk motor devrinde gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1 Deney düzeneği.

Antor AD510 BS marka su soğutmalı, dört zamanlı, tek silindirli direkt enjeksiyonlu dizel motoru deneysel çalışmada kullanılmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Çizelge 5.2'de görülmektedir.

**Çizelge 5.2** Test motorunun teknik özellikleri.

Marka	Antor AD510 BS
Silindir sayısı	1
Kurs x Çap	90 x 85 mm
Toplam silindir hacmi	510 cm <sup>3</sup>
Sıkıştırma oranı	17,5:1
Motor Gücü	12 BG
Maksimum Tork	32,1 Nm / 1800 rpm

Egzoz emisyon gazı ölçümlerinde Bosh BEA 350 marka emisyon cihazı kullanılmıştır.

Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri Çizelge 5.3’de görülmektedir.

**Çizelge 5.3** Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri.

Özellik	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
CO (% vol.)	0-10	0,001
CO <sub>2</sub> (% vol.)	0-18	0,01
HC (ppm)	0-9999	1
O <sub>2</sub> (% vol.)	0-22	0,01
Lambda	0,5-9,999	0,001
NO (ppm)	0-5000	1

Silindir içi basınç verilerinin ölçümünde AVL QC34C marka basınç sensörü ve Kistler marka 5018A şarj amfikatörü kullanılmıştır. Krank açısı Opkon marka 1000 pulslük enkoder kullanılarak ölçülmüştür. Basınç ve krank açısı verilerinin bilgisayara aktarılmasında National instrument marka veri toplayıcısı kullanılmıştır. Resim 5.2’de silindir içi basınç ölçümünde kullanılan test ekipmanları görülmektedir.



**Resim 5.2** Silindir içi basınç ölçüm ekipmanları.

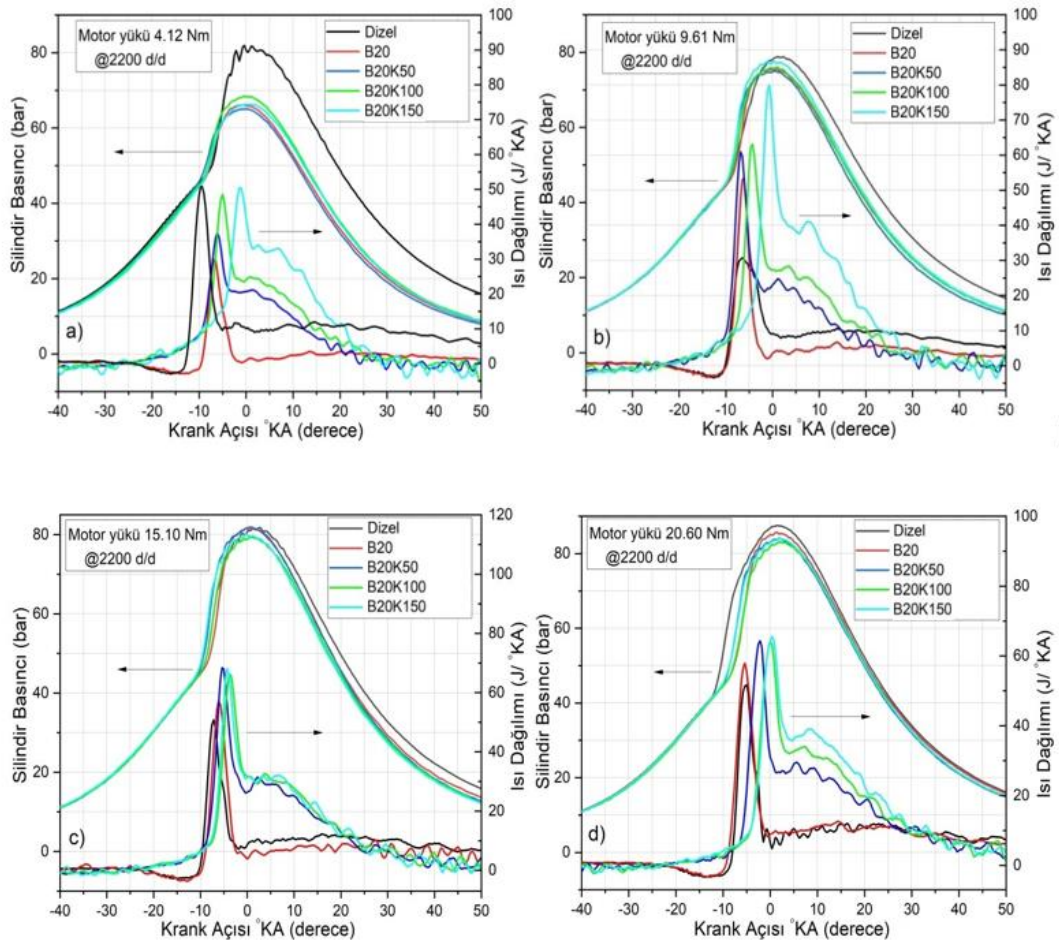
## 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Biyodizel, yüksek oksijen içeriği ve yüksek setan sayısına sahip olduğu için dizel yakıtına yakın performans elde edilebilmektedir. Ancak yüksek viskozitesi, düşük ısı değeri ve yakıt enjeksiyonunda yaşanan atomizasyon problemleri bulunmaktadır. Bu problemlerin çözümü ve biyodizelin yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi için üretimi esnasında katalizörler kullanılmaktadır (Banapurmath vd. 2014, Sezer 2019, Fu vd. 2003, Imdadul vd. 2015). Bununla birlikte üretiminden sonra nanopartikül malzemelerin yakıt ilavesi gerçekleştirilebilmekte, biyodizelin özellikleri iyileştirilmektedir (Banapurmath vd. 2014, Sezer 2019, Fu vd. 2003, Imdadul vd. 2015, Solmaz ve Sürer 2019, Lenin vd. 2013, Soni vd. 2015). Nanopartikül malzemelerin yüksek aktivasyon enerjisi, oksidasyon reaksiyonları esnasında katalizör görevini üstlenmesi yanma karakteristiklerini iyileştirebilmektedir (Banapurmath vd. 2014, Sezer 2019, Fu vd. 2003, Imdadul vd. 2015, Solmaz ve Sürer 2019, Lenin vd. 2013, Soni vd. 2015, Khond ve Kriplani 2016, Jose ve Anand 2011) Nanopartikül hızlı yanma sağlayarak, yanma özelliklerini iyileştirebilmektedir (Banapurmath vd. 2014).

Şekil 6.1'de farklı motor yüklerinde test yakıtları ile elde edilen silindir basıncı ve ısı dağılımı değişimleri görülmektedir. Düşük motor yüklerinde dizel yakıtı ile daha fazla silindir basıncı ölçülmüştür. 15.10 ve 20.60 Nm motor yüklerinde dizel yakıtı ve karışım yakıtlar arasında silindir basıncı açısından fazla fark olmadığı görülmektedir. Şekil 6.1 incelendiğinde, tüm motor yükleri için karbon nanopartikül ilavesi ile yanma fazının rötara alındığı ifade edilebilir. Karışım yakıtlar ile yüksek motor yüklerinde maksimum silindir basıncının dizel yakıtına göre bir miktar düşük kaldığı ifade edilebilir.

Karbon nanopartikül ilavesi ile reaktif malzemenin eklenmesi biyodizel-dizel yakıt karışımının özelliklerini iyileştirmektedir. Buna bağlı olarak yakıtın tutuşması, açığa çıkan ısı ve nanoparçacıkların reaktif davranışı ile ateşleme özelliklerinin iyileştiği yüksek motor yüklerinde dizel yakıtına yakın silindir basıncı değerlerinin elde edildiği görülmektedir (Banapurmath vd. 2014, Allen vd. 2011, Bashasadhik ve Anand 2011). Aynı zamanda karbon nanopartikül malzeme reaksiyon oranını arttırmaktadır (Banapurmath vd. 2014).

Isı dağılımının değişimi incelendiğinde, karbon nanopartikül ilavesi ile difüzyon yanma aşamasında ısı dağılımının dizel yakıtına göre arttığı görülmektedir. Karbon nanopartikül yüksek reaktif yüzey alanı ile yanmanın ikinci aşamasında daha fazla kimyasal reaktivite sağlamaktadır. Karbon nanopartikülün termal iletkenlik özelliklerinin iyi olması oksidasyon reaksiyon oranının artmasına neden olmaktadır (Banapurmath vd. 2014, Sezer 2019, Fu vd. 2003, Imdadul vd. 2015). Biyodizelin yüksek oksijen içeriği ve karbon nanopartikülün yüksek reaktivite özelliği yanma karakteristiklerini iyileştirmektedir.

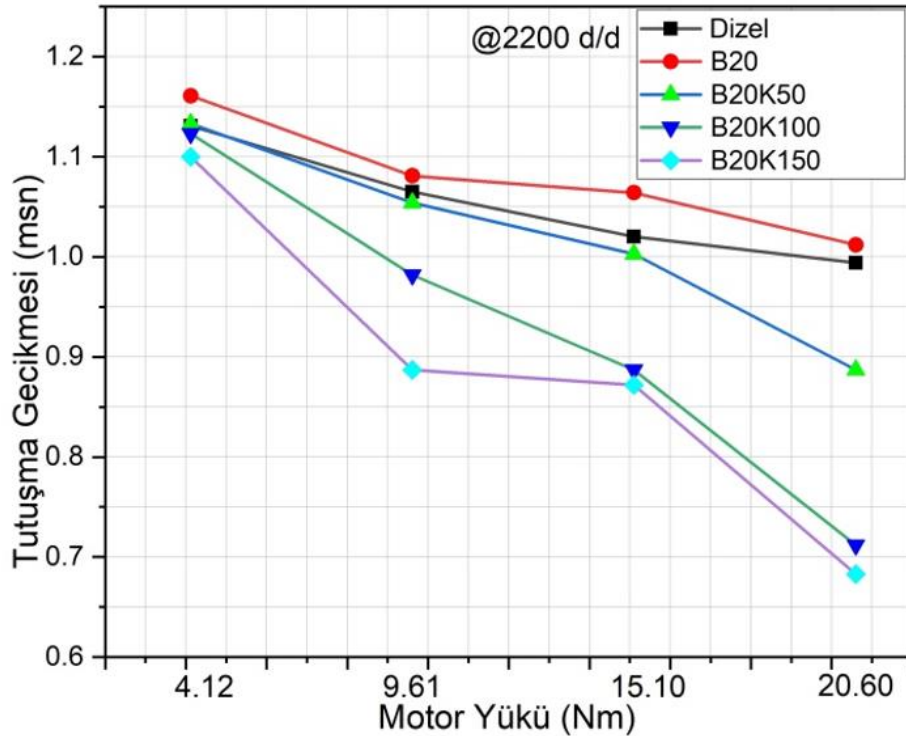


**Şekil 6.1** Karbon nanopartikülün silindir basıncı ve ısı dağılımı üzerindeki etkileri.

Dizel motorlarda yanma fazını etkileyen en önemli faktörlerden biri tutuşma gecikmesi süresidir. Şekil 6.2 motor yüküne bağlı tutuşma gecikmesi sürelerini göstermektedir. B20 yakıtı ile özellikle yüksek yüklerde tutuşma gecikmesi süresi uzamaktadır. Biyodizelin yüksek viskozitesi ve yoğunluğu püskürtme karakteristiklerini etkilemektedir. Yüksek yoğunluk nedeni ile yakıt damlacık çapı arttığından ilk alev çekirdeği daha geç

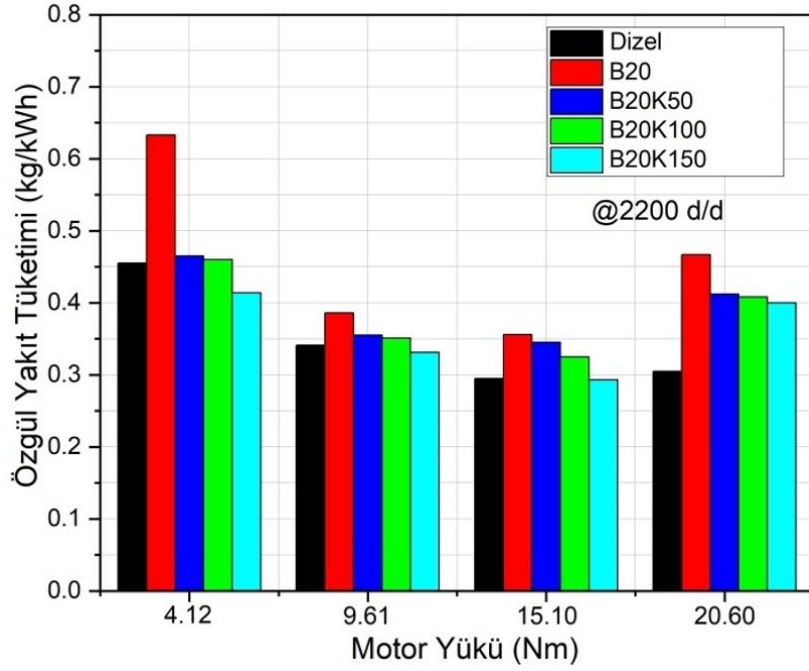
oluşmaktadır. Daha büyük çapta yakıt moleküllerinin buharlaşması ve tutuşmaya başlaması için daha fazla süreye ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca motor yükü arttıkça silindire alınan karışım miktarı artmaktadır. Bununla birlikte yanma sonu elde edilen yüksek gaz ve cidar sıcaklığı oksidasyon reaksiyonlarının hızlanmasına neden olmaktadır. Sonuçta tutuşma gecikmesi kısalmaktadır. Karışım yakıtlardaki karbon nanopartikül miktarı arttıkça tutuşma gecikmesi azalmaktadır. Karbon nanopartikül ilavesi buharlaşma sürecini kısaltmakta daha kısa tutuşma gecikmesi süresi sağlanmaktadır (Banapurmath vd. 2014, Allen vd. 2011, Bashasadhik ve Anand 2011).

Karbon nanopartikül ile katalitik reaktivite görülmekte ilk alev çekirdeği daha kolay oluşabilmektedir. Yanmanın başlangıcında karbon nanopartikül malzemeler iyileşme göstermekte, ısı dağılımının hızlı olmasını sağlamaktadırlar (Solmaz ve Sürer 2019, Hariram vd., 2018). Karbon nanopartikül ilavesi ile alevlenme ve tutuşma sıcaklık değerleri azalmakta, tutuşma gecikmesi süresi kısalmaktadır (Sezer 2019, Lenin vd. 2013).



Şekil 6.2 Tutuşma gecikmesi.

Özgül yakıt tüketimi değişimleri Şekil 6.3’de verilmektedir. Minimum özgül yakıt tüketimleri 15.10 Nm motor yükünde elde edilmiştir. Minimum özgül yakıt tüketimi 15.10 Nm motor yükünde dizel yakıtı ile 0.295 kg/kWh, B20K150 test yakıtı ile 0.293 kg/kWh elde edilmiştir. Maksimum özgül yakıt tüketimi tüm motor yüklerinde B20 yakıtı ile elde edilmiştir. Biyodizelin düşük ısıl değeri ve yüksek yoğunluğu tüketilen yakıt miktarının artmasına neden olmaktadır. Diğer test yakıtları ile karşılaştırıldığında, motorun aynı efektif gücü verebilmesi için daha fazla yakıt harcaması gerekmektedir. Ayrıca karbon nanopartikül ilavesi ile yakıt ekonomisinin iyileştiği görülmektedir. Nanopartikül malzeme ilavesi ile genel olarak yakıtın setan sayısı ve ısıl değer özellikleri iyileştirilmektedir (Sezer 2019, Soni vd. 2015, Khond ve Kriplani 2016).

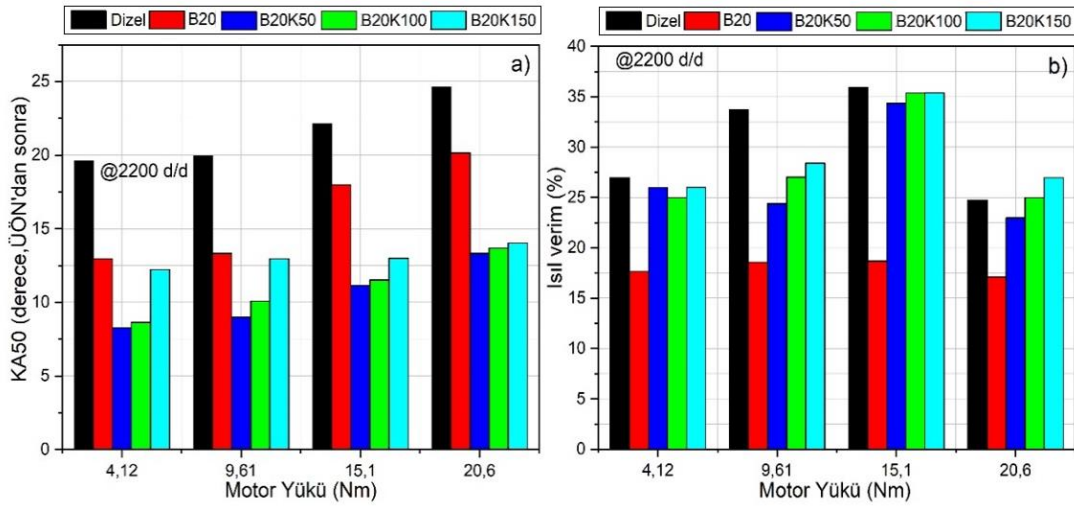


Şekil 6.3 Özgül yakıt tüketimi değişimi.

Şekil 6.4’de KA50 ve ısıl verim değişimleri görülmektedir. Yüksek ısıl verim için KA50 değeri ÜÖN’den hemen sonra elde edilmelidir (Heywood 1988, Stone 1999). Maksimum KA50 değerleri dizel yakıtı ile elde edilmiştir. Karbon nanopartikülün bulunduğu karışım yakıtlarda KA50 değerinin B20 yakıtına göre az elde edildiği görülmektedir. Ancak B20 yakıtı içerisindeki karbon nanopartikül oranı arttıkça KA50 değerinin arttığı görülmektedir. Buna bağlı olarak karışım yakıtlar ile dizel yakıt karşılaştırıldığında karışım yakıtlar ile dizele yakın ısıl verimin hesaplandığı görülmektedir. Biyodizelin



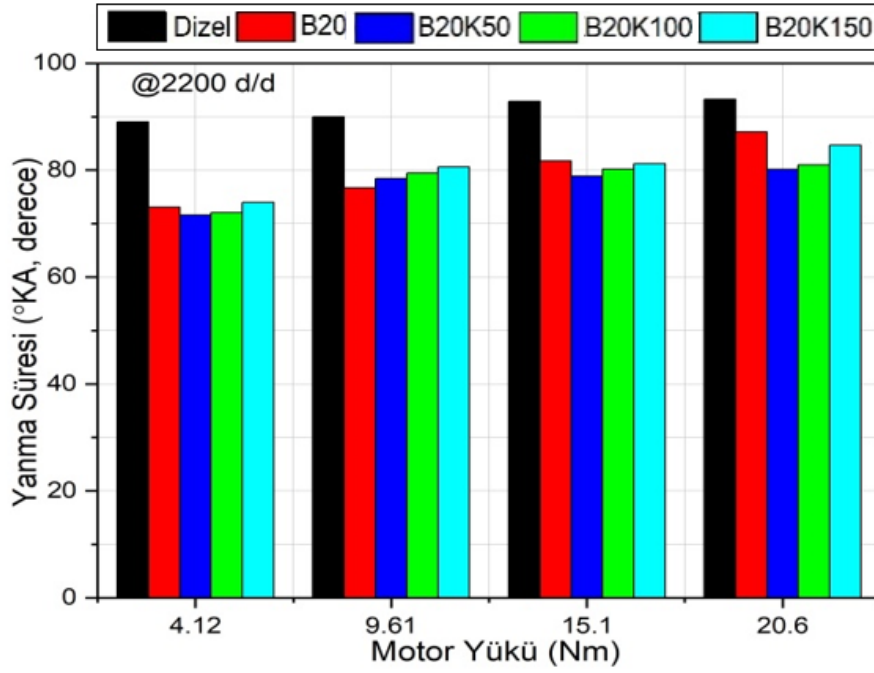
yüksek yoğunluğu ve düşük kalorifik enerjisinden dolayı yakıttan elde edilen ısı enerjisinin net işe dönüşümü azalmaktadır. En düşük ısı verim B20 yakıtı ile hesaplanmıştır. Karbon nanopartikül malzemenin yüksek radyasyon ve termal özellikleri reaksiyon oranını arttırmaktadır (Banapurmath vd. 2014, Sezer 2019). Ayrıca oksidasyon katalizörü gibi görev yaparak yanmayı iyileştirmektedir. Sonuçta ısı verim artmaktadır (Banapurmath vd. 2014, Sezer 2019).



Şekil 6.4 KA50 ve ısı verim değişimi.

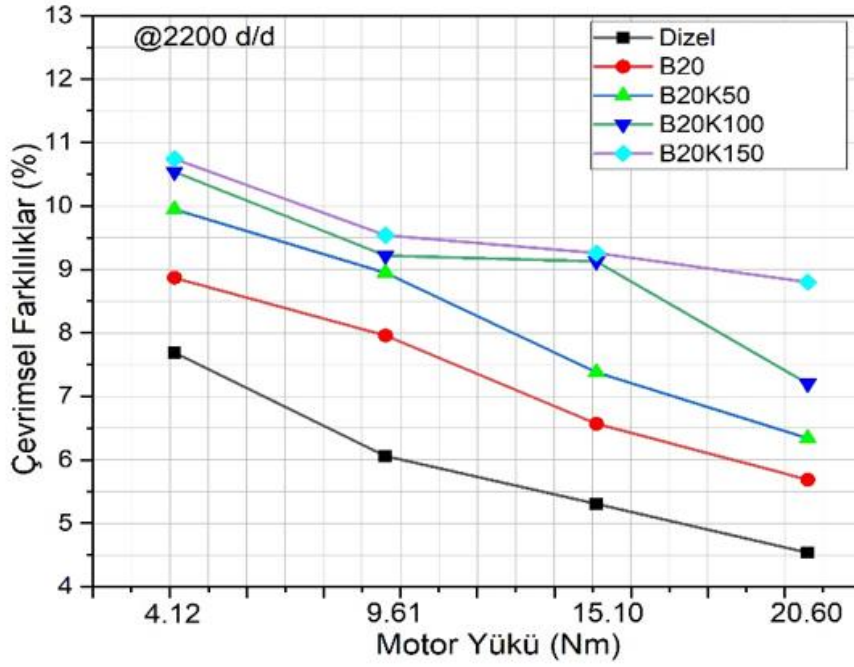
Şekil 6.5'de motor yüküne bağlı yanma süresi değişimi görülmektedir. Karbon nanopartikül malzeme yanmanın başlangıcında gecikmelere neden olabilmektedir (Banapurmath vd. 2014, Sezer 2019, Fu vd. 2003). Fakat yüksek kimyasal reaktivite ısı dağılım hızının artmasına neden olmaktadır. En uzun yanma süresi dizel yakıtı ile hesaplanmıştır. Karbon nanopartikül ilavesi ile alev periyodu süresi uzamakta, karbon nanopartikül madde ilavesi arttıkça yanma süresi artmaktadır. Karbon nanopartikül malzemenin aktivasyon enerjisinin yüksek olmasına bağlı olarak yanma odasında kalan karbon parçacıkların yanmasını tamamlaması sağlanmaktadır. Bu süreç yanmanın uzamasına neden olabilmektedir.





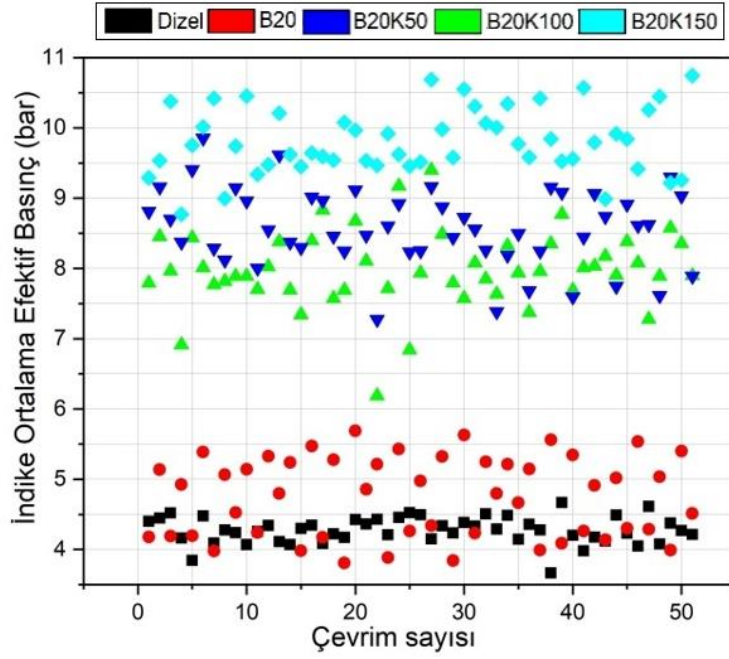
Şekil 6.5 Yanma süresi.

Şekil 6.6'da indike ortalama efektif basınç değerlerine bağı çevrimsel farklılıklar görülmektedir. Motor yükü arttıkça çevrimsel farklılıklar tüm test yakıtları için artmaktadır. Karışımın kompozisyonu ve termodinamik hal motor yüküne bağı olarak değişmektedir. Çevrimsel farklılıkların en az dizel yakıtı ile elde edildiğı görülmektedir. Motorun kararlı bir şekilde çalışabilmesi için çevrimsel farklılıkların %10'u geçmesi istenmemektedir (Heywood 1988). Karışım yakıtlarda karbon nanopartikül miktarı arttıkça çevrimsel farklılıkların arttığı görülmektedir. Karbon nanopartikülün yüksek reaktivitesi oksidasyon reaksiyonları sırasında yüksek ısı enerjinin açığa çıkmasına ve çevrimden çevrime değişikliklerin olmasına neden olmaktadır.



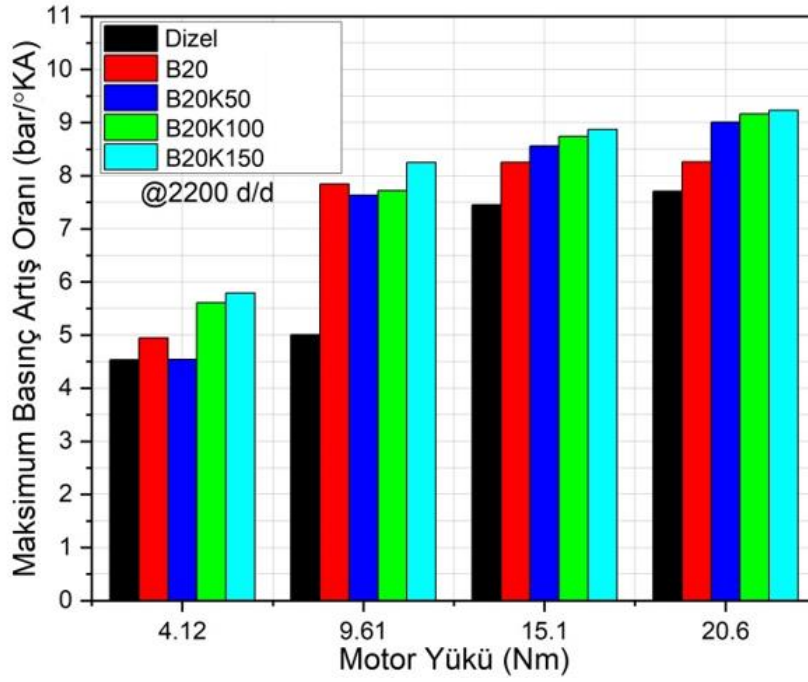
Şekil 6.6 İndike ortalama efektif basınca bağılı çevrimsel farklılıklar.

Ardışık 50 çevrime bağılı indike ortalama efektif basınç değerleri Şekil 6.7’de görölmektedir. Minimum imep değerleri dizel yakıtı ile elde edilmiştir. Şekil 6.7 incelendiğinde karışım yakıtlardaki karbon nanopartikül oranı arttıkça imep değerlerinin arttığı görölmektedir. Piston üzerine yanma sonucu bir çevrim boyunca uygulanan basıncın arttığı görölmektedir. Karışım yakıtlara karbon nanopartikül ilavesi yakıtın fiziksel ve kalorifik özelliklerini iyileştirmektedir. Biyodizelin yüksek oksijen içeriği ve kütleli olarak daha fazla yakıt molekülünün püskürtölmesi ve yanması imep değerlerinin artmasına neden olmaktadır. Oksidasyon reaksiyonlarının tamamlanması için azami öneme sahip oksijen konsantrasyonu ve karbon nanopartikül ilavesi ile geliştirilen yakıtın ısı özellikleri oksidasyon oranını arttırmaktadır. Sonuçta çevrim boyunca pistonu uygulanan indike ortalama efektif basınç artmaktadır.



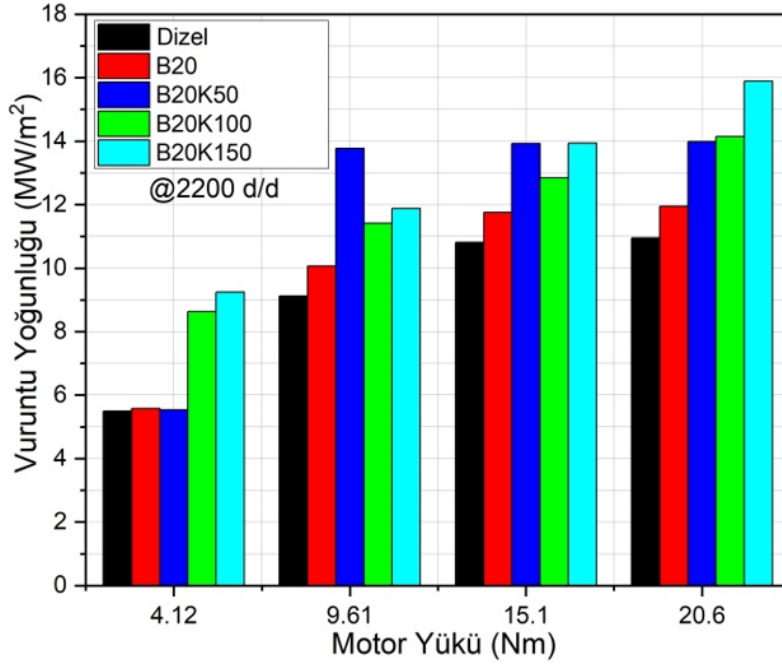
Şekil 6.7 50 çevrime bağlı imep değişimi.

Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda motorun kararlı çalışması açısından incelenmesi gereken bir diğer parametre basınç artış oranıdır. Çevrim boyunca krank açısına bağlı olarak pistonu uygulanan kuvvet çok artmamalıdır. Şekil 6.8 motor yüküne bağlı test yakıtları ile elde edilen maksimum basınç artış oranlarını göstermektedir. Motor yükü arttıkça silindire alınan karışım artmakta ve birim krank açısı değişimine bağlı olarak krank miline aktarılan basınç artmaktadır. Dizel yakıtı ile maksimum basınç artış oranı minimum düzeydedir. Ancak karışım yakıtları ile maksimum basınç artış oranının arttığı görülmektedir. Bunun yanında karışım yakıtlardaki karbon nanopartikül oranı arttıkça maksimum basınç artış oranının arttığı görülmektedir. Metalik esaslı nanopartikül maddeler yanma karakteristiklerini iyileştirerek, performansı arttırmaktadırlar (Banapurmath vd. 2014, Sezer 2019, Fu vd. 2003, Heydari-Maleny vd. 2017) Nanopartikül malzemenin yüksek termal iletkenlik özelliği elde edilen maksimum basıncın artmasına neden olmaktadır (Banapurmath vd. 2014, Sezer 2019, Fu vd. 2003). Yüksek katalitik reaktivite özelliği yanmanın iyileştirilmesini sağlamaktadır. Böylece elde edilen maksimum silindir basıncı artmaktadır.



Şekil 6.8 Maksimum basınç artış oranı değışimi.

Motorun vurutulu çalışma eğilimi vurutu yoğunluğu ile ifade edilebilmektedir. Vurutu yoğunluğu maksimum basınç artış oranı, motor devri gibi faktörlere bağı olarak değışmektedir. Vurutu yoğunluğunun motor yüküne bağı değışimi Şekil 6.9’da görülmektedir. Maksimum basınç artış oranına benzer şekilde vurutu yoğunluğu motor yükü arttıkça artmaktadır. Minimum vurutu yoğunluğu dizel yakıtı ile elde edilmiştir. Karışım yakıtlarda karbon nanopartikül oranı arttıkça motorun vurutu yoğunluğu artmaktadır. Karbon nanopartikül malzemenin yüksek reaksiyon oranı ısı dağılımının hızlı olmasına neden olmaktadır. Ayrıca alev hızı ve ısı dağılım oranı nanopartikül malzeme ile artmaktadır (Sezer 2019, Fu vd. 2003, Khond ve Kriplani 2016).

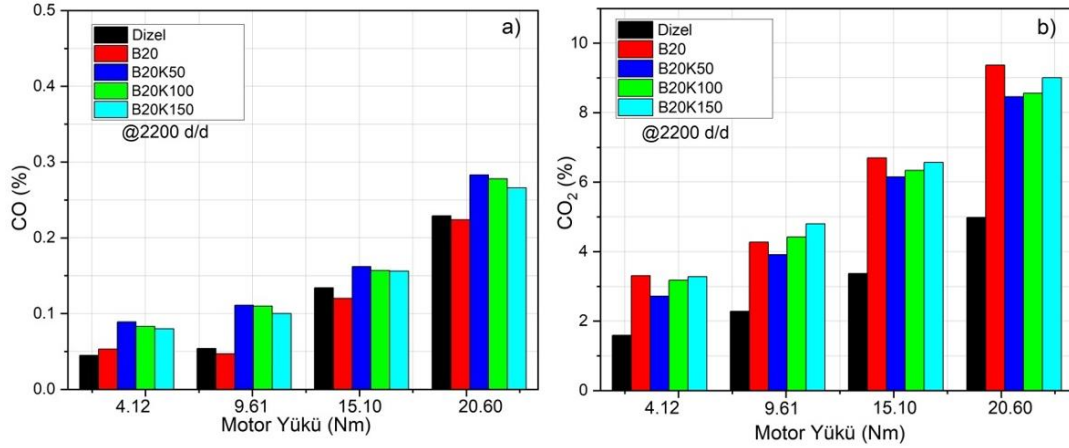


Şekil 6.9 Vuruntu yoğunluğu.

Şekil 6.10-a ve Şekil 6.10-b sırasıyla motor yüküne bağlı CO ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının değişimini göstermektedir. Motor yükünün artmasına bağlı olarak CO emisyonları artmaktadır. Silindire alınan yakıt molekülleri yük arttıkça artmakta ve yanma odasında oksijen konsantrasyonu azalmaktadır. Bunun sonucunda yakıt moleküllerinin oksidasyonu yavaşlamaktadır ve eksik yanma ürünü olan CO artış göstermektedir. Ayrıca test yakıtlarına karbon nanopartikül ilavesi ile CO emisyonlarının azaldığı görülmektedir. Motor yükü arttıkça CO<sub>2</sub> emisyonu artış göstermektedir. Benzer şekilde karbon nanopartikül oranı arttıkça CO<sub>2</sub> emisyonları artmaktadır. Yüksek yüzey/hacim oranına sahip nanopartikül malzeme yanma odasının genelinde reaksiyon oranını artırarak yanmanın tamamlanmasını desteklemektedir. Yüksek reaktif yüzey alanı ile kimyasal oksidasyon reaksiyonlarının iyileşmesini sağlamaktadır (Banapurmath vd. 2014, Sezer 2019).

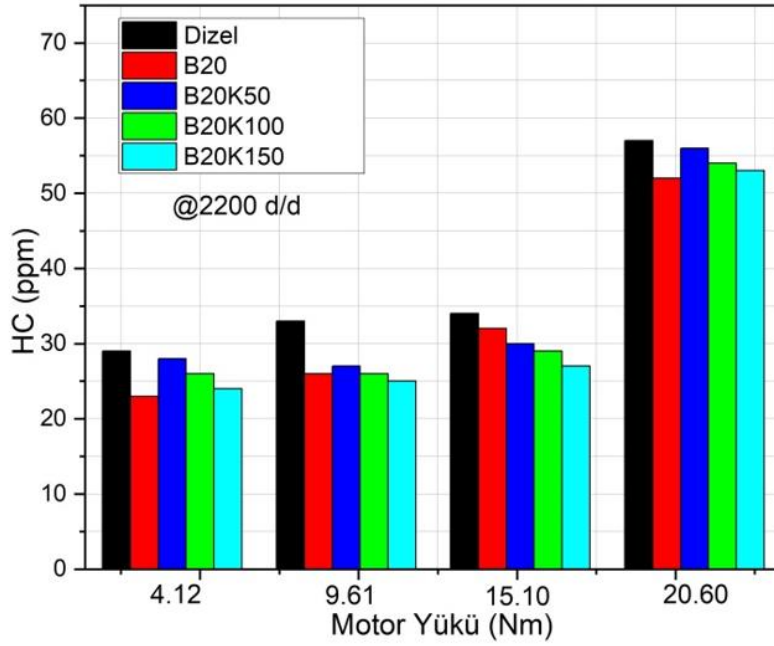
Karbon nanopartiküller yüksek difüzyon hızı sağlamakta yanma reaksiyonlarını iyileştirmektedir (Banapurmath vd. 2014, Sezer 2019). Yüksek termal iletkenlik özelliği ile yanma esnasında enerji taşıyıcı gibi davranış göstererek oksidasyon reaksiyonlarının tamamlanmasına yardımcı olmaktadır. Yanma odasında yüksek ısı enerjisi ve biyodizel yakıtın sağladığı oksijen içeriği ile karbon nanopartikül ilavesi arttıkça CO

oluşumu azalmaktadır (Banapurmath vd. 2014, Allen vd. 2011, Bashasadhik ve Anand 2011).



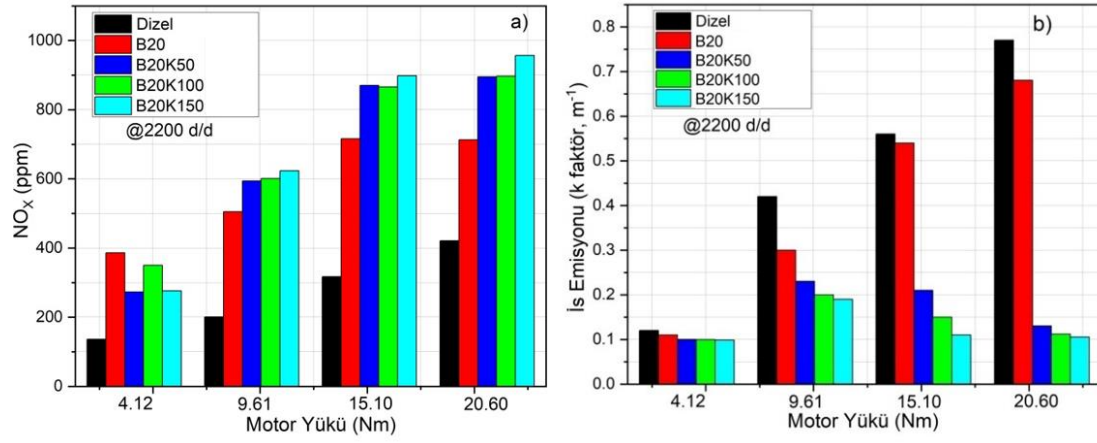
Şekil 6.10 CO ve CO<sub>2</sub> emisyonları.

Şekil 6.11’de motor yüküne bağlı test yakıtları ile ölçülen HC emisyonları görülmektedir. Motor yükü arttıkça silindire alınan yakıt molekülleri artmaktadır. Ancak oksidasyon reaksiyonları yetersiz oksijenden dolayı tam olarak gerçekleşmemektedir. Özellikle silindir cidarlarına yakın ve oyuk bölgelerde yakıt moleküllerinin oksidasyonu yavaşlamakta alev gelişimi zayıflamaktadır. Bu bölgelerdeki yakıt kimyasal oksidasyon reaksiyonları yavaşladığı için yanma oranı azalmaktadır. Bunun yanında B20 içerisindeki karbon nanopartikül oranının artması ile HC emisyonunun azaldığı gözlenmiştir. Maksimum HC emisyonu dizel yakıtı ile ölçülmüştür. Karbon nanopartikül ilavesi ile hidrokarbonların tam yanma reaksiyonları gerçekleşmekte HC oluşumu azalmaktadır (Banapurmath vd. 2014, Sezer 2019, Fu vd. 2003, İmradul vd. 2015). Nanopartikül içerikli katkı malzemesi yüksek reaktivite özelliği ile yanma odasındaki karbon taneciklerinin de oksidasyona katılmalarını sağlayarak HC oluşumunu azaltmaktadır (Sezer 2019, Soni vd. 2015, Khond ve Kriplani 2016).



Şekil 6.11 HC emisyonu.

Dizel motorlarda  $NO_x$  ve is emisyonları birlikte azaltılamamaktadır. Şekil 6.12-a'da motor yüküne bağlı ölçülen  $NO_x$  emisyonları görülmektedir. Motor yükü arttıkça yanma sonu gaz sıcaklığı arttığı için  $NO_x$  emisyonu artış göstermektedir. Aynı zamanda B20 yakıtına karbon nanopartikül ilavesi  $NO_x$  emisyonlarında artışa neden olmaktadır. Reaktivite özelliği yüksek olan karbon nanopartikül hızlı ısı dağılımı ile sıcaklığın yükselmesine sebep olmaktadır. Bunun sonucunda oksijen ve azot molekülleri arasında reaksiyon meydana gelmekte,  $NO_x$  oluşumu gözlemlenmektedir. Dizel yakıtına biyodizel ilave edilmesine bağlı olarak oksijen içeriği artmaktadır. Yakıt ve oksijen moleküllerinin reaksiyona girme temayülü artmakta ve  $NO_x$  oluşumu görülmektedir. Şekil 6.12-b motor yüküne bağlı is emisyonlarının değişimini göstermektedir. Karışım yakıtlar ile is emisyonlarının azaldığı görülmüştür. Karbon nanopartikülün yüksek reaksiyon enerjisi yanma özelliklerini iyileştirmektedir. Biyodizelin yüksek oksijen içeriği ve oksidasyon reaksiyonlarının iyileşmesi ile is oluşumu azalmaktadır (Solmaz ve Sürer 2019, Hariram vd. 2018).



Şekil 6.12 NO<sub>x</sub> ve is emisyonlarının değişimi.



## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüz koşullarında kullanılan petrol kökenli yakıt kaynaklarının sınırlı olması ve siyasal, ekonomik problemler ile giderek artış gösteren çevre bilinci, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi arttırmıştır. Biyodizel yakıtı, dizel motorlar için yenilenebilir kaynaklardan üretilen bir alternatif yakıt türüdür. Bu kapsamda biyodizel yeni iş alanlarının oluşabilmesi için istihdamın sağlanması, tüm dünya genelinde üretilebilir hale gelmesi, çevre ve insan sağlığı açısından tehdit oluşturmaması gibi sebeplerden dolayı ön planda tutulmaktadır.

Bu çalışmada, kanola yağından transesterifikasyon metodu kullanılarak biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Biyodizel dizel yakıtı içerisine %20 oranında ilave edilerek B20 yakıtı elde edilmiştir. B20 yakıtı içerisine 50 ppm, 100 ppm ve 150 ppm oranlarında karbon nano partikül (karbon quantum nokta) ilavesinin motor performans, yanma karakteristikleri ve egzoz emisyonları üzerine etkileri tek silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı bir dizel motorunda incelenmiştir.

Düşük motor yüklerinde dizel yakıtı ile karışım yakıtlara göre daha fazla silindir içi basınç değerleri elde edilmiştir. Motor yükündeki artışa bağlı olarak bu farkın azaldığı gözlenmiştir.

Tutuşma gecikmesi, dizel motorlarda yanma fazını etkileyen önemli faktörlerden birisidir. B20 yakıtı ile özellikle yüksek motor yüklerinde tutuşma gecikmesi süresinin uzadığı, biyodizelin yüksek viskozitesi ve yoğunluğunun püskürtme karakteristiklerini etkilediği ve yüksek yoğunluk nedeni ile yakıt damlacık çapı arttığından ilk alev çekirdeğinin daha geç oluştuğu gözlemlerine varılmıştır.

Minimum özgül yakıt tüketimleri 15.10 Nm motor yükünde elde edilmiştir. Maksimum özgül yakıt tüketimi tüm motor yüklerinde B20 yakıtı ile elde edilmiştir. Biyodizelin düşük ısı değeri ve yüksek yoğunluğu tüketilen yakıt miktarının artmasına neden olmaktadır. Nanopartikül ilavesi genel olarak yakıtın setan sayısı ve ısı değeri özellikleri geliştirdiği için yakıt ekonomisinde iyileşmeler gözlenmiştir.

Test yakıtlarına karbon nanopartikül ilave edildikçe KA50 değerinin arttığı görülmektedir. Tüm motor yüklerinde maksimum KA50 değeri dizel yakıtı ile elde edilmiştir. B20 yakıtı içerisine karbon nanopartikül ilavesiyle birlikte ısı veriminin arttığı gözlenmiştir.

Test yakıtlarında en uzun yanma süresi dizel yakıtı ile elde edilmiştir. Karbon nanopartikül ilavesi ile alev periyodu süresi uzamakta, karbon nanopartikül madde ilavesi arttıkça yanma süresi artmaktadır. Karbon nanopartikül malzemenin aktivasyon enerjisinin yüksek olmasına bağlı olarak yanma odasında kalan karbon parçacıklarının yanmasını tamamlaması sağlanmaktadır. Bu süreç yanmanın uzamasına neden olabilmektedir.

Karışım yakıtlarda karbon nanopartikül miktarı arttıkça çevrimsel farklılıkların artış gösterdiği gözlenmiştir. 50 çevrime bağlı imep değişiminde minimum imep değerleri dizel yakıtı ile elde edilmiştir. Karışım yakıtlardaki karbon nanopartikül oranı arttıkça imep değerlerinin arttığı ve böylece piston üzerine yanma sonucu bir çevrim boyunca uygulanan basıncın artış gösterdiği gözlenmiştir.

Motor yükünün artması ile silindir içerisine alınan karışımın miktarı artmaktadır. Böylece birim krank açısı değişimine bağlı olarak krank miline aktarılan basınç artmaktadır. Dizel yakıtı ile maksimum basınç artış oranı minimum düzeyde iken, karışım yakıtların kullanımı ile artışlar gözlenmiştir.

Maksimum basınç artış oranı ve motor devri gibi parametrelere bağlı olan vuruş yoğunluğu dizel yakıtı kullanımı ile en az miktarda elde edilmiştir. Karbon nanopartikül oranının artmasına bağlı olarak vuruş yoğunluğu artış göstermiştir.

CO ve CO<sub>2</sub> emisyonları, motor yükünün artışına bağlı olarak artış göstermektedir. Silindire alınan yakıt molekülleri motor yükü arttıkça artmakta ve yanma odasında oksijen konsantrasyonu azalmaktadır. Sonuç olarak yakıt moleküllerinin oksidasyonu yavaşlamaktadır ve eksik yanma ürünü olan CO artış göstermektedir. Karbon nanopartikül ilavesi CO emisyonlarında artışa sebep olmaktadır.

Motor yükü arttıkça silindire alınan yakıt molekülleri artmaktadır. Fakat oksidasyon reaksiyonları yetersiz oksijenden dolayı tam olarak gerçekleşmemekte, HC oluşumu gözlenmektedir. Maksimum HC emisyonu dizel yakıtı ile elde edilmiştir. Karbon nanopartikül oranının artması ile HC emisyonunun azaldığı gözlenmiştir.

Motor yükünün artması ile yanma sonu gaz sıcaklığı artmakta ve NO<sub>x</sub> emisyonları artmaktadır. Minimum NO<sub>x</sub> emisyonları dizel yakıtı ile elde edilmiştir. Karbon nanopartikül ilavesi ile NO<sub>x</sub> emisyonlarında artışlar gözlemiştir.

Nano partiküllerin yüksek reaksiyon enerjisi yanma özelliklerini iyileştirmektedir. Ayrıca biyodizelin oksijen içeriği nedeniyle is emisyonlarını azalmaktadır. Karbon nanopartikül ilavesi ile is emisyonları azalmıştır.

Sonuç olarak biyodizelin kullanımı, üretimi vb. kapsamında bazı önerilerde bulunulabilir. Bu öneriler;

- Biyodizel kullanımlarında yakıtın temas ettiği bakır borular ve çinko kaplamalarından uzak durulmalıdır.
- Biyodizel karışımı yakıtlarda nano partikül seviyesinde başta metal esaslı yakıt katkı maddeleri olmak üzere yakıt katkı maddeleri ile ilgili her türlü araştırma proje ve çalışmalarına destek verilmelidir.
- Biyodizelin ekonomik anlamda üretilebilmesi ve iyileştirilmesi için direkt olarak devlet desteğinin sağlanması gerekmektedir.

## 8. KAYNAKLAR

- Acaroğlu M, K6se H, 2020, Cynara Cardunculus'dan üretilen Biyodizel ve Karişımlarının İçten Yanmalı Motorların Yanma Karakteristikleri ve Emisyonları zerine Etkilerinin İncelenmesi, El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 7, 1275-1292.
- Akbulut F, 2017, Fındık kabuğundan pirolitik yakıt üretiminin optimizasyonu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 53s, Afyonkarahisar.
- Aksoy L, 2010, Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel ve retim Prosesleri, Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2, 45-52.
- Alag6z O, şahin S, 2020, Atık Mermer Tozu Kataliz6rlğnde Haşhaş Yağından Biyodizel Eldesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20, 892-899.
- Allen C, Mittal G, Sung C, Tulson E, Lee T, 2011, An Aerosol Rapid Compression Machine for Studying Energetic-Nanoparticle-Enhanced Combustion of Liquid Fuels, Proceedings of the Combustion Institute, 33, 3367-3374.
- Alpgiray B, Gürhan R, 2007, Kanola Yağının Diesel Motorunun Performansına ve Emisyon Karakteristiklerine Etkilerinin Belirlenmesi, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Tarım Bilimleri Dergisi, 13, 231-239.
- Alptekin E, 2013, Hayvansal Atık Yağlardan Biyodizel retimi ve Bir Dizel Motorda Kullanımının İncelenmesi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 182s, Kocaeli.
- Altın R, etinkaya S, Yücesu H S, 2001, The Potential of Using Vegetable Oil Fuels as Fuel for Diesel Engines, Energy Conversion and Management, 42, 529-538.
- Ansari E, Poorghasemi K, Khoshbakht Irdmoussa B, Shahbakhti M and Naber J, 2016, Efficiency and Emissions Mapping of a Light Duty Diesel-Natural Gas Engine Operating in Conventional Diesel and RCCI Modes, SAE Technical Paper, 01-2309.

- Arıkan M, 2011, Adana İlinde Kolza Üretiminde Enerji Kullanımı, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 78s, Adana.
- Arıoğlu H, 2016, Türkiye’de Yağlı Tohum ve Ham Yağ Üretimi, Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 25, 357-368.
- Artukoğlu B D, 2006, Hayvansal atık yağlardan biyodizel üretimi ve özelliklerinin geliştirilmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 94s, Ankara.
- Banapurmath N, Sankaran R, Tumbal A, Narasimhalu T N, Hunashyal A M, Ayachit A, 2014, Experimental Investigation on Direct Injection Diesel Engine Fuelled with Graphene, Silver and Multiwalled Carbon Nanotubes-Biodiesel Blended Fuels, International Journal of Automotive Engineering and Technologies 3, 129–138.
- Bashasadhik J, Anand R B, 2011, An experimental investigation in a diesel engine using carbon nanotubes blended water–diesel emulsion fuel, Journal of Power and Energy, 225, 279-288.
- Boz N, Sunal O, 2009, Kanola Yağından Çinko Oksit-Destekli Katalizör Varlığında Biyodizel Üretimi, Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24, 389-395.
- Bulut C, 2008, Atık Bitkisel Yağ Metil Esteri Kullanılan Dizel Motorunda Aşırı Doldurma Uygulamasının Motor Performansına Etkisinin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 88s, Sakarya.
- Calam A, 2015, Homojen dolgulu sıkıştırma ile ateşlemeli (HCCI) bir motorda sıkıştırma oranının yanma ve performansa etkilerinin incelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 148s, Ankara.
- Can Ö, 2012, Bir DI Dizel Motorda Etanol Ön Karışımli Kısmi-HCCI Uygulamasının Yanma ve Emisyonlar Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 207s, Ankara.
- Çelik M, 2015, Biyodizel ve Biyodizel Karışımlarının Dizel Motorlarında Tutuşma Gecikmesi ve Yanma Karakteristiklerine Etkilerinin Deneysel İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 205s, Ankara.

- Çildir O, Çanakçı M, 2006, Çeşitli Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretiminde Katalizör ve Alkol Miktarının Yakıt Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21, 367-372.
- Demirkesen C, 2018, Dizel İçten Yanmalı Motorlarda Silindir İçerisindeki Hava Hareketlerinin İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 117s, İstanbul.
- Deniz Ç, 2012, Biyodizel Dizel Karışımlarının Bazı Fiziksel Özelliklerinin Biyodizel Oranı ile Değişimi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 90s, Erzurum.
- Doğan O, 2012, Atık Taşıt Lastiğinden Üretilen Pirolitik Yakıtın Bir Dizel Motorda Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması, Karabük Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 177s, Karabük.
- Ergen G, 2006, Ön Isıtma Uygulanarak Kullanılan Biyodizel Yakıtının Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95s, Sakarya.
- Fu W B, Hou L Y, Wang L P, Ma F H, 2003, A Study on Ignition Characteristics of Emulsified Oil Containing Flammable Fuel, Fuel Processing Technology, 80, 9-21.
- Gümüş M, 2010, A Comprehensive Experimental Investigation of Combustion and Heat Release Characteristics of a Biodiesel Hazelnut Kernel Oil Methyl Ester Fueled Direct Injection Compression Ignition Engine, Fuel, 89, 2802-2814.
- Hariram V, Udhayakumar P, Karthick A, Abraham E, Andrews A, Arunraja S, Seralathan T, Premkumar M, 2018, Effect of Carbon Nanotubes on Oxygenated Jojoba Biodiesel-Diesel Blends in Direct Injection CI Engines, International Journal of Vehicle Structures and Systems, 10, 423-432.
- Heydari-Maleny K, Taghizadeh-Alisaraei A, Ghobadian B, Abbaszadeh-Mayvan A, 2017, Analyzing and Evaluation of Carbon Nanotubes Additives to Diesohol-B2 Fuels on Performance and Emission of Diesel Engines, Fuel, 196, 110-23.
- Heywood J B, 1988, Internal Combustion Engines Fundamentals, McGraw-Hill Education, NewYork

- Imdadul H K, Masjuki H H, Kalam M A, Zulkifli N M, Rashed M M, Rashedul H K, Monirul I M, Mosarof M H, 2015, A Comprehensive Review on The Assessment of Fuel Additive Effects on Combustion Behavior in CI Engine Fuelled with Diesel Biodiesel Blends, *RSC Advances*, 5, 67541-67567.
- Jose M, Anand R B, 2011, Studies on Compression Ignition Engine to Establish Effects of Injection Pressure, Compression Ratio and Nano Additives-A Review, *International Journal of Advances in Engineering Research*, 2, 1-17.
- Kannan G R, Karvembu R, Anand R, 2011, Effect of Metal Based Additive on Performance Emission and Combustion Characteristics of Diesel Engine Fuelled with Biodiesel, *Applied Energy*, 88, 3694–3703.
- Kaplan M, 2017, İçten Yanmalı Motorlarda Silindir İçi Hava Akımının Yanma Performansı ve Eksoz Emisyonları Üzerine Etkilerinin Teorik Olarak İncelenmesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 156s, Samsun.
- Kelen F, 2014, Motorlu Taşıt Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkileri, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 19, 80-87.
- Keskin A, 2005, Tall Yağı Esaslı Biyodizel ve Yakıt Katkı Maddesi Üretimi ve Bunların Dizel Motor Performansı Üzerindeki Etkileri, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 166s, Ankara.
- Keskin A, Sağıroğlu S, 2010, Dizel Motorlardan Kaynaklanan Egzoz Emisyonları ve Kontrol Yöntemleri, *Mühendis ve Makine*, 51, 1-9.
- Keskin F, 2015, Kanola yağından ultrasonik yöntemle biyodizel üretimi ve dizel motorda kullanılması, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 102s, Karabük.
- Khond V W, Kriplani V M, 2016, Effect of Nano Fluid Additives on Performances and Emissions of Emulsified Diesel and Biodiesel Fueled Stationary CI Engine: A Comprehensive Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1338-1348.

- Lenin M A, Swaminathan M R, Kumaresan G, 2013, Performance and Emission Characteristics of a DI Diesel Engine with A Nano Fuel Additive, Fuel, 109, 362-365.
- Martyr A J, Plint M A, 2007, Engine Testing, Theory and Practice, SAE International and Elsevier, 468p, Warrendale-Pittsburgh.
- Murcak A, 2012, Farklı Yakıt Karışımlarının ve Çalışma Parametrelerinin Homojen Dolgulu Sıkıştırma ile Ateşlemeli Motor Performansına Etkileri, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 148s, Sakarya.
- Nazarian G, 2016, Tuzluluk Stresinde Kanola Bitkisinin Morfolojik ve Fizyolojik Özellikleri Üzerine Salisilik Asidin Priming Uygulamasının Etkisi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 157s, İzmir.
- Özcan C, 2018, Dizel Yakıtı ile Birlikte LPG Kullanan Dual Yakıtlı Bir Dizel Motorun Verimlilik Performans ve Emisyon Yönünden Deneysel Olarak İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 103s, Ankara.
- Özdemir Z Ö, Mutlubaş H, 2016, Biyodizel Üretim Yöntemleri ve Çevresel Etkileri, Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2, 129-143.
- Özer S, 2020, Alkol Olarak Fuzel Yağı Kullanılan Bir Esterleşme Reaksiyonunda Tall Yağı Asitlerinden Biyodizel Üretimi, Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8, 731-736.
- Pekmezci Z, 2020, Nükleer Santrallere Yönelik Yerel Halkın Bakışı: Sinop İli Örneği, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 173s, Samsun.
- Poorghasemi K, Saray R K, Ansari E, Irdmoussa B K, Shahbakhti M and Naber J D, 2017, Effect of Diesel Injection Strategies on Natural Gas/Diesel RCCI Combustion Characteristics in a Light Duty Diesel Engine, Applied Energy, 199, 430-446.
- Sezer İ, 2019, Effect of Nano Materials Additives on Fuel Properties and Combustion Characteristics, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 34, 115-136.



- Solmaz H, Sürer E, 2019, Biyodizel Yakıtına Eklenen Nanopartikül İçeren Katkıların Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Araştırılması, Proceedings on 2nd International Conference on Technology and Science, November 14-16.
- Soni G S, Rathod P P, Goswami J J, 2015, Performance and Emission Characteristics of CI Engine Using Diesel and Biodiesel Blends with Nanoparticles as Additive-A Review Study, International Journal of Engineering Development and Research, 34, 879-884.
- Stone R, 1999, Introduction to Internal Combustion Engines, The Macmillan Press Ltd., 569p, London.
- Şeker S, 2007, Biyodizel Üretimi ve Katkı Maddelerinin Yakıt Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 97s, Ankara.
- Şen M, 2019, Yapay Sinir Ağı Kullanarak Kanola Yağı Biyodizel Karışımları İçin Motor Performansı, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7, 2045-2056.
- Şen S, 2012, Hayvansal Yağlardan Biyodizel Üretimi ve Dizel Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması, Karabük Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 156s, Karabük.
- Tarım ve Orman Bakanlığı, 2020, Bitkisel Üretim Verileri, Ankara.
- Tosun A, Özkal N, 2000, Kanola, Ankara Üniversitesi Eczacılık Fakültesi Dergisi, 29, 59-76,
- Uyumaz A, 2009, Pamuk Yağı Esaslı Biyodizel ile Çalışan Bir Dizel Motorunda Yakıt Püskürtme Avansının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkileri, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 137s, Ankara.
- Uyumaz A, 2014, Homojen Dolgulu Sıkıştırma ile Ateşlemeli Bir Benzin Motorunda Supap Kalkma Miktarının Yanma ve Performansa Etkilerinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 219s, Doktora Tezi, Ankara.
- Üstün S, 2021, Atık Fuzel Yağı- Motorin Karışımı İçerisine Organik Esaslı Mangan İlavesinin Motor Performansı ve Emisyon Karakteristiklerinin Araştırılması, Gazi

Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 36, 1515- 1530.

Yıldız İ, Çalışkan H, 2020, Motor Yüküne Bağlı Olarak Biyodizel Yakıtlı Bir Dizel Motorun Enerji ve Ekserji Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8, 833-843.

### **İnternet Kaynakları**

1- <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/turkiyenin-karasal-alaninin-yuzde-30-8inde-tarim-yapiliyor/>

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet OPUZ  
Doğum Yeri ve Tarihi : Diyarbakır 27/08/1980  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon / e-posta) : 0543 307 92 62 /mehmetopuz@gmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Mimar Sinan Anadolu Meslek Lisesi (1995 – 1999)  
Lisans : Gaziantep Üniversitesi, Makine Müh. Böl., (2003– 2014)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Makine Mühendisliği ABD, (2018 – 2022)

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

: Afyon İl Milli Eğitim Müdürlüğü (2015 – 2019)  
: Afyon İl Milli Eğitim Müdürlüğü (2019 – Devam Ediyor)