



**NANO YAKIT KATKI MADDESİ İLAVE EDİLEN
BİYODİZEL DİZEL KARIŞIMININ MOTOR
PERFORMANS VE EMİSYON ÜZERİNDEKİ
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Berkan AYDIN

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Mehmet ÇELİK**

**NANO YAKIT KATKI MADDESİ İLAVE EDİLEN BİYODİZEL DİZEL
KARIŞIMININ MOTOR PERFORMANS VE EMİSYON ÜZERİNDEKİ
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Berkan AYDIN

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Mehmet ÇELİK

KARABÜK

Şubat 2022

Berkan AYDIN tarafından hazırlanan “NANO YAKIT KATKI MADDESİ İLAVE EDİLEN BİYODİZEL DİZEL KARIŞIMININ MOTOR PERFORMANS VE EMİSYON ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mehmet ÇELİK
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 10.02.2022

Unvanı, Adı SOYADI (Kurumu) İmzası

Başkan : Doç. Dr. A. Engin ÖZÇELİK (SÜ)

Üye : Doç. Dr. Mehmet ÇELİK (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Mustafa KARAGÖZ (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Berkan AYDIN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

NANO YAKIT KATKI MADDESİ İLAVE EDİLEN BİYODİZEL DİZEL KARIŞIMININ MOTOR PERFORMANS VE EMİSYON ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Berkan AYDIN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Mehmet ÇELİK

Şubat 2022, 76 sayfa

Biyodizel, yıllardır dizel yakıtı yerine kullanılabilecek bir potansiyele sahip alternatif yakıt olarak tanımlanmaktadır. İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtların, yanmadan kaynaklanan hava kirliliğini azaltmak, motor performansını arttırmak ve yakıt özelliklerini iyileştirmek için birçok yöntem kullanılmaktadır. Yakıt içerisine ilave edilen katkı maddeleri de bunlardan birisidir. Birçok araştırmacı daha önce dizel+biyodizel yakıtına nanopartiküllerin eklenmesinin motor yanma özelliklerini iyileştirdiğini, yakıt tüketimini azaltarak verimliliği arttırdığını ve emisyonları azalttığına dair çalışmalar yapmışlardır.

Bu çalışmada, pamuk yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretilerek dizel yakıtı içerisine %20 (B20) oranında karıştırılmış, bu karışımın içerisine belirli oranlarında CeO₂ (seryum oksit) nanopartikül katkı maddesi ilave edilmiştir. Dizel+biyodizel (B20) yakıt karışımına 25-50-75-100 ppm oranlarında CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilave edilerek elde edilen yakıtların motor performansı ve emisyon karakteristikleri incelenmiştir. CeO₂ nanopartikül katkı maddesinin kullanımı ile birlikte yakıtın ısıl değerinde artış, viskozitesinde azalma gözlemlenmiştir. Motor gücünde B20 yakıtına CeO₂ nanopartikül ilavesinin olumlu yönde etkisinin olduğu görülmüştür. B20 yakıtına göre 2800 dev/dak'da B20Ce100 yakıtında %12,58 güç artışı elde edilmiştir. Maksimum momentin elde edildiği 1800 dev/dak'da B20 yakıtına göre B20Ce100 yakıtında %8,35 moment artışı elde edilmiştir. Özgül yakıt tüketimi değerlerinde CeO₂ nanopartikül konsantrasyonunun artması ile birlikte azalma gözlemlenmiştir. 1800 dev/dak'da B20 yakıtına göre B20Ce100 yakıtında özgül yakıt tüketiminde %7,44 azalma meydana gelirken, termik verimde %2,69 artmıştır. Tam yanmayı destekleyen CeO₂ nanopartikül katkı maddesi oranının artması ile birlikte egzoz gazı sıcaklıklarının arttığı gözlemlenmiştir. Maksimum momentin elde edildiği 1800 dev/dak'da B20 yakıtına göre B20Ce100 yakıtı ile CO, HC ve is emisyonlarında sırasıyla %13,03, %17,17 ve %8,44 azalma elde edilirken, NO_x emisyonunda ise %8,82 oranında artışın olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Biyodizel, CeO₂, nanopartikül, motor performansı, egzoz emisyonu

Bilim Kodu : 93003

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF BIODIESEL DIESEL MIXTURE ADDED WITH NANO FUEL ADDITIVES ON ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS

Berkan AYDIN

Karabük University

The Institute of Graduate Programs

Department of Mechanical Engineers

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Mehmet ÇELİK

February 2022, 76 pages

Biodiesel has been defined as an alternative fuel with the potential to be used instead of diesel fuel for years. Many methods are used to fuels used in internal combustion engines to reduce air pollution caused by combustion, to increase engine performance and improve fuel properties. Additives added to fuel is one of them. Many researchers have previously reported that the addition of nanoparticles to diesel+biodiesel fuel improved combustion, increased efficiency by reducing fuel consumption and reduced emissions.

In this study, biodiesel was produced with transesterification method from cottonseed and mixed into diesel fuel at a rate of 20% (B20), and CeO₂ nanoparticle additive was added to this mixture at certain rates. The engine performance and emission characteristics of the fuels obtained by adding 25-50-75-100 ppm CeO₂ nanoparticle additive to the diesel+biodiesel (B20) fuel mixture were investigated. With the using of CeO₂ nanoparticle additive, increased calorific value of the fuel and decrease in its viscosity were observed. It has been observed that the addition of CeO₂ nanoparticles to B20 fuel has a positive effect on engine power. Compared to B20 fuel, power increase was achieved 12.58% with B20Ce100 fuel at 2800 rpm. Torque increase of 8,35% was obtained in B20Ce100 fuel compared to B20 fuel at 1800 rpm where the maximum torque is obtained. It was observed that the specific fuel consumption values decreased with the increase of CeO₂ nanoparticle concentration. While the specific fuel consumption of B20Ce100 fuel decreased by 7.44% compared to B20 fuel at 1800 rpm, the thermal efficiency increased by 2.69%. It was observed that the exhaust gas temperatures increased with the increase in the CeO₂ nanoparticle additive ratio, which supports complete combustion. Compared to B20 fuel, at 1800 rpm where the maximum torque is obtained, a reduction of 13.03%, 17.17% and 8.44% is achieved in CO, HC and smoke emission, respectively, an increase of 8.82% in NO_x emissions has been observed.

Key Word : Biodiesel, CeO₂, nanoparticles, engine performance, exhaust emissions

Science Code : 93003

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Mehmet elik'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgmeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	2
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	2
BÖLÜM 3	9
DİZEL MOTORLARDA YANMA VE YAKITLAR	9
3.1. YANMA	9
3.1.1. Tutuşma Gecikmesi	10
3.1.2. Kontrolsüz Yanma	11
3.1.3. Kontrollü Yanma	12
3.1.4. Gecikmiş Yanma	12
3.2. DİZEL MOTOR YAKITI	13
3.2.1. Setan Sayısı.....	14
3.2.2. Kinematik Viskozite	15
3.2.3. Isıl Değer	16
3.2.4. Yoğunluk	16
3.2.5. Soğuk Akış Özelliği.....	17
3.2.6. Parlama ve Alevlenme Noktası	17

	<u>Sayfa</u>
3.2.7. Distilasyon	18
3.2.8. Kükürt Oranı ve Korozyon Etkisi.....	19
3.2.9. Kül Miktarı	19
3.2.10. Karbon Kalıntısı.....	19
3.2.11. Su İçeriği.....	20
3.2.12. Asit Sayısı ve İyot Sayısı.....	20
3.2.13. Aromatik Yüzde.....	20
3.3. YAKIT KATKI MADDELERİ.....	22
3.3.1. Oksijenli Katkı Maddeleri	23
3.3.2. Metal Bazlı Katkı Maddeleri:	24
3.3.3. Setan Sayısı İyileştirici Katkı Maddeleri.....	24
3.3.4. Nanopartikül Katkı Maddeleri.....	24
3.3.5. Soğuk Akış İyileştirici Katkı Maddeleri:.....	25
3.3.6. Antioksidan Katkı Maddeleri	26
3.4. DİZEL MOTORLARIN KİRLETİCİ EMİSYONLARI.....	26
3.4.1. Azot oksit Emisyonu (NO _x)	28
3.4.2. Hidrokarbon Emisyonu (HC)	29
3.4.3. Karbonmonoksit Emisyonu (CO).....	29
3.4.4. Partiküller (İs).....	30
3.4.5. Kükürtdioksit (SO ₂).....	30
3.5. BİYODİZEL.....	31
3.6. BİYODİZEL ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ.....	34
3.6.1. Transesterifikasyon Yöntemi.....	34
3.6.2. Proliz Yöntemi.....	35
3.6.3. Mikroemülsiyon Oluşturma Yöntemi.....	35
3.6.4. Seyreltme Yöntemi	35
3.7. BİYODİZEL NESİLLERİ	36
3.7.1. Birinci Nesil Biyodizel	36
3.7.1.1. Kanola Yağı	36
3.7.1.2. Aspir Yağı.....	37
3.7.1.3. Ayçiçek Yağı	37
3.7.2. İkinci Nesil Biyodizel	38

	<u>Sayfa</u>
3.7.2.1. Jatropha	38
3.7.2.2. Pamuk Tohumu Yağı	38
3.7.2.3. Karanja (Milletia pinnata).....	39
3.7.3. Üçüncü Nesil Biyodizel.....	39
3.7.3.1. Hayvansal Yağlar.....	40
3.7.3.2. Atık Yağlar.....	40
3.7.3.3. Mikroalgler	40
3.7.4. Dördüncü Nesil Biyodizel	41
BÖLÜM 4	42
MATERYAL VE METOT	42
4.1. Deney Düzenegi ve Donanımları	42
4.2. Metot	45
BÖLÜM 5	51
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	51
5.1. PERFORMANS PARAMETRELERİ	51
5.1.1. Motor Gücü.....	51
5.1.2. Motor Momenti.....	52
5.1.3. Özgül Yakıt Tüketimi	53
5.1.4. Termik Verim	55
5.1.5. Egzoz Gazı Sıcaklığı.....	56
5.2. EGZOZ EMİSYON SONUÇLARI.....	57
5.2.1. CO Emisyonu	57
5.2.2. HC Emisyonu	58
4.2.3. NO _x Emisyonu	59
5.2.4. İş Emisyonu	60
BÖLÜM 6	62
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	62
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	76

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Dizel motorların yanma ve püskürtme aşamaları	10
Şekil 3.2. Sıcaklığa bağlı olarak yakıt damlacığında meydana gelen emisyonlar	27
Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan motorun görseli.	42
Şekil 4.2. Bosch-BEA 350 emisyon ölçüm cihazı.	44
Şekil 4.3. Bosch-BEA 070 duman (is) ölçüm kiti.....	44
Şekil 4.4. Biyodizel reaktörü.....	45
Şekil 4.5. Transesterifikasyon akış şeması.....	46
Şekil 4.6. Hassas terazi.....	48
Şekil 4.7. Ultrasonic karıştırıcıda karıştırılan deney yakıtı.....	48
Şekil 4.8. Deney düzeneğinin şematik görünümü.....	49
Şekil 5.1. CeO ₂ miktarı ve motor devrine göre motor gücündeki değişim.	52
Şekil 5.2. CeO ₂ miktarı ve motor devrine göre motor momentindeki değişim.	53
Şekil 5.3. CeO ₂ miktarı ve motor devrine göre özgül yakıt tüketimindeki değişim. .	54
Şekil 5.4. CeO ₂ miktarı ve motor devrine göre termik verimdeki değişim.....	55
Şekil 5.5. CeO ₂ miktarı ve motor devrine göre egzoz gazı sıcaklıklarındaki değişim.....	56
Şekil 5.6. CeO ₂ miktarı ve motor devrine göre CO emisyonundaki değişim.	57
Şekil 5.7. CeO ₂ miktarı ve motor devrine göre HC emisyonundaki değişim.	58
Şekil 5.8. CeO ₂ miktarı ve motor devrine göre NO _x emisyonundaki değişim.	60
Şekil 5.9. CeO ₂ miktarı ve motor devrine göre is emisyonundaki değişim.	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Dizel yakıtı ASTM standartları.....	21
Çizelge 3.2. Biyodizel standartları EN 14214.....	22
Çizelge 3.3. Binek otomobiller için AB Emisyon limitleri.....	28
Çizelge 3.4. Farklı nesil biyodizel üretimi için kullanılan hammaddeler	41
Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan motorun teknik özellikleri.....	43
Çizelge 4.2. Bosch-BEA 350 emisyon cihazının teknik özellikleri.....	44
Çizelge 4.3. Bosch-BEA 070 duman (is) ölçüm kitinin teknik özellikleri	45
Çizelge 4.4. Seryum oksit nanopartikül katkı maddesinin özellikleri	47
Çizelge 4.5. Deney yakıtlarının isimlendirilmesi.....	50
Çizelge 4.6. Deney yakıtlarının özellikleri	50

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

YAME	: Yağ asidi metil esteri
EGS	: Egzoz gazı sıcaklığı
EGR	: Egzoz gazı resirkülasyonu
Be	: Yakıt tüketimi, kg/h
Pe	: Efektif motor gücü, kW
be	: Özgül yakıt tüketimi, g/kWh
HFK	: Hava fazlalık katsayısı
CO	: Karbonmonoksit
NO _x	: Azotoksit
CO ₂	: Karbondioksit
HC	: Hidrokarbon
PM	: Partikül maddeler
SO ₂	: Kükürtdioksit
SO _x	: Kükürtoksit
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
CuO	: Bakır oksit
ZnO	: Çinko oksit
TiO ₂	: Titanyum dioksit
MnO	: Manganat
CeO ₂	: Seryumoksit
Fe ₂ O ₃	: Demiroksit
Fe ₃ O ₄	: Magnetit
MgO	: Magnezyum oksit
CNT	: Karbon nanotüpler
GO	: Grafen oksit
SO	: Sıkıştırma oranı
CI	: Sıkıştırma ateşlemeli (Compression Ignition)

CFP	: Soğuk akış özellikleri (Cold Flow Properties)
PP	: Akma noktası (Pour Point)
CFPP	: Soğuk filtre tıkanma noktası (Cold Filter Plugging Point)
CFI	: Soğuk akış iyileştirici (Cold Flow Improver)
GHG	: Sera gazı (Greenhouse Gas)
CP	: Yüksek bulutlanma noktası (High Cloud Point)
Ce-Fe	: Seryum-Demir
Ag	: Gümüş
Mg	: Magnezyum
Ti	: Titanyum
Al	: Alüminyum
Cu	: Bakır
Ni	: Nikel
Zn	: Çinko
Pt	: Platin
Ce	: Seryum
Fe	: Demir
Ba	: Baryum
Ca	: Kalsiyum
Pt-Ce	: Platin-Seryum
Mn	: Manganez
Cu	: Bakır
BHA	: Hidroksil anizol
BHT	: Butile hidroksil toulen
PI	: Pirogallol
DPA	: Difenilamin
TBHQ	: Tert-Butilhidroksikinon
PG	: Propil-Gallat
PI	: Pozitif ateşlemeli
PM	: Parçacık maddenin kütlesi
SCR	: Seçici katalitik indirgeme (Selective catalytic reduction)
DPF	: Dizel partikül filtresi (Diesel particulate filter)
DOC	: Dizel oksidasyon katalizörü (Diesel oxidation catalyst)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

İnsanlık için olmazsa olmaz unsurlardan biri enerjidir. Ekonomik kalkınmanın temelini oluşturmaktadır. Dünya nüfusunun her sene artmasıyla beraber enerjiye olan talep de artmaktadır [1]. Uluslararası Enerji Ajansı'nın hazırladığı Dünya Enerji Görünümü 2020 Raporu'na göre toplam enerji arzı 14.406 ton eşdeğer petrol olduğu belirtilmiştir. Bu arzın kaynaklara dağılımında ilk sırayı %31,41'i ile petrol, %23,19 ile doğal gaz ve %26,21 ile kömür takip etmiştir [2]. Dünya'daki enerji ihtiyacının çoğunluğu petrol ile karşılanmaktadır. Petrolün kısıtlı rezerve sahip olması, son yıllarda giderek azalması ve petrol kaynaklarının fazla olduğu bölgelerde oluşan istikrarsızlıklar, dünyanın en önemli ihtiyaçlarından olan petrolün temininde sorunlara yol açmaktadır [3].

Fosil yakıtlar, insan sağlığı ve çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olabilecek nispeten yüksek miktarda kirletici (hidrokarbon, karbon dioksit, karbon monoksit, kükürt dioksit, partikül madde ve nitrojen oksitler gibi tehlikeli kirleticiler) ve sera gazı (GHG) emisyonu üretebilir. Bu tehlikeli kirleticilerin insan sağlığına zararlı olduğu kanıtlanmıştır. 2020'de dünyanın CO₂ konsantrasyonu 413 ppm değerine ulaşarak tarihin en yüksek seviyesine ulaşmıştır [4]. Küresel ısınma; kuraklık ve sel gibi çeşitli felaketlere yol açmaktadır [5]. Petrol kaynaklı yakıtların kısıtlı olması ve açığa çıkardıkları emisyonların fazla olmasından dolayı araştırmacılar, alternatif yakıtlar hususunda incelemeye yönelmişlerdir [6]. Fosil yakıtların yakılmasının etkileri göz önüne alındığında, dünyanın dört bir yanındaki araştırmacılar, dikkatlerini yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarının sürdürülebilir gelişimine odaklanmaktadır. Biyoetanol ve biyodizel, yenilenemeyen ve konvansiyonel fosil yakıtların yerini almak için birincil alternatif enerji kaynakları olarak kabul edilmektedir. Hayvansal yağlar, bitkisel yağ ve yağ asidi metil esterlerinin yosun türevi karışımı dahil olmak üzere yenilenebilir yağ bakımından zengin hammaddeler, biyodizel olarak bilinmektedir.

Yenilenebilir bir kaynak olarak fosil yakıtın yerini alan biyodizelin en dikkat çekici avantajlarından biri motor performansdır [7]. Buna ek olarak biyodizel yakıtını motorlarda kullanmayı cazip hale getiren diğer avantajlar ise; daha az maliyet, daha az egzoz emisyonları ve hammaddenin tedarik kolaylığıdır [8]. Monogliseritlerin ve serbest yağ asitlerinin içeriğinden dolayı iyi yağlama özelliklerine sahiptir. Biyolojik olarak parçalanabilir olduğu için daha az kükürt içeriğine ve daha sürdürülebilir çevresel etkiye sahiptir [7].

CO, NO_x, CO₂, HC ve is emisyonları, başlıca zararlı emisyonlardandır. Bu zararlı gazların yanı sıra araştırmacılar, fosil yakıtlardan kaynaklanan sera gazı etkisinin hiçbir önlem alınmazsa 2030'da %39 değerlerine kadar çıkacağını öngörmektedir [9]. Biyodizelin kullanılmasıyla bu zararlı emisyonlar azaltılabilmektedir. Emisyonlardaki azalışın en önemli etkenlerinden bir tanesi biyodizel yakıtının kimyasal yapısında bulunan oksijendir. Biyodizelin yapısındaki oksijen, yanma sırasında tepkimeye giren homojen oksijen oranında artışa sebep olduğundan, yanma kalitesini de arttırmaktadır [10].

Dizel motorlarda kullanılan alternatif yakıtların başında gelen biyodizel, motorin ile kıyaslandığında; daha az miktarlarda partikül madde emisyonları, yanmamış hidrokarbon ve karbon monoksit içermektedir. Biyodizel yakıtının dizel yakıtına kıyasla daha fazla oksijen içeriğine sahip olması daha iyi yanma karakteristiği ortaya koyduğundan, daha az oranda is emisyonları açığa çıkarmaktadır. Bu ve bunun gibi avantajları ile bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilen biyodizel birçok araştırmacı için motorlarda araştırma konusu haline gelmiştir [6].

Petrol kökenli dizel yakıtını daha kaliteli hale getirmek amacıyla biyodizel yakıtıyla belirli miktarlarda karıştırma işlemi yapılmaktadır. Örnek olarak; B20 (%20 Biyodizel-%80 Dizel), B40 (%40 Biyodizel-%60 Dizel), B60 (%60 Biyodizel-%40 Dizel), B80 (%80 Biyodizel-%20 Dizel) ve B100 (%100 Biyodizel) [1].

Resmî Gazete' de 27 Eylül 2011 tarihinde yayımlanan ve yürürlüğe giren "Motorin Türlerine İlişkin Teknik Düzenleme Tebliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliği (Akaryakıt Seri No:22)"; Ocak 2016 tarihinden itibaren ise %3 oranında yerli tarım

ürünlerinden elde edilmiş YAME (yağ asidi metil esteri) zorunlu kullanım oranı olarak belirlenmiştir [11].

Bir diğer yandan biyodizel, dizel yakıtına kıyasla yüksek viskoziteye ve yoğunluğa sahip olduğundan özgül yakıt tüketimini, NO_x ve is emisyonlarını artırır. Bu sorunu çözenin yollarından biri, yakıt içerisine viskozite ve yoğunluğu iyileştiren, bunlara bağlı olarak dizel yakıtta kıyasla oksijen içeriği fazla olan yakıt ile yanma iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Yakıt kalitesini arttırmak, yanmayı iyileştirmek ve emisyonları azaltmak için katkı maddesi kullanılması, yakıt reaksiyonlarının hızlanmasına ve motor performansının artmasını sağlar [12].

Bu çalışma; gün geçtikçe artmakta olan taşıt sayısına bağlı olarak emisyonları ve yakıt tüketimini azaltmak amacıyla dizel+biyodizel (B20) yakıtının özelliklerini iyileştirmek için CeO₂ nanopartikül katkı maddesi bu yakıt karışımına ilave edilmiştir. Nanopartikül katkı maddesinin özellikleri sayesinde motorda herhangi bir değişiklik yapılmadan motor parametrelerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Sajeevan ve Sajith, dizel yakıtında nano katkı maddesi olarak seryum oksit (CeO_2) kullanımının, dizel yakıt özellikleri ile motor performansı ve emisyonları üzerindeki etkisini deneysel olarak araştırmışlardır. Katkı maddesini 5, 15, 25, 35 ve 40 ppm oranlarında dizel yakıtına ekleyip, tek silindirli 4 zamanlı su soğutmalı dizel motorda kullanmışlardır. Daha yüksek yüklerde verimliliğin %5'e kadar arttığını, bunun nedeninin oksijen tamponu görevi gören seryum oksit nanopartiküllerin kısmi basınca bağlı olarak oksijeni serbest bırakması ve depolaması nedeniyle daha uzun ve daha eksiksiz yanmayı teşvik etmesine bağlamışlardır. HC ve NO_x emisyonlarının sırasıyla %45 ve %30 oranlarında azaldığını belirtmişlerdir. Emisyonlardaki bu azalmanın, dizel yakıtına eklenen nanopartikül seviyesi ile doğru oranlı olduğunu ve 35 ppm nanopartikülün optimum dozlaşma seviyesi olduğunu gözlemlemişlerdir [13].

Karthikeyan ve Prathima, *Botryococcus braunii* alg yağı, transesterifikasyon reaksiyonu yardımıyla metil estere dönüştürmüşler, 50 ppm, 75 ppm ve 100 ppm dozlarında seryum oksit nanopartiküllerini ilave etmişlerdir. Deneyleri tek silindirli bir motorda gerçekleştirmişlerdir ve kullanılan yakıt karışımlarının emisyonlara olan etkisini incelemişlerdir. Dizel+biyodizel (B20) yakıtına seryum oksit nanopartiküllerinin eklenmesinin CO_2 ve NO_x emisyonlarını arttırdığını, CO ve HC emisyonlarını azalttığını gözlemlemişlerdir [14].

Ranaware ve Satpute, dizel yakıtına katkı maddesi olarak seryum oksit nanopartikülleri ve su bazlı ferroakışkan kullanırken sıkıştırma ateşlemeli bir motorun performansı ve emisyon özellikleri ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Seryum oksitin, oksijen veren bir katalizör görevi gördüğünü, CO emisyonunun oksidasyonu için oksijen sağladığını, NO_x emisyonunu indirgemesi için oksijeni emdiğini belirtmişler. CeO_2 nanopartiküllerinin aktivasyon enerjisinin, motor silindiri içindeki

karbon birikintilerini duvar sıcaklığında yakmaya yardımcı olduğunu, polar olmayan bileşiklerin silindir duvarların birikmesini önlediğini ve HC emisyonlarının azalmasına neden olduğu belirtmişlerdir. Dizel yakıtı kıyasla ısıl verimde %12'ye kadar artış, özgül yakıt tüketiminde %11'e kadar azalma gözlemlenmiştir. Dizel yakıtına kıyasla CO emisyonlarının arttığını ve NO_x emisyonlarının azaldığını tespit etmişlerdir [15].

Sathiyamoorthi ve ark., bir dizel motorda Neem yağından elde edilen biyodizel içerisine (BN20-%80 Dizel ve %20 neem yağı biyodizeli) 50 ppm seryum oksit ilave ederek BN20 yakıtının performans, emisyon ve yanma özelliklerini incelemişler ve dizel yakıtı ile kıyaslamışlar. Nanopartikül katkı ilavesinin daha yüksek özgül yakıt tüketimi ve termik verim ile sonuçlandığını belirtmişlerdir. NO_x, is, HC ve CO emisyonlarında önemli ölçüde azalma elde etmişlerdir. Ayrıca seryum oksit karışımı BN20 yakıtı ile daha yüksek silindir basıncı ve ısı salınımı olduğunu da belirtmişlerdir. Termik verimin dizel yakıtına kıyasla BN20 yakıtı ile %3,4 BN20 yakıtına kıyasla seryum oksit ilaveli BN20 yakıtının ise %2,8 daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Silindir basıncı değerlerini seryum oksit ilaveli BN20, dizel yakıtı ve BN20 yakıtı için sırasıyla 70,1 bar, 67,3 bar ve 64,8 bar olarak hesaplamışlardır. Isı salınım değerlerini seryum oksit ilaveli BN20, dizel yakıtı ve BN20 yakıtı için sırasıyla 56,89 kJ/m³, 55,123 kJ/m³ ve 48,195 kJ/m³ olarak elde etmişlerdir. Seryum oksit ilaveli BN20 yakıtı için CO, HC, NO_x ve is emisyonu değerlerinde sırasıyla %3,4-%2,7-%8,4 ve %4,4 azalma elde ettiklerini belirtmişlerdir [16].

Vellayan, tek silindirli bir dizel motorda farklı yüklerde su ile emülsifiye edilmiş soya fasulyesi biyodizeli yakıtına seryum oksit nanopartikül katkı maddesinin eklenmesi ile yanma, performans ve emisyon özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Soya biyodizeline 100 ppm oranında seryum oksit nanopartikülü ile %5 ve %10 hacimde su (SB5W100CeO₂ ve SB10W100CeO₂) ilave ettiğini belirtmiştir. Saf soya fasulyesi biyodizelinin silindir içi tepe basıncını ve net ısı yayılım değerlerinin arttığını, seryum oksit ilavesinin tepe yanma parametrelerini azalttığını belirtmiştir. Özgül yakıt tüketiminde SB5W100CeO₂ ve SB10W100CeO₂ yakıtları ile sırasıyla %2,2 ve %2,4 azalma elde etmiştir. Silindir içi tepe basıncında SB5W100CeO₂ ve SB10W100CeO₂ yakıtları için sırasıyla %6,5 ve %7,5 net ısı yayılımında ise sırasıyla %12,5 ve %9,8

azalma elde etmiştir. SB10W100CeO₂ yakıtı ile saf soya fasulyesi biyodizeline kıyasla NO_x, CO, HC ve is emisyonlarında sırasıyla %26,5-%50,1-%33,5 ve %17,9 azalma elde ettiğini belirtmiştir [17].

Patil ve ark., dizel+biyodizel karışımlarına; 10BSBCeO₂50 (%10 pamuk tohumu yağı+%90 dizel yakıtı) ve 20BSBCeO₂50 (%20 pamuk tohumu yağı+%80 dizel yakıtı) 50 ppm oranında CeO₂ ilave edilmiş ve deneyleri tek silindirli su soğutmalı bir dizel motorda gerçekleştirmişlerdir. Tüm performans ve emisyon parametreleri için 10CSBCeO₂50 yakıtının optimum yakıt olduğunu belirtmişlerdir. 10CSBCeO₂50 yakıtı ile 1,69 kW ile maksimum gücü elde ettiklerini belirtmişlerdir. Termik verimde 10CSB yakıtına kıyasla 10CSBCeO₂50 yakıtı için %5,99 artış gözlemlemişler. Özgül yakıt tüketimini 10CSB yakıtına göre 10CSBCeO₂50 yakıtında %1,67 daha az elde ettiklerini belirtmişlerdir. 10CSBCeO₂50 yakıtının en yüksek egzoz gazı sıcaklığını verdiğini gözlemlemişlerdir. Dizel yakıtına göre 10CSBCeO₂50 ve 20CSBCeO₂50 yakıt karışımları ile CO emisyonunda sırasıyla %32,19 ve %10,27 azalma elde etmişlerdir. HC emisyonlarında tüm karışımlar için benzer sonuçları elde etmişlerdir. 10CSBCeO₂50 yakıtının NO_x emisyonu için ise 10CSB yakıtından %5,45 daha az olduğunu söylemişlerdir [18].

Narasıman ve ark., sardalya yağı metil esteri ve 25 ppm oranında seryum oksit nanopartikül katkısının bir dizel motorda kullanımının performans, emisyon ve yanma parametrelerine olan etkilerini incelemişlerdir. Deneyleri farklı yüklerde, sabit devirde ve tek silindirli dört zamanlı dizel motorunda gerçekleştirmişlerdir. CeO₂ ilaveli sardalya yağı metil esteri (SOME+CeO₂) yakıt karışımının tepe silindir basıncının ve tutuşma gecikmesinin daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. SOME yakıtının silindir basıncı değerini 74,1739 bar gözlemlediklerini, SOME+CeO₂ yakıtının 75,605 bar olduğunu belirtmişlerdir. Tutuşma gecikmesinin uzamasının nedeninin yakıtın viskozitesinin artması sebebiyle zayıflayan atomizasyona bağlamışlardır. SOME+CeO₂ yakıtının verimliğinin dizel yakıtına göre daha az olduğunu, bunun nedeninin artan ısı değer olduğunu belirtmişlerdir. SOME+CeO₂ yakıtının konsantrasyonunun artması ile birlikte egzoz gazı sıcaklıklarının arttığını ve bunun nedeninin ısı kaybından kaynaklandığını belirtmişlerdir. HC emisyonlarında

SOME+CeO₂ yakıtın ile en düşük değerleri elde etmişlerdir. SOME+CeO₂ yakıtının daha yüksek CO ve NO_x emisyonuna neden olduğunu gözlemişlerdir [19].

Venu ve Appavu, 25 ve 50 ppm konsantrasyonda eklenen Al₂O₃ nano yakıt katkı maddelerine sahip Polanga biyodizel (PBD) yakıtlı motorun yanma, performans ve emisyon özelliklerini analiz etmişlerdir. Sonuçlar, 1500 rpm sabit motor hızında 17,5 sıkıştırma oranına sahip tek silindirli dizel motorda değişen motor yüklerinde (%25, %50, %75, %100) dizel yakıt ile karşılaştırılmış. Deney sonuçları, nanopartiküllerin PBD'ye eklenmesinin, nanopartikül katkı maddelerinin daha yüksek yüzey alanı hacim oranı nedeni ile baz yakıtın yanma ve emisyon özelliklerini iyileştirdiğini ortaya koymuş. Ayrıca, 25 ppm ve 50 ppm Al₂O₃ eklenmesi ile termik verim sırasıyla %4,21 ve %6,58 oranlarında artmış ve özgül yakıt tüketimi sırası ile %6,58 ve %7,38 oranlarında düşmüştür. PBD karışımlarının içerdiği oksijen nedeni ile daha yüksek NO_x emisyonları yaydığı belirtilmiştir. Al₂O₃ nano yakıt katkı maddesinin eklenmesinin potansiyel bir indirgeme katalizörü işlevi gördüğü N ve O moleküllerinin zincirini kırdığı ve böylece NO_x oluşumu sürecini bastırdığı belirtilmiş. Buna ek olarak HC, CO ve is emisyonları için sırasıyla %30,32-%31,49 ve %37,34 oranlarında azalma meydana geldiği belirtilmiştir [20].

An ve ark., atık yemeklik yağdan elde edilen biyodizeli %5, %20, %40, %50, %70 ve %100 oranlarında dizel ile karıştırarak testlerini gerçekleştirmişlerdir. Biyodizelin içerdiği oksijenden kaynaklı daha eksiksiz bir yanma ve dolayısı ile daha yüksek bir termik verim elde ettiklerini belirtmişlerdir. En yüksek termik verim değerini B100'de %38,1 olarak hesaplanmıştır. Dizel yakıtının içerisinde ki biyodizel oranının artması ile özgül yakıt tüketiminde belirgin bir artış gözlemlenmiştir. B100 için özgül yakıt tüketimindeki artışın %34,4 olduğu belirtilmiştir. HC ve CO emisyonlarında son derece düşük seviye elde ettiklerini belirtmişlerdir. Bunun nedenini biyodizelin viskozitesine ve daha temiz yanmasına bağlamışlardır [21].

Muralidharan ve Vasudevan, tek silindirli değişken sıkıştırma oranlı dört zamanlı bir motorda atık yemeklik yağdan elde edilen biyodizel ve %20, %40, %60 ve %80 oranlarında dizel yakıtı ile karışımlarının termik verime olan etkileri incelemişler. Sıkıştırma oranının artması ile termik verimin de arttığını gözlemlenmiştir. Yüksek

sıkıştırma oranlarında B40 karışımının termik veriminin standart dizele kıyasla daha yüksek olduğu görülmüş ve bu oranı %31,48 olarak hesaplamışlardır. Sıkıştırma oranının artması ile özgül yakıt tüketiminin azaldığı belirtilmiştir. B40'ın, B60 ve B80'den daha yüksek enerji içeriğine sahip olduğu, ancak B20 ve dizele kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür. B40 karışımının sıkıştırma oranı 21 iken özgül yakıt tüketimi değerini 0,259 kg/kWh olarak hesaplanmıştır. Karışımların HC, CO₂ ve CO emisyonlarını azalttığı ve NO_x emisyonunu arttırdığı belirtilmiştir [22].

Praveena ve ark., ZnO ve CeO₂ nanopartikül katkılı üzüm çekirdeği biyodizelinin (GSBD) dizel motorda etkilerini incelemiştir. Her bir katkı maddesini 50 ve 100 ppm oranında ilave etmişlerdir. GSBDZnO100 ve GSBD CeO₂100 yakıtları ile termik verimde sırasıyla %29,34 ve %29,23 artış elde etmişlerdir. GSBDZnO100 yakıtı için yanma ve emisyon değerlerinin diğerlerine kıyasla daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. 410 °C olan egzoz gazı sıcaklığının, GSBDZnO100 ve GSBD CeO₂100 yakıtları sırasıyla 393 ve 398 °C'ye düştüğünü gözlemlemişlerdir. Karışımların daha yüksek ısı değerine sahip olmaları ve geliştirilmiş termik verim dolayısıyla enerjinin kullanılmasına ve ısı kayıplarının azalmasına neden olduğunu belirtmişlerdir. Nanopartiküllerin NO_x seviyelerini önemli ölçüde azalttığını görmüşlerdir. GSBDZnO100 ve GSBD CeO₂100 yakıt karışımlarının 9,2 g/kWh olan NO_x emisyonu değerini sırasıyla 8,2 g/kWh ve 8,6 g/kWh değerlerine düşürdüğünü hesaplamışlardır. GSBDZnO100 ve GSBD CeO₂100 yakıtları ile HC emisyonlarının %13 ve %5 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Isı emisyonlarında ise GSBDZnO100 ve GSBD CeO₂100 yakıtları ile %8,6 ve %4,3 azalma elde etmişlerdir. Ayrıca nanopartiküllerin oksidasyon aktivitesinin CO emisyonlarını azalttığını ve tam yanmaya yakın bir yanmanın elde edilmesine yardımcı olduğunu belirtmişlerdir. Ek olarak GSBD yakıtının ısı veriminin daha düşük olduğunu, yoğunluk ve kinematik viskozite gibi özellikleri daha elverişsiz hale getirdiğini gözlemlemişlerdir [23].

BÖLÜM 3

DİZEL MOTORLARDA YANMA VE YAKITLAR

3.1. YANMA

Yanma, uygun koşullarda oksijenin yakıt ile reaksiyona girmesi olayıdır. Kimyasal bir işlemdir ve oksidasyon olarak da isimlendirilir. Yanma esnasında sisteme ısı enerjisi verilir. Enerji yanma reaksiyonu esnasında yakıttaki moleküller arasındaki kimyasal bağların parçalanması ile meydana gelir. Hava atmosferde çeşitli gazların karışımı ile oluşur. Bu gazlar; %78,08 N₂, %20,95 O₂, %0,93 Ar, %0,03 CO₂ ve %0,01 ile diğer gazlardır [24].

Dizel motorlar, silindir içine alınan havanın sıkıştırılması ve bu sıkıştırılan havanın üstüne yakıtın püskürtülmesi ile meydana gelen yanma sonucu enerji elde edilmesi prensibi ile çalışır [25]. Emme manifoldundan havanın girişi çevrim boyunca sabit tutulur, yakıt miktarının değişimi ile yük kontrolü sağlanmaktadır [26]. Yakıt oluşturma şekli bakımından dizel motorlar, Direkt Püskürtmeli Motorlar ve Endirekt Püskürtmeli Motorlar olmak üzere iki şekildedir. Endirekt püskürtmeli motorlara kıyasla direk püskürtmeli motorlar, daha fazla verime sahip olması ve yakıt tüketiminin daha düşük oranlarda olması nedeni ile daha fazla rağbet görmektedir [3].

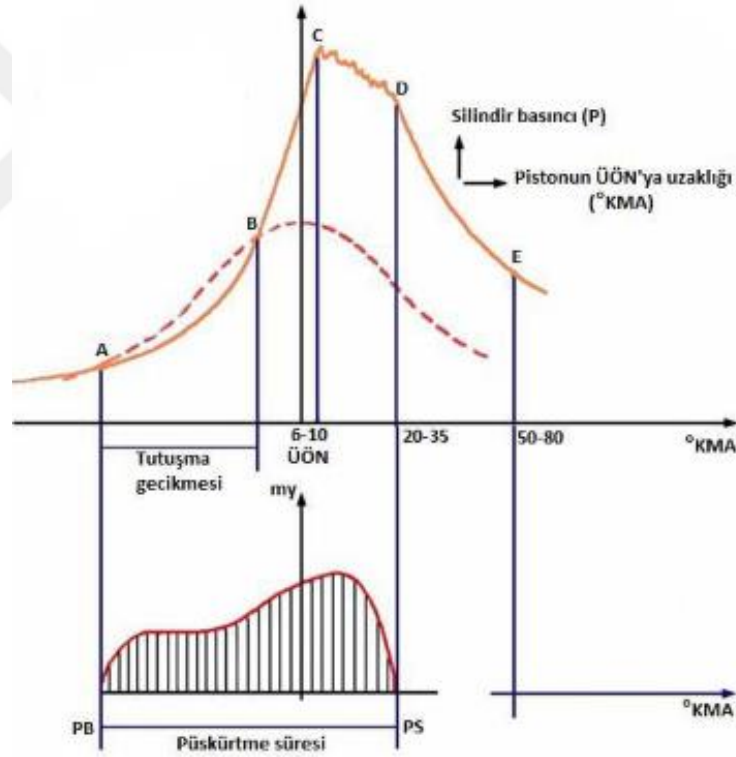
Bir yakıtın tamamen yanması için gereken havanın toplam yakıt oranı stokiyometrik oran olarak adlandırılır [25]. Yakıt stokiyometrik hava ile tamamen yandığında egzoz gazının içinde oksijen (O₂) kalmayacaktır. Yanma fazında, tam yanmanın gerçekleşmesi ve yanma odası sıcaklığı kontrolü için stokiyometrik orandan daha çok hava kullanılması genel bir yöntemdir [3].

Yanma için gereken hava silindire alınır ve alınan hava yakıt tutuşma sıcaklığının üzerinde bir sıcaklığa sıkıştırılır. Sıkıştırma sonunda yüksek basınç ve sıcaklığa ulaşan

havanın üzerine yüksek basınçta yakıt püskürtülür. Böylelikle hava yakıt karışımı oluşur ve bu karışım herhangi bir ateşleme elemanı olmaksızın kendiliğinden tutuşarak yanar [25]. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi dizel motorlarda yanma dört fazda incelenmektedir.

Dizel motorlarda yanma safhaları;

- Tutuşma Gecikmesi (A-B)
- Kontrolsüz Yanma (B-C)
- Kontrollü Yanma (C-D)
- Gecikmiş Yanma (D-E)



Şekil 3.1. Dizel motorların yanma ve püskürtme aşamaları [26].

3.1.1. Tutuşma Gecikmesi

Dizel motorlarda silindir içerisine püskürtülen yakıt damlacıkları küçük moleküller haline ayrılmakta, buharlaşma gerçekleşmekte ve kimyasal reaksiyonlar

başlamaktadır. Kimyasal reaksiyonların başlamasıyla ilk alev çekirdeğinin meydana gelmesi arasındaki süreye tutuşma gecikmesi denmektedir (A-B noktası). Püskürtme zamanlaması ve basıncı tutuşma gecikmesini direkt olarak etkilemektedir. Bundan dolayı püskürtme zamanlamasının değişik çalışma şartları için belirlenmesi önem arz etmektedir. Sıkıştırma oranı, silindirlere alınan havanın basıncı, sıcaklığı, yanma odası tasarımı, motor hızı, yakıt kalitesine bağlı olarak optimum püskürtme avansı ve püskürtme basıncı belirlenmelidir. Geç püskürtme yanma sonunun gecikmesine neden olur, bu da daha çok ısı kaybı ve düşük ortalama efektif basınca neden olur. Erken püskürtme ise motorda vuruntu açısından negatif tutuşma gecikmesi süresine neden olacağından dolayı istenmeyen durumlardır [27].

Tutuşma gecikmesi, kullanılan yakıtın sahip olduğu setan sayısı, viskozitesi ve yoğunluğuna göre değişiklik göstermektedir. Motor yükünün artmasıyla tutuşma gecikme süresi azalmaktadır. Silindirler içerisinde daha fazla karışımın yanması ile silindir sıcaklığı artmakta böylece yanma şartları daha iyi hale gelmektedir. Böylelikle yakıt daha erken buharlaşır ve tutuşarak yanar. Sonuç olarak tutuşma gecikmesi azalmaktadır [28]. Biyodizel yakıtı, dizel yakıtına kıyasla bir miktar daha fazla setan sayısına sahip olmasından dolayı daha kısa tutuşma gecikmesi süresi göstermektedir [29].

3.1.2. Kontrolsüz Yanma

Şekil 3.1'e bakıldığında kontrolsüz yanma safhası B noktasında başlamakta ve C noktasında sona ermektedir. Tutuşma gecikmesi süresince silindir içerisine püskürtülen yakıtın ısısı artar, oksijen ile karışır ve buharlaşır. Yakıtın tamamı ilk alev çekirdeğinin oluşumu ile yanma sürecine dahil olur ve hızlı bir yanma gerçekleşir. Hızlı yanma, basıncın hızla yükselmesine sebep olacağından motorda vuruntuya ve sert çalışmaya neden olur. Bu olay dizel vuruntusu olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde vuruntuyu azaltmak için başlangıç esnasında püskürtülen yakıt miktarının azaltılması amacıyla kademeli püskürtme yöntemi geliştirilmektedir. Yanma hızı silindir içerisindeki basınç artma hızını da belirler. Basınç artma miktarı temel olarak püskürtülen yakıtın oranına bağlıdır. Yanmanın bu periyodu tutuşma gecikmesine kıyasla çok daha kısa olmasından dolayı yakıtın büyük bir miktarı tutuşma gecikmesi

boyunca püskürtülür. Bu nedenle maksimum basınç üzerine tutuşma gecikmesinin etkisi bulunmaktadır [30]. Bu esnada yakıtın atomizasyon derecesi, tutuşma süresi boyunca püskürtülen yakıtın miktarı ve tutuşma gecikmesi süresince hava-yakıt karışımının durumu önemli faktörler arasında yer almakta, bu süre içerisinde basınç artışı tutuşma gecikmesi ile doğrudan bağlı olmaktadır [31].

3.1.3. Kontrollü Yanma

Şekil 3.1'e bakıldığında kontrollü yanma safhası C noktasında başlamakta ve D noktasında sona ermektedir. Kontrolsüz yanma sonunda silindirdeki basınç ve sıcaklık enjektörlerden püskürtülen yakıtı doğrudan yakabilecek duruma gelir. Bu sebeple püskürtmeye devam edilen yakıt gecikme yaşamadan yanar. Basınç en yüksek değere ulaşınca kadar yükselir. Arda kalan püskürtme ve yanma esnasında basınç sabit durur [32]. Bu faz esnasında buharlaşmanın hızı ve yakıtın buharıyla havanın karışma hızı, yanma hızını tayin etmektedir. Yakıt demetinin kalitesi, havanın hareketi ve hava fazlalık katsayısı yerel olarak 1'den yüksek olması bu faz için önem arz etmektedir. Termik verimin yüksek olması için yanmanın üst ölü noktaya mümkün olduğunca yakın tamamlanması istenmektedir [31].

3.1.4. Gecikmiş Yanma

Şekil 3.1'e bakıldığında gecikmiş yanma safhası D noktasında başlamakta ve E noktasında sona ermektedir. Püskürtme periyodunun sona ermesi ile yanma hemen bitmez. Yanma odasında biriken yanmamış veya eksik yanmış yakıt tanecikleri yanma odasında oksijen ile temas haline geçer ve yanmaya başlar. Gecikmiş yanma periyodu, kontrollü yanma periyodunun bittiği ve maksimum yanma sonu sıcaklığının olduğu nokta civarında başlar ve genişleme zamanının bir kısmına kadar devam eder. Gecikmiş yanma periyodu esnasındaki ısı açığa çıkış oranı, genişleme zamanına doğru azalarak gerçekleşir. Çünkü çok az miktarda olan yanmamış yakıt ve is partikülleri veya zengin yanma ürünleri gecikmiş yanma periyodunda ısı açığa çıkışı sağlar. Bu periyot esnasında silindir içindeki ortalama gaz sıcaklıkları azalır [33].

3.2. DİZEL MOTOR YAKITI

İçten yanmalı motorlarda benzin ve dizel gibi sıvı hidrokarbonlar, etanol ve metanol gibi çeşitli alkoller, metan, propan, bütan ve etan gibi gaz yakıtlar kullanılmaktadır. Bu yakıtlar arasında, ham petrolün damıtılması ile elde edilen benzin ve dizel en çok kullanılan yakıtlardır. Ayrıca damıtma usulü ile, bütan ve propan gibi küçük moleküllü gaz yakıtlar ile asfalt ve ağır makine yağları gibi büyük moleküllü bileşikler de elde edilebilir [34].

Ham petrol damıtılma işlemi esnasında 180-350 °C kaynama sıcaklığı aralığında damıtılan 805-850 kg/m³ yoğunluğu olan üçüncü ürün dizel yakıtıdır [3]. Dizel yakıtı için parafin, aromatik ve naften grubu hidrokarbonlar daha uygundur. Dizel yakıtı kerozen ile yağlama yağı arasında özgül ağırlık ve damıtma açısından çok geniş üretim aralığı olan yakıtlar grubundandır [34]. Dizel yakıtının tercihindeki en önemli unsurlardan biri, yakıtın pompalanabileceği en az sıcaklık olan soğuk akış özellikleridir. Yakıtların soğukta kullanımında problem çıkmaması için dikkate alınmalıdır [3]. Bir diğer önemli nitelik setan sayısıdır. Setan sayısı yakıtın motor içerisinde sıkıştırma sonucunda ısıyı yükselen havada kendiliğinden tutuşma özelliğini belirleyen bir sayıdır. Yüksek setan sayısı tutuşma gecikmesini azaltır ve yanma odasında yığılan yakıtın birden yanması ile meydana gelen hızlı basınç artışını engellemektedir [35].

Dizel motorlar benzin motorlarına kıyasla daha yüksek tork sağladıklarından dolayı ticari ve ağır vasıtalarda bulunur. Dizel motorlarının verimi benzinli motorlardan yüksektir. Ayrıca benzinli motora göre daha yüksek sıkıştırma oranlarına ve ekonomikliğe sahiptirler. Tüm bu avantajların aksine dizel motorlar pahalıdır, aynı motor hacmine sahip olan bir benzin motoruna göre üst hızları daha yavaştır ve benzinli motorlara kıyasla bakımları daha sık olmalıdır. Ek olarak dizel motorlar, gürültülü ve titreşimli çalışmaktadırlar. Yüksek silindir içi sıcaklıklarına sahip olduklarından dolayı yüksek kurum, is ve diğer emisyonlara sahiptirler [36]. Kullanılan yakıtın özelliği, kalitesi, kompozisyonu ve motorun çalışma parametrelerine bağlı olarak dizel motorlarda performans, yanma verimi ve

emisyonlar değiştirmektedir. Dizel motorlar, ciddi miktarda azot oksit ve is emisyonu üretirler [37].

3.2.1. Setan Sayısı

Dizel motor yakıtlarından kendi kendine tutuşma özelliğinin iyi olması beklenmektedir. Tutuşabilme ölçüsüne, oktan sayısının tersi olarak setan sayısı denmektedir [38]. Setan sayısı, motorun çıkış gücünü, yanma davranışını ve zararlı emisyonları etkileyen en önemli niteliklerden birisi olup, ateşleme özelliklerinin bir ölçüsünü sağlamaktadır. Özellikle düşük sıcaklıklarda, otomatik ateşleme ile yakından bağlantılı bir yakıt özelliğini simgelemektedir. Yakıtın sahip olduğu setan sayısı, aromatik içeriğe ve kaynama noktasına da bağlıdır. Düşük setan sayısı, yakıtın kendiliğinden tutuşmasını geciktirerek yoğunluğu arttırmakta ve motorda gürültüye neden olmaktadır. Ayrıca ağır hidrokarbon içermektedir [37].

Setan sayısı yüksek ise tutuşma gecikmesi kısa, düşük ise uzun olmaktadır [38]. Yakıtın yüksek setan sayısı motor gürültüsünü azaltır, soğuk havada çalışma performansını artırır, motor daha yumuşak çalışır ve emisyon değerlerini de iyileştirir. Düşük setan sayısına sahip yakıt motorda geç yanmaya sebep olur ve uzun tutuşma gecikmesi nedeniyle soğuk hava şartlarında ilk çalışmada zorlanma görülmektedir. Emisyon bakımından da olumsuzluklar yaşanmaktadır. Bu nedenlerden dolayı çok yüksek ya da çok düşük setan sayısına sahip olan yakıtlar motorların çalışmasını etkilediğinden dolayı setan sayısı belirli aralıklarda olmalıdır. Bir dizel motorda setan sayısı 40-60 arasında olmalıdır. Eğer setan sayısının yükseltilmesi istenirse setan artıcı katkı maddeleri kullanılabilir, ancak bu katkı maddeleri yakıtın bazı özelliklerine zararı olabilir [37].

Biyodizel yakıtının setan sayısında hammadde olarak kullanılan yağın içeriğinde ki yağ asidinin ayırıcı özelliklerine bağlı olarak değişim olmaktadır. Dizel yakıtına kıyasla daha yüksek setan sayısına sahip olması sebebiyle biyodizel yanma verimini olumlu yönde etkiler. Kullanılan hammadde setan sayısını etkilediği için setan sayısı değeri genel olarak 46-60 değerleri arasında değişmektedir [39].

3.2.2. Kinematik Viskozite

Sıvıların iç sürtünmeleri sebebi ile akmaya karşı göstermiş oldukları dirence viskozite denmektedir. Dinamik ve kinematik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Dinamik viskozite, bir sıvının kayma gerilmesinin kayma hızına oranıdır. Yer çekimi etkisindeki akışkanın akmaya karşı gösterdiği direnç kinematik viskozite olarak adlandırılmaktadır. Akışkanın dinamik viskozitesinin aynı sıcaklıktaki akışkan yoğunluğuna bölünmesi ile elde edilen viskozite ifadesidir [40].

Dizel motorlardaki enjeksiyon pompasının düzgünce çalışması için kinematik viskozitenin yeteri kadar yüksek olması gereklidir. Viskozitesi düşük olan yakıtlar enjeksiyon sisteminde yeteri kadar yağlama yapamadıklarından dolayı sızıntı ve aşınmaya neden olurlar. Yüksek viskoziteye sahip olan bir yakıt kullanılırsa enjektörler, iyi buharlaşmanın ve yanmanın gerçekleşmesi için yakıtın yeteri kadar küçük damlacıklara dönüşmesini engeller. Bu da yanma kalitesinin düşmesine, emisyonların artmasına ve egzozdan is çıkmasına neden olmaktadır [3]. Bu şekilde yüksek ya da düşük viskoziteli yakıtlar kullanıldığında motor performansı olumsuz yönde etkilenmektedir [37].

Hayvansal yağlar ve ham bitkisel yağlar sahip oldukları yüksek enerji değerlerine rağmen viskozitelerinden dolayı kullanım sırasında farklı problemlere sebep olurlar. Yakıt performansı üzerindeki etkisine bakıldığında yüksek viskozite olumsuz yönde etkilediği görülür. Düşük sıcaklıklarda yükselen viskozite akış problemlerine, yakıtın püskürtülmesi esnasında düşük atomizasyona, işletim zorluğuna ve yakıt enjektörlerinin düşük doğrulukta çalışmasına neden olur [41].

Viskozite genellikle yağın çeşidine, doymamışlık derecesine, zincir uzunluğuna ve ana yapıya bağlı gruplara göre değişmektedir. Bir yağ esterinin yağ asidi ve alkol zincir uzunluğu artışına bağlı olarak viskozitede artış görülür. Doymamış yağların viskoziteleri genellikle sahip oldukları çift bağların yapısına ve sayısına bağlıdır. Viskozite üzerinde daha az etkiye sahip olan parametre çift bağın yağ asidindeki pozisyonudur. Bünyesinde hidroksil grubu olan yağ asitleri veya bileşikler belirgin bir biçimde fazla viskoziteye sahiptirler [41].

3.2.3. Isıl Değer

Isıl değer, birim yakıttan elde edilebilecek enerjinin bir ölçüsüdür. Yakıtın kalorifik değeri olarak da ifade edilmektedir. Yanma sonunda ortaya çıkan ürünlerin, yanmanın öncesinde referans olan bir sıcaklığa göre toplam entalpilerinin yakıtın kütlesine bölünmesiyle elde edilen değer ısı değer olarak adlandırılmaktadır. Isıl değer alt ve üst sınırları arasındaki fark yanma sonu ürünlerinden olan suyun buharlaşması için gereken enerjiyi ifade etmektedir. Alternatif yakıtlarının ısı değeri çoğunlukla birbirinden farklıdır. Genel olarak yanma içeriği yüksek olan yakıtlar kullanıldığında daha yüksek güç ve yakıt ekonomisi elde edilmektedir [42]. Düşük ısı değere bağlı olarak motor gücü ve momentinde düşüşler olmaktadır [41]. Yüksek ısı değeri, yakıt enerjisinin yüksek olduğunun göstergesidir. Ancak yanma sonu meydana gelen egzoz gazı sıcaklığından dolayı su buhar halindedir. Böylelikle alt ısı değeri, ısı değeri olarak bu kayıp çıkartılarak hesaplanmaktadır. Yakıtın sahip olduğu düşük ısı değeri özgül yakıt tüketiminde artışa neden olmaktadır. Isıl değer doymuş hidrokarbon zincirinin uzaması ile birlikte artmaktadır. Doymamışlık derecesi artışı ile yani hidrojen sayısı azaldıkça ısı değeri azalmaktadır. Biyodizel çoğunlukla dizel yakıtına kıyasla daha az ısı değere sahiptir [43].

3.2.4. Yoğunluk

Birim miktar yakıtın kütlesine yoğunluk denmektedir. Yoğunluk motor performansı bakımından önemlidir. Dizel enjeksiyon ekipmanları hacimsel biçimde çalışmaktadır ve yoğunluk değişimi çıkış gücünü etkilemektedir [44]. Yakıtların özgül ağırlığı, yoğunluk ile orantılıdır. Yanma ile yakıtın özgül ağırlığı arasındaki ilişki incelendiğinde, özgül ağırlık ne kadar düşükse tutuşma o derece hızlı olmaktadır. Dizel yakıtının karakteristik özellikleri setan sayısı, viskozite, aromatik içerik vb. özellikler yoğunluğu etkiler. Bu nedenle, motor performans verileri ve emisyon değerleri yoğunluğa göre değişimler göstermektedir. Yüksek yoğunluk, yakıtın atomize olmasını zorlaştırarak silindire püskürtülen yakıtın hava ile homojen şekilde karışmasını zorlaştırmaktadır. Bu durum yanma olaylarını etkilediği gibi yanma sonu ürünlerini de etkilemektedir. Yoğunluğun düşük olması durumunda ise sabit yakıt tüketim miktarını arttırmaktadır [42].

Yoğunluk biyodizel yakıtı için en fazla öneme sahip olan değişkenlerden biridir. Yüksek yoğunluğa sahip olan bir biyodizel yakıtı, oluşum işlemi sırasında gliserinin yeteri kadar yakıttan ayrıştırılmadığının göstergesidir. Bitkisel yağlardan elde edilen biyodizellerin yoğunlukları dizel yakıtının yoğunluk değerine yakın olmakla beraber, bu değerden biraz daha yüksektir. Yüksek yoğunluklu biyodizel yakıtının kullanılması pompadan gönderilen yakıt miktarının azalmasına sebep olur ve bu da motorun termik verimini olumsuz yönde etkiler [41].

3.2.5. Soğuk Akış Özelliği

Dizel motorlarında kullanılan yakıt için hayati bir öneme sahip olan, kullanılan yakıtın soğuk havalarda vereceği tepkiyi göstermektedir [45]. Soğuk hava şartlarında yakıtı yakmak ve silindirlerin içerisine yakıtı enjektörle püskürtmek zordur [36]. Bulutlanma noktası; yakıt içerisinde kristalleşmenin başladığı sıcaklık değeri olarak tanımlanmaktadır. Dizel yakıtı için bulutlanma noktası -15°C 'dir. Bu değer altına düşülmesi durumunda yakıt akıcılığı azalmaktadır [46]. Akma noktası; yakıtın akma özelliğinin sonlandığı son sıcaklık değeridir. Dizel yakıtı için akma noktası -19°C 'dir. Akma noktası özelliği kötü olan yakıt yavaş akar ve donmaya sebep olacağından dolayı enjektörleri tıkayabilir. Ayrıca yakıtın yanması güçleşebilir ve yanmış yakıtın tahliyesi zorlaşabilir [36].

Biyodizel yakıtının bünyesinde doymuş yağ asitleri çok olduğu zaman yakıt daha kısa süre içerisinde kristalize olmaya başlar. Biyodizel yakıtında sislenme olayı, bulutlanma noktasının pozitif sıcaklıklarda gerçekleşebileceğini de göstermektedir. İklim değişiklikleri hızlı donma, yakıtın akma sorunları ve yakıtın depolanması gibi sorunlara yol açabilir. Yakıtın iklim koşullarına uyumunun kontrolünü sağlamak için soğuk filtre tıkanma noktası, bulutlanma ve akma noktası bilinmelidir [43].

3.2.6. Parlama ve Alevlenme Noktası

Bir yakıtın havayla tutuşabilir bir karışım oluşturabilmesi için buharlaşabildiği en düşük sıcaklık parlama noktası olarak ifade edilmektedir [47]. Yakıtın parlama noktası uçuculuk ile ters orantılıdır. Bu durum yakıtın nakliye ve depolama işlemlerinde

güvenlik sağlarken, yanma odası içerisinde dezavantaj olarak görülmektedir. Dizel yakıtının parlama noktası 55-66 °C'dir [48]. Parlama noktası emniyet için genellikle 65-150 °C aralığında olmalıdır. 36 °C'nin altına düşmemelidir [3].

Biyodizel yakıtının parlama noktası oldukça iyidir. Motorların performans değişikliğinde önemli bir etkiye sahip değildir. Parlama noktasındaki azalma ya da artış yanma karakteristikleri üzerinde etkileşim oluşturmamaktadır. Yakıtların sahip olduğu yüksek parlama noktası depolanma ve taşıma açısından uygundur. Biyodizel yakıtının parlama noktası yaklaşık 220 °C'dir [39].

Yakıtın kolay yanabilme özelliği alevlenme noktası ile tespit edilmektedir. Tutuşma buharının sönmeyen devam ettiği sıcaklığa alevlenme noktası denmektedir. Alevlenme sıcaklığı değeri parlama noktasına kıyasla biraz yüksektir. Dizel yakıtlar nispeten yüksek buharlaşma sıcaklıklarına sahip olduklarından daha emniyetlidirler [3]. Biyodizelin alevlenme noktası, dizelden daha yüksektir. Bu özelliği ile biyodizelin kullanım, taşınması ve depolanması daha güvenilirdir [1].

3.2.7. Distilasyon

Distilasyon, yakıtın kaynama sıcaklığının hangi aralıklarda değiştiğini gösterir. Bir başka ifade ile uçuculuk göstergesidir. T90 değeri distilasyonu yapılan bir yakıtın hacimsel olarak %90'ının buharlaştığı sıcaklığı göstermektedir. Distilasyon özellikleri yakıt bileşenleri, viskozite, setan sayısı ve yoğunluk gibi parametreleri de belirlemektedir [49].

Yakıtta var olan ağır hidrokarbonlar, yakıtın tutuşmasını ve buharlaşmasını zorlaştırır. Ek olarak is emisyonlarının oluşumunda da etkilidir. En yüksek distilasyon sıcaklığını aşağı çekmekle yakıt içerisindeki ağır hidrokarbon oranı azaltılır. Böylelikle yakıtın temiz bir şekilde yanması sağlanır. Yakıtın viskozite ve yoğunluk değeri de düşürülmüş olacaktır [49]. Distilasyon, soğuk havalarda ilk hareketin kolaylaştırılması ve yanma sonu çıkan is emisyonu miktarı açısından önemlidir. Distilasyonu yüksek olan yakıtlar, is miktarını, yakıt sarfiyatını ve egzoz sıcaklığını düşürmektedir [3].

3.2.8. Kükürt Oranı ve Korozyon Etkisi

Kükürt seviyesi partikül oranını arttırmasına ek olarak korozif etkiyi de arttırması zararlı bir özellik olarak bilinmektedir. Düşük sıcaklıklar motorun parçalarında yüksek derecede korozyon etkisi oluşturmaktadır [50]. Yakıt içerisindeki kükürt, oksijenle tepkimeye girip kükürt dioksit ve kükürt trioksit emisyonlarını meydana getirmektedir. Oluşan kükürt trioksit, yanma sonu ürünlerinden su buharı ile birleşerek sülfirik asidi meydana getirir. Bu asitler korozyonun yanı sıra segmanların ve silindir cidarlarının aşınmasına sebep olur [45]. Biyodizel hammaddelerinde dizel yakıtına kıyasla çok az oranda kükürt bulunur [51].

Motor elemanları (pistonlar, segmanlar, yakıt pompaları, enjektörler vb.) çalışma sırasında sürtünme kaynaklı aşınmalara uğramaktadır. Bu aşınmaları önlemek için parçaların yağlanması gerekmektedir. Dizel yakıtların kükürt oranı emisyonları azaltmak için düşük tutulmaktadır. Bunun sonucu olarak dizel yakıtının yağlayıcılık özelliği azalmaktadır. Biyodizel yakıtı yağlayıcılık özelliği çok iyi olan bir yakıttır [52].

3.2.9. Kül Miktarı

Kül, küçük katı parçacıklardan, yakıtın veya yağın içeriğindeki metalik bileşenlerden meydana gelmektedir. En önemli dizel yakıtı sorunlarından bir tanesi önemli miktarda kül içeriğine sahip olmasıdır [3]. Motordaki mekanik parçalarda önemli ölçüde hasar vermektedir ve ek olarak egzoz supabı yüzeylerinde birikir, bu da supapların yanmasına neden olur. Fazla miktarda kül içeren yakıtlar korozyona da neden olmaktadır [37].

3.2.10. Karbon Kalıntısı

Isıl parçalanma sonunda biriken kalıntılara karbon kalıntısı denmektedir. Özellikle tam yanmanın gerçekleşmemesi halinde ortaya çıkan is, karbon oluşumunun göstergesidir [46]. Karbon kalıntıları, piston kafasında ve silindir cidarlarında karbon tabakası oluşumu, yakıt devrelerinde tıkanma ve egzoz devrelerinde karbon tabakası oluşumu

gibi sonuçlara neden olmaktadır. Bu tabakalar motorun soğumasını güçleştirir ve yanma verimini düşürmektedir [53].

3.2.11. Su İçeriği

Yakıtların belirli bir miktarda su bulundurması motorlar için dezavantaj olarak görülmez. Su/yakıt emülsiyon oranının istenilen düzeyde olduğu durumda yanma sıcaklığı ve azot oksit (NO_x) emisyonları azaltılabilmektedir. Fakat yüksek basınçlı enjeksiyon sistemlerinde su ve yakıt ayrılır. Ayrılan su enjektör sistemi üzerinde bölgesel çürümelere neden olabilmektedir [3].

Bitkisel yağların sahip olduğu su içeriği motorlar için olumsuz bir sorun değildir. İstenilen su/yakıt oranının sağlanması ile NO_x emisyonları ve yanma sıcaklığı azaltılabilir. Ancak yüksek basınçlı enjeksiyonlu sistemlerde su yakıttan ayrılarak enjektör sistemlerinde çürümelere meydana getirebilmektedir [52].

3.2.12. Asit Sayısı ve İyot Sayısı

İyot sayısı doymamışlığın bir ölçüsüdür. İyot sayısı fazla olan yakıtlar oksitlenmeye meyillidirler. Bu da yakıtın jelleşmesine ve polimerleşerek topraklaşmasına neden olarak depolama kararlılığını düşürür. Yüksek iyot sayısına sahip yakıtlar enjektör deliklerinin tıkanmasına ve yanma odasının zarar görmesine neden olabilir [40].

Asit sayısına bakarak serbest yağ asitlerinin seviyesi belirlenmektedir. Yüksek asit sayısı tortulaşma ve korozyon etkiye neden olacağından dolayı, asit sayısının belirlenmiş standart sınırlar içerisinde olması gerekmektedir [43].

3.2.13. Aromatik Yüzde

Yoğunluk açısından en yüksek değere sahip olan hidrokarbonlardan biri aromatiklerdir. Sahip oldukları bu yüksek yoğunluktan dolayı birim hacme göre alt ısıl değerleri yüksektir ve yanmalar isli bir şekilde gerçekleşmektedir. Karbon birikintisi artışı meydana getirmektedir. Bu artış nedeni ile enjektör ve supaplarda kurum

birikintisine sebep olmaktadır. Bu birikinti ile yanma verimi düşmektedir. Aromatik miktarının düşmesi ile özellikle HC emisyonunda azalma meydana gelmektedir [46]. Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de dizel ve biyodizel yakıtlarının özellikleri verilmektedir.

Çizelge 3.1. Dizel Yakıtı ASTM Standartları [34].

Özellik	Limit	Metod
Yoğunluk (15°C kg/m ³)	820- 860	ASTM-D1298
Alevlenme Noktası (°C)	55 (en düşük)	ASTM-D93
Soğuk Filtre Tıkama Noktası Kış/Yaz (°C)	-10 en fazla/+5 En az	IP309
Damıtma (Hacimde %)		ASTM-D86
Kükürt (Ağırlıkça %)	+0,70 en fazla	IP336 veya IP242
Karbon Tortusu ((% 10 Tortuda) Ağırlıkça %)	+0,30 en fazla	ASTM-D524 ya da ASTM-D530
Viskozite (40 °C, mm ² /s)	2,0-4,5	ASTM-D445 ya da ASTM-D88
Bakır Çubuk Korozyonu (3h 50 °C)	No: 1 en fazla	ASTM-D130
Kül (Ağırlıkça %)	+ 0,01 en fazla	ASTM-D482
Setan İndeks (Hesaplanmış)	+ 46 en fazla	ASTM-D976
Su (Mg/kg)	+ 200 en fazla	ASTM-D1744
Partiküller (Mg/kg)	+ 24 en fazla	IP415
Oksidasyon Dengesi (g/m ³)	+ 25 en fazla	ASTM-D2274

Çizelge 3.2. Biyodizel Standartları EN 14214 [6].

Özellikler	Test Metodu	Birim	Alt Limit	Üst Limit
Yoğunluk (15 °C)	EN ISO3675	kg/m ³	860	900
Viskozite (40 °C)	ENISO3104 ISO3105	mm ² /s	3,5	5
Parlama Noktası	EN ISO3679	°C	120	-
Ester İçeriği	EN14103	%kütle	96,5	-
Karbon Kalıntısı	EN ISO10370	%kütle	-	0,3
Sülfür İçeriği	EN ISO20846	%hacim	-	10
Setan Sayısı	EN ISO5165	-	51	-
Sülfatlaşmış Kül	ISO3987	%kütle	-	0,02
Su İçeriği	EN ISO12937	%hacim	-	500
Asit Sayısı	EN14104	mgKOH/g	-	0,5
İyot Sayısı	EN14111	g iyot/100 g	-	120
Metanol İçeriği	EN14110	mg KOH/g	-	0,2
Monogliseric İçeriği	EN14105	%kütle	-	0,8
Digliseric İçeriği	EN14105	%kütle	-	0,2
Trigliseric İçeriği	EN14105	%kütle	-	0,2
Serbest Gliserol	EN14105, EN14106	%kütle	-	0,02
Toplam Gliserol	EN14105	%kütle	-	0,25
Fosfor İçeriği	EN14107	mg/kg	-	10

3.3. YAKIT KATKI MADDELERİ

Yakıt katkı maddeleri, yakıtların fiziksel özelliklerini daha iyi duruma getirmeye yönelik yapılan çalışmalardan biridir. Kullanımı ile daha iyi yanma, daha yüksek motor verimi ve daha az miktarlarda emisyonlar elde edilebilir. Petrol ürünlerinde kullanılmakta olan katkı maddeleri çoğunlukla petrol kaynaklı hammaddelerden elde edilmektedirler. Kullanılacak ürünlere göre katkı maddelerinin türü, yapısı ve miktarı değişiklik gösterir [54].

Biyodizelin nakliye sektöründe ticarileşmesi bazı sorunlar nedeni ile kısıtlanmaktadır. Bu sorunlar biyodizelin zayıf atomizasyonu, yüksek yoğunluk, zayıf soğuk akış, daha yüksek NO_x emisyonları, özgül yakıt tüketimi, zayıf oksidasyon kararlılığı, piston

segmanının sıkışması ve soğuk çalıştırma gibi sorunlardır [55]. Bu eksiklikleri gidermek için biyodizel-dizel katkı maddeleri son zamanlarda fazla ilgi görmektedir [56].

Yakıt katkı maddeleri fonksiyonlarına göre sınıflandırıldığında; Vuruntu önleyiciler, korozyon önleyiciler, stabilizatörler, emülsifiyerler, buzlanmayı önleyen yakıt katkı maddeleri, setan arttırıcı katkı maddeleri ve biyolojik yakıt katkı maddeleridir [57].

Yakıt katkı maddeleri kimyasal yapılarına göre sınıflandırıldığında; metal bazlı katkı maddeleri, oksijen içerikli katkı maddeleri, nanopartikül katkı maddeleri, antioksidan katkı maddeleri vb. olarak sınıflandırılmaktadır [3,58].

Nanopartikül katkı maddelerinin boyutları 1-100 µm arasında değişmekte olup yakıt katkısı olarak kullanılmaktadır. Nanopartiküller boyutları nedeniyle olağanüstü özelliklere sahiptir ve nanopartikül katkı maddeleri eklenen yakıtın yanma özelliklerini önemli ölçüde değiştirmektedir. Nanopartiküller, motor performansını iyileştirmek ve egzoz emisyonlarını azaltmak için katkı maddeleri arasında yaygın olarak kullanılmaktadır [59].

3.3.1. Oksijenli Katkı Maddeleri

Oksijen içerikli katkı maddeleri; molekül yapısında bir ya da birden fazla oksijen atomu olan organik maddelerdir. Değişik alkoller, eterler, esterler ve karbonatlardan meydana gelir [60]. Dizel ve biyodizel karışımlarında oksijenli katkı maddeleri kullanıldığında, yakıt karışımlarının önemli özelliklerini (viskozite, parlama noktası, düşük sıcaklık özellikleri uçuculuk, setan sayısı ve ısı değeri) etkileyebilir. Son zamanlarda, biyoalkollerin oksijenli katkı maddeleri olarak kullanımı genişledi. Biyoalkoller, sera gazı ve toksik egzoz emisyonlarını azaltma ve ayrıca enerji verimliliğini artırma potansiyelleri nedeniyle içten yanmalı motorlarda oksijenli katkı maddesi olarak uzun süredir kullanılmaktadır. Bu avantajlara rağmen, biyoalkollerin üretim aşamasında yüksek geri kazanım maliyeti ve düşük üretim verimliliği, dünyanın bazı bölgelerinde modern motorlarda kullanımlarını sınırlayan ekonomik engeller arasında olmuştur. Biyoalkoller ayrıca yakıt karışımlarında diğer oksijenli

katkı maddeleriyle birlikte yaygın olarak kullanılmaktadır ve daha iyi motor performansı ve azaltılmış emisyonlara neden olmaktadır [56].

3.3.2. Metal Bazlı Katkı Maddeleri:

Metal bazlı katkı maddeleri, yanmayı iyileştirici katalizör olarak bilinir ve daha az yakıt tüketimi ve emisyonla sonuçlandığı yapılan çalışmalarda belirtilmektedir. Yanma iyileştirici olarak araştırılan ana metal bazlı katkı maddeleri platinyum (Pt), seryum (Ce), demir (Fe), baryum (Ba), seryum-demir (Ce-Fe), kalsiyum (Ca), platin-seryum (Pt-Ce), mangan (Mn) ve bakırdır (Cu). Bu katkı maddelerinin olumlu etkileri genellikle iki farklı mekanizma yoluyla kurum oksidasyonunun artırılmasıyla ilişkilidir. Birincisi, hidroksil radikallerinin oluşumuna yol açan su molekülleri ile reaksiyona girerek, mevcut isi oksitleyerek ve/veya ikinci olarak, kurumda bulunan karbon atomlarının oksidasyonu için gereken sıcaklığı düşürmede katalizör görevi görmektedir [56].

3.3.3. Setan Sayısı İyileştirici Katkı Maddeleri

Bir dizel motorda yakıt ateşleme kalitesinin veya başka bir deyişle azaltılmış tutuşma gecikmesinin en belirleyici parametresi setan sayısıdır. Olumsuz setan sayıları genellikle artan yakıt tüketimi, artan emisyonlar ve yüksek motor gürültüsünden soğuk çalıştırma sorunlarına kadar farklı semptomlarla temsil edilen eksik yanma ile ilişkilidir. Dizel/biyodizel yakıt karışımlarının setan sayısını artırmak veya daha iyi bir deyişle daha kısa tutuşma gecikme süreleri elde etmek için nitriler, peroksitler nitratlar, aldehitler ve tetra-azoller gibi farklı setan iyileştirici katkı maddeleri araştırmaları yapılmıştır [56].

3.3.4. Nanopartikül Katkı Maddeleri

Yapılan çalışmalarda, nanopartiküllerin biyodizel-dizel yakıt karışımları ile katkı maddesi olarak kullanıldığında dizel motorların performans özelliklerinin iyileştirilmesi ve egzoz emisyonunda azalma üzerinde olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir [55]. En az bir boyutu 100 μm 'den küçük olan yakıt katkısı

olarak kabul edilmektedir. Nano boyutun yakıt katkı maddeleri büyük bir araştırma konusudur. Nano boyutlu parçacıklar küçük boyutları nedeniyle olağanüstü özellikler sergiler. Nanopartiküller, yüksek yüzey alanı sayesinde üstün yanma özellikleri, yüksek reaktivite, daha kısa tutuşma gecikmesi ve hızlı enerji salınımı gibi avantajlar sağlar [58]. Nanopartiküller, NO_x ve karbon emisyonlarını azaltmada ve motor gücü, özgül yakıt tüketimi ve termik verim gibi motor performansında iyileşmede mükemmel bir etki sergilediği görülmektedir [55]. Ayrıca, kinematik viskozite, parlama noktası ve akma noktası gibi özelliklerinde de üstünlük sağlar. Nanopartiküllerin eklenmesiyle yakıtın uçuculuğu biraz azalmaktadır [58]. Bazı çalışmalarda, alüminyum oksit (Al₂O₃), bakır oksit (CuO), çinko oksit (ZnO), titanyum oksit (TiO₂), manganat (MnO), seryum oksit (CeO₂), demir oksit (Fe₂O₃), karbon nanotüpler (CNT) ve Grafen oksit (GO) gibi nanopartiküllerin, keşfedilen metalik ve karbon bazlı nanopartiküller arasında yüksek motor gücü, yüksek termik verim, daha düşük NO_x ve karbon emisyonlarına ulaşmada mükemmel sonuçlar gösterdiği görülmüştür [55]. Kullanılmakta olan diğer nanopartiküller arasında gümüş (Ag), magnezyum (Mg), titanyum (Ti), alüminyum (Al), bakır (Cu), nikel (Ni), çinko (Zn) gibi metaller, bor gibi yarı metaller ve magnezyum oksit (MgO), magnetit (Fe₃O₄) gibi metal oksit nanopartikülleri yer almaktadır [59].

3.3.5. Soğuk Akış İyileştirici Katkı Maddeleri:

Soğuk akış özellikleri, yani yüksek bulutlanma noktası, soğuk filtre tıkanma noktası ve akma noktası, düşük sıcaklıklarda yakıt akış davranışının temsilcisidir. Aslında bu özellik, biyodizelin en önemli eksikliklerinden biridir. Ayrıca, zayıf soğuk akış özellikleri, özellikle yüksek biyodizel karışım oranlarında motor operasyonları için soğuk çalıştırma sorunları ile ilişkilidir. Soğuk akış iyileştirici katkı maddeleri, kristal büyümesini önleyerek ve yakıtın genel kristalleşme davranışını iyileştirerek bu eksikliğin üstesinden gelmek için bir strateji olarak kabul edilmiştir. Soğuk akış iyileştiricilerin biyodizel-dizel karışımlarının düşük sıcaklık performansını önemli ölçüde artırabileceği bildirilmiştir [56].

3.3.6. Antioksidan Katkı Maddeleri

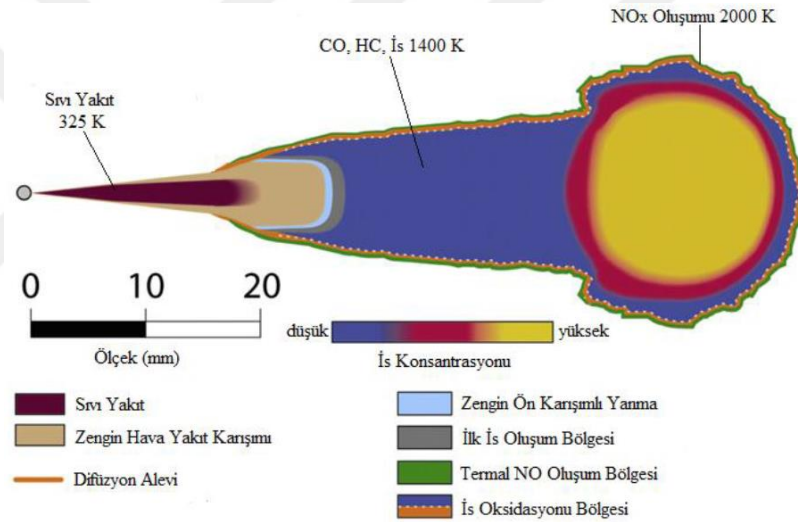
Yakıt istikrarsızlığının, dolayısıyla görünümünün ve yanma özelliklerinin bozulmasının ana nedeni olan yakıt oksidasyonu, antioksidanların uygulanmasıyla önlenebilir. Teknik olarak antioksidanlar, serbest radikal oluşumunu önleyerek veya yavaşlatarak yakıt stabilitesini artırabilir. Çok sayıda çalışmada, yakıtta biyodizel eklenmesinin NO_x emisyonlarının artmasına neden olduğunu iddia etmektedir. Buna paralel olarak, antioksidanlar sahip olduğu fazla oksijeni emme özelliği NO_x emisyonlarını azaltmak için birkaç araştırma çalışmasında kullanılmıştır. Bazı biyodizel oksidasyon ürünlerinin, motor bileşenlerine potansiyel zarar olan kostik karboksilik asitler olduğu da belirtilmelidir. Bu da antioksidanların uygulanmasının önemini daha da güçlendirir. Oksidasyonlar, antioksidanların uygulanması ile tamamen önlenemeyeceği dikkate alınarak asıl önemli olan, depolama süresince yakıtın bozulma oranını azaltmaktır. Dizel-biyodizel karışımlarında hidroksil anizol (BHA), butile hidroksil toluen (BHT), pirogallol (PL), difenilamin (DPA), tert-butilhidroksikininon (TBHQ) ve propil-gallat (PG) gibi çeşitli antioksidanlar kullanılır [56].

3.4. DİZEL MOTORLARIN KİRLİTİCİ EMİSYONLARI

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde hava kirliliği değişik kaynaklar tarafından oluşmaktadır. Bu kaynaklar endüstri düzeyine ve motorlu taşıtların varlığına bağlı olarak değişmektedir. Hava kirletici emisyonlar atmosferde gaz, sıvı ve partikül madde biçiminde çok sayıda bileşiği içermektedir. Önceki çalışmalar hava kirliliğinin yaklaşık olarak %50'si motorlu taşıtlardan kaynaklandığını belirtmektedir. Ayrıca sağlığa zararlı kirleticilerin %12'lik payı yine motorlu taşıtlardan kaynaklanmaktadır [61].

Dizel yakıtı esas olarak hidrokarbon kökenlidir. Yanmanın şekline göre yanma sonrası ürünleri oluşmaktadır [3]. Hidrokarbon, dizel motorlarla kullanıldığı zaman havanın içerisinde bulunan oksijen ile tam ya da kısmen reaksiyona girer. Bu reaksiyon sonrasında tam yanmada havada bulunan O₂, yakıt içerisinde bulunan C ve H₂ ile birleşerek CO₂ ve H₂O'yu oluşturur, havadaki azot (N₂) ise reaksiyona dahil olmadan

direkt olarak dışarı atılmaktadır. Tam yanmanın gerçekleşmediği ve bazı kimyasal parçalanmaların olması sebebiyle yanma sonrasında CO_2 , H_2O ve N_2 'nin yanı sıra kirletici emisyonlar olarak isimlendirilen yanmamış HC, CO, NO_x , SO_x ve partiküller oluşmaktadır [62,3]. Dizel motorlar yanma sonucunda özellikle fakir yakıt-hava karışımlarının neden olduğu fazla miktarda NO_x emisyonu ve is oluşumu görülürken, az miktarda da olsa HC ve CO emisyonlarını da görmek mümkündür. Genel olarak NO_x emisyonu ve is bakımından emisyon düzenleme sınırları aşıldığından dolayı, egzoz sonrası indirgeyici olarak SCR (seçici katalitik indirgeme), DPF (dizel partikül filtre), DOC (dizel oksidasyon katalizörü) vb. sistemler kullanılması zorunludur [26]. Yanma işlemi, is oluşum bölgesiyle azot oksit (NO_x) oluşum bölgesinden başlamaktadır ve Şekil 3.2'de görüldüğü gibidir [3].



Şekil 3.2. Sıcaklığa bağlı olarak yakıt damlacığında meydana gelen emisyonlar [3].

Motorlu taşıtların egzoz emisyonlarıyla ilgili düzenlemeler 1960'lı yıllarda Amerikan araçlarında HC 15g/mil, CO 90g/mil ve NO_x 6g/mil olarak belirlenmiştir. Günümüzde emisyonlarla ilgili sınırlamalar daha sıkı hale gelmektedir. Motorlu taşıtların çevreye daha az atık salması için Avrupa'daki ilk adım Euro 1 standardının getirilmesi ile başlamıştır [63]. Çizelge 3.3'de binek otomobiller için AB Euro Standartları verilmektedir. Çevrenin korunması dünya çapındaki en önemli öncelikler arasında yer almaktadır. Bu nedenle, özellikle ulaşım alanında tanımlanan Euro standartları Avrupa Birliği çerçevesinde geçerlidir. Günümüzde Euro 6 standartları yürürlüktedir. Emisyonların çoğunu ortadan kaldırmak için yeni ve daha katı bir emisyon standardına sahip olması beklenen Euro 7 standardı hazırlanmaktadır [121].

Çizelge 3.3. Binek otomobiller için AB Emisyon limitleri [64].

	NO _x (g/km)	CO (g/km)	PM (g/km)	HC+ NO _x (g/km)
Euro-1	-	2,72	140	0,97
Euro-2	-	1,00	80	0,7
Euro-3	0,15	0,64	50	0,56
Euro-4	0,25	0,50	25	0,30
Euro-5	0,18	0,50	5	0,23
Euro-6	0,08	0,45	4,5	0,17

3.4.1. Azot Oksit Emisyonu (NO_x)

Dizel motorlarda NO_x'in neredeyse %90'ı NO'dan, %5'i NO₂, arta kalanları ise diğer azot oksitlerden meydana gelmektedir. Yanma odasındaki bölgesel sıcaklıklar 1800 K'in üstüne çıktığı zaman havanın içerisinde olan azot molekülü parçalanır ve oksijen ile birleşip NO_x'i meydana getirmektedir. NO_x emisyonlarının oluşumundaki başlıca nedenler, oksijen konsantrasyonu ve yüksek sıcaklıktır. Yakıtın içerisinde de azot bulunmaktadır ve yanma esnasında okside olarak azot oksitleri meydana getirmektedir. Yakıtın bünyesindeki karbon-azot bağları, alevin sıcaklığından bağımsız olarak hava içerisindeki N₂ bağlarına göre kolaylıkla parçalanır. Bu sebeple yakıttaki azot miktarı fazla ise termal oluşuma kıyasla daha basit ve fazla NO_x oluşumu mümkündür. Bunlara ek olarak yanma esnasında yakıt bakımından zengin karışım olan bir alev bölgesinde ani bir biçimde NO meydana gelmektedir. Bu bölge yakınlarında olan oksijen (O) ve hidroksit (OH), NO_x emisyonlarını meydana getirmektedir. Bu sebeple sıcaklık, ani NO_x oluşumunu daha az etkilemektedir [65].

Çabuk tutuşan yakıtlarda yanma sürecinin uzamasından dolayı NO_x emisyonlarında artış meydana gelmektedir. Biyodizel yakıtları bünyesindeki oksijenden dolayı dizel yakıtına kıyasla azotoksit emisyonunda artış gösterebilmektedirler. Yanma verimini arttıran oksijen, yanma sonu sıcaklığını yükseltir ve azot gazının oksitlenerek azotoksit emisyonuna dönüşmesine sebep olmaktadır [51]. Ayrıca biyodizel yakıtının viskozitesinin yüksek olması nedeniyle atomizasyonun kalitesini düşürmesi ve soğuk bölgelerde yakıtın birikmesiyle kontrolsüz yanma sonucu açığa çıkan yüksek sıcaklıklarda NO_x emisyonları artmaktadır [66].

3.4.2. Hidrokarbon Emisyonu (HC)

Tam yanmama ya da yakıtın tutuşmaması gibi durumlarda meydana gelirler. Yakıtın tutuşamayacağı kadar dar yanma odası bölgelerinde hava/yakıt karışımının birikmesi, kalıntıların yağ filmi gibi davranması, karışımın supap yatak boşluklarına sızması, sıvı yakıtın silindirde kalması hidrokarbonların oluşmasına sebep olur. HC'ların oluşmasındaki en büyük etkenler yeterli oksijen ve sıcaklığın olmamasıdır. Sonuç olarak HFK 1'den küçük olduğunda tam yanma gerçekleşmemekte ve dolayısıyla hidrokarbonlar oluşmaktadır. Dizel motorları hava fazlalığıyla çalıştırdıklarından dolayı HC emisyonları benzinli motorlara kıyasla daha düşüktür. HC emisyonunu etkileyen bir diğer faktör ise motor yüküdür. Tam yükte çalışan motor kısmi yük ve boşta çalışmaya göre silindire daha fazla yakıt gönderilmekte ve sıcaklığın yükselmesine bağlı olarak reaksiyon hızı artmakta olup, dolayısıyla da HC emisyonları azalmaktadır [67]. Biyodizel yakıtının içerdiği fazla oksijen yanmayı iyileştirmekte ve HC emisyonlarının düşmesini sağlamaktadır [68].

3.4.3. Karbonmonoksit Emisyonu (CO)

Dizel motorlarda karışım oranı, motorun sahip olduğu yük miktarına göre değiştirilmekte ve çoğunlukla fakir karışım ile çalıştırılmaktadır. Bu durumda yanma olayının ara kademelerinde meydana gelen CO, ortamda yeteri kadar O₂ mevcut olduğundan CO₂'e dönüşmektedir. CO emisyonunun egzoz emisyonları arasında yer almasının sebebi yetersiz O₂'dir. Eğer yakıt-hava karışımındaki hava az ise, yani HFK 1'den küçük durumda olduğunda yanma yetersiz O₂ ortamı içerisinde olacak ve karbonun tamamı CO₂'ye dönüşemeyerek CO olarak kalmaktadır. Buna ek olarak bir diğer karbon monoksit oluşumunun nedeni ayrışma olayıdır. Yüksek yanma sıcaklıklarındaki yanma ürünleri ya da son ürünler olan CO₂ ve H₂O parçalanır ve element durumlarına dönüşürler. CO₂'nin ayrışması esnasında CO ve O, H₂O'nun ayrışması esnasında ise H ve O meydana gelmektedir. Ayrışma olayı yüksek sıcaklıklarda da artmaktadır [35].

Biyodizellerin yapılarında O₂ bulundurması ve motorlarda kullanımı esnasında HFK'nın dizel yakıtına kıyasla yüksek olması nedenleriyle CO emisyonlarında önemli ölçüde düşüş sağlamaktadırlar [51,69]. Biyodizel içerdiği oksijen nedeniyle yanma

esnasında ek oksijen sağlayarak yanmayı iyileştirmekte ve CO emisyonlarını azaltmaktadır [62]. Ayrıca dizel yakıtına kıyasla biyodizel, yapılarında daha düşük C/H oranına sahip olduklarından dolayı CO emisyonlarında azalma sağlamaktadırlar [40].

3.4.4. Partiküller (İs)

Yanma esnasında silindire yeteri kadar O₂'nin alınmaması, yakıt bünyesindeki karbon atomlarının yanmadan egzoz gazlarıyla atılması sonucu ortaya çıkan çok küçük katı ve/veya sıvı parçacıklar partikül olarak adlandırılmaktadır. Kül, duman yoğunluğu, SO_x ve C bazı partikül emisyonlarıdır [70]. Ek olarak yağlama yağının kısmen yanması, is oluşumuna %25 ile %45 arasında etki edebilmektedir. Motorun yük miktarına göre değişmekte olan hava fazlalık katsayısının bir fonksiyonu olarak is emisyonunda değişim olmaktadır. Motorun gücünü sınırlayan etkenlerden biri motor is emisyonu sınır değeridir. İs emisyonları, homojen durumda olmayan zengin karışım bölgelerinde (Eşdeğerlik oranı (ϕ) \cong 1.25) ve 1400 K değerinde meydana gelmektedir.

Biyodizel kullanımı ile is emisyonlarında azalma meydana gelmektedir. Bunun nedeni biyodizelin sağladığı iyi yanma, sahip olduğu yüksek viskozite, oksijen içeriği, düşük C/H oranı ve dizel yakıtına kıyasla aromatik bileşenleri içermemesidir. Biyodizelin C içeriği dizele kıyasla daha azdır. Bir yakıtın içerisinde ne kadar çok C bulunuyorsa o kadar çok is üretimi gerçekleşir [3].

3.4.5. Kükürtdioksit (SO₂)

Yakıtın içerisinde yer alan kükürt, yanma esnasında ya da atmosfere salınırken oksijenle reaksiyona girip kükürt dioksit (SO₂) ve kükürt trioksit (SO₃) emisyonlarını meydana getirmektedir. Çoğunlukla yakıtın bünyesinde olan kükürdün azaltılması ile kükürt dioksit (SO₂) emisyonları azaltılır. Su buharı ile bir araya gelerek sülfirik aside sebep olmaktadır [65]. Biyodizel yakıtı yağ kökenli bir yakıt olduğundan içerisinde çok az miktarda kükürt (%0,001'den az) bulundurmakta ve motorlarda kullanımı ile birlikte yanma sonunda SO₂ meydana getirmemektedir [3].

3.5. BİYODİZEL

Alternatif yakıtların evrimi, dünyadaki ulaşım alanında kullanılan endişe verici enerji tüketimi oranı tarafından teşvik edilmektedir. Son 50 yıl içerisinde dünya genelindeki enerji talebi anormal bir şekilde artmakta ve araştırmacılar için enerji güvenliği ve çevreyi koruma açısından önemli bir konu haline gelmiştir. Fosil yakıtların gelecekteki mevcudiyeti konusundaki belirsizlik nedeni ile de insanlar alternatif yakıtlara ilgi göstermektedir. Alternatif yakıtlar, mevcut enerji talebini sürdürülebilir bir şekilde karşılama potansiyeline sahiptir [71].

Önerilen alternatif yakıtlar arasında en sık incelenenler, dizel yakıt tüketimini ve emisyonları azaltmada kullanılan alkoller ve biyodizeldir. Biyodizel, aromatik bileşikler içermeyen, yüksek setan sayısına, yüksek parlama noktasına ve mükemmel yağlama performansına sahip, toksik olmayan ve biyolojik olarak kolayca parçalanabilen sürdürülebilir bir yakıt olarak kabul edilir [72]. Biyodizeller, bitkisel yağlardan, hayvansal yağlardan, atık yemeklik yağlardan veya uzun zincirli yağ asitleri içeren diğer maddelerden elde edilebilen yenilenebilir bir kaynak olarak kabul edilir [4].

Motorlarda bitkisel yağların kullanılması dizel motorunun bulunduğu tarihe kadar dayanmaktadır. 1900 yılında Paris'te dizel motorunun mucidi Rudolf Diesel, fıstık yağı ile çalıştırdığı motorunu sergilemiştir. Motorlarda bitkisel yağların alternatif yakıt biçiminde kullanılması başlangıçta direkt kullanım şeklinde gerçekleşmiştir. Fakat bitkisel yağlar, ısıl değer ve yüksek setan sayısı gibi üstünlüklerinin yanı sıra düşük uçuculuk yüksek viskozite ve doymamış hidrokarbon miktarı gibi dezavantajlara sahiptir. Bitkisel yağlar bu olumsuz niteliklerinden dolayı motorlarda uzun süre kullanılması ile reçine oluşumu, enjektörlerde tıkanma ve yağlama yağında bozulma gibi önemli sorunlara yol açabilmektedir. Oluşan bu sorunları engellemek için bitkisel yağlara değişik kimyasal ve ısıl işlemler uygulanmaktadır. Biyodizel yakıtı bu sebeple özellikle katı parçacık (partikül madde ve is) emisyonlarında düşüş ve motor performansında artış için motorun tasarımında önemli bir değişikliğe gerek olmadan kullanılabilen, etkili ve ekonomik yönden avantajlı bir yöntem olarak görülmektedir [73].

Biyodizelin enerji kaynağında önemli bir yer almasının nedenleri dizel yakıtı yerine direkt olarak kullanılabilmesi, dizel yakıtına yakın olan verimi, hayvansal ve bitkisel yağlardan elde edilebilmesi, enerji tarımı bakımından iş olanakları ve ekonomik sektör oluşturması ve çevre dostu bir yakıt olmasıdır [74].

Biyodizelin sağladığı avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

- Yenilenebilir hammaddelerden elde edilmektedir. Bitkisel, hayvansal ve atık yağlardan elde edilebilmektedir,
- Çevre dostu bir yakıttır, küresel ısınmaya katkısının olmadığı kabul edilmektedir, hızlı ve kolay bir biçimde bozunabilir,
- Kükürt ve kanserojen madde içermemektedir, toksik etkisi yoktur,
- Sahip olduğu yüksek parlama noktası sayesinde güvenilir bir yakıt haline gelmektedir,
- Yağlayıcılık özelliği vardır,
- Dizel motorlarında herhangi bir değişime gerek kalmadan kullanılabilir,
- Stratejik açıdan büyük özelliklere sahiptir,
- Aromatik bileşikler, kükürt ve ağır metaller bulundurmaz,
- Biyodizel, biyolojik olarak ayrışabilmektedir. Zehirlenme özelliğine sahip değildir. Fosil yakıtların 28 gün içerisinde yaklaşık olarak %30'unun biyolojik olarak ayrıştığı gözlemlenirken, biyodizelin %95-98 aralığında olduğu belirtilmiştir,
- Taşıma ve depolanma bakımından dünya standartlarında "Tehlikeli Madde" kapsamında bulunmaması, güvenli yakıt olarak kabul edilmesi,
- CO₂ gibi sera etkisine katkısı yoktur,
- Dizel yakıtına kıyasla daha düşük enerjiye sahiptir. Ancak biyodizelin sahip olduğu setan sayısı dizele kıyasla daha yüksektir ve motor bu sayede daha az vuruntu yapar,
- Kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı motorlarda yanma verimini pozitif yönde etkiler
- Dizele göre yaklaşık %80 daha az CO₂ ve neredeyse %100 daha az SO₂ emisyonu sağlar,

- Biyodizel, dizel motorlarda tek başına ya da dizel yakıtı ile her oranda karıştırılarak kullanılabilir,
- Dizel yakıtının emisyonlarına kıyasla daha az CO, partikül madde, yanmamış hidrokarbon miktarına sahiptir. Ek olarak aromatik bileşenler hem de kükürt neredeyse hiç yoktur,
- Yapısında %11-13 arasında oksijen içerir. Bu da yanma verimini yükseltmektedir,
- Sahip olduğu iyi yağlama özelliği ile motor ömrünü uzatmaktadır [1,40,48,51,75-78].

Biyodizelin oluşturduğu dezavantajlar da şu şekilde sıralanabilir:

- Biyodizelin sahip olduğu akma noktası değeri dizel yakıtına kıyasla daha yüksektir. Bu sebeple soğuk hava koşullarında sorun teşkil edebilmektedir,
- Dizel-biyodizel karışımları kullanıldığında motorun içinde olan tortular biyodizel ile çözülür. Bu nedenle filtreler tıkanır. Bazı araçlarda biyodizel kullanıldığında motor sistemleri zamanla tahrip olmaktadır. %100 oranına biyodizel kullanıldığı zaman yakıt sistemleri ve pompa sistemlerindeki lastik ve nitrik sızdırmazlıkları gibi bazı malzemelerde problem olmaktadır,
- NO_x değerleri dizel yakıtına kıyasla %10'luk bir artışa sebep olabilir. Ancak yanma ve yanma sonrası kontrollerle iyileştirilebilir,
- Düşük uçuculuk, yüksek viskozite ve yüksek oranda doymamış hidrokarbon oranına sahiptir,
- Bir diğer problem ise yakıt olarak kullanılmak istenen bitkisel yağların içeriğinde doymamış yağların bulunmasıdır. Bitkisel yağlardaki bu doymamış yağlar, yağlanma yapısına dahil olarak ortamda polimerizasyonu çoğaltıp motora zarar vermektedir. Böylelikle viskozitede artış görülmektedir [1,48,51,72]

3.6. BİYODİZEL ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ

Biyodizel yakıtı bitkisel, hayvansal ve atık yağlardan üretilmektedir [48]. Yağların sahip olduğu yüksek viskoziteleri ve çeşitli özellikleri nedeniyle doğrudan kullanımı sorun çıkarabilmektedir. Yağların bu özelliklerini iyileştirmek, viskozitelerini düşürmek ve dizel yakıtına yakın değerler elde etmek için bazı fiziksel ve kimyasal işlemler yapılmaktadır. Bu işlemler transesterifikasyon yöntemi, proliz yöntemi, mikroemülsiyon oluşturma yöntemi ve seyreltme yöntemidir [49].

3.6.1. Transesterifikasyon Yöntemi

Kısa tepkime süresi, kolay yolla üretimi ve yüksek verimini elde edilmesi nedeni ile biyodizel üretiminde en çok tercih edilen yöntem transesterifikasyon yöntemidir. Transesterifikasyon biyodizel yakıtının ısı değerinde önemli ölçüde değişikliğe sebep vermeden yağın viskozitesini düşürür. Bu yöntemde en sık kullanılan alkoller metanol ve etanoldür [66].

Hayvansal ve bitkisel yağların kısa zincirli alkollerle belirli bir katalizör kullanarak reaksiyona girmesi sonucu biyodizel ve gliserin oluşurmasıdır. Transesterifikasyon reaksiyonu, kimyasal veya enzimatik katalizörler yoluyla meydana gelebilir. Burada alkol miktarı reaksiyonun kimyasal dengesinde değişiklikler meydana getirir ve nihai ürünün verimini arttırabilir. Tersinir bir reaksiyondur. Reaksiyonun sonunda çıkan ürünler genellikle bir ayırma hunisine yerleştirilir. Biyodizel üstte kalırken, gliserin altta birikir. Bir sonraki aşamada trigliseridler (organik yağlar) ve gliserin alkolle reaksiyona girerek biyodizel ve gliserin oluşturulur [79]. Gliserin, baz ve sabun kalıntılarına sahiptir. Bu nedenle ham gliserin yan ürün olarak tanklarda biriktirilir. Su ve alkol kalıntıları ayrılarak ham gliserin meydana getirilir. Biyodizel–gliserin karışımı ayrıldıktan sonra, biyodizelin bünyesindeki eser miktarda olan baz ve sabun, saf suyla yıkanarak ayrılır. Reaksiyon karışımı nötr hale getirilir. Böylelikle açık sarı renge sahip dizel yakıtına yakın viskozitesi olan biyodizel elde edilmiş olur [1]. Transesterifikasyon yöntemi; serbest yağ asidi ve nem miktarı, katalizörün cinsi ve oranı, alkol/yağ oranı, reaksiyonun sahip olduğu sıcaklık ve süresi, karıştırma şiddeti

gibi parametrelere bağlıdır. Seçilen yağa göre kullanılan katalizör, reaksiyon sıcaklığı ve alkol oranı bu yöntem için önemli parametrelerdir [64].

3.6.2. Proliz Yöntemi

Piroliz ya da diğer adı ile kriting, kimyasal bağları daha küçük moleküllere dönüşmesi için uygulanan kırılma işlemidir. Hayvansal yağların proliz ürünlerini elde etmek iki şekilde gerçekleşir. Birincisi, hayvansal yağı kapalı bir kap içerisinde ısı etkisi ile parçalara ayırma, ikincisi de standart ASTM distilasyonu ile ısıl parçalamadır. İkinci yöntemde, hayvansal yağdan yapılan distilatın saf hayvansal yağa kıyasla, dizele daha benzer özelliklere sahip olduğu belirtilmiştir [80].

3.6.3. Mikroemülsiyon Oluşturma Yöntemi

Bitkisel yağların viskozitesini en aza indirmek amacıyla kullanılan metanol, etanol, 1- bütanol gibi kısa zincirli mikroemülsiyonların oluşturulması bir diğer yöntemdir [81]. Mikroemülsiyon, 1 ile 150 nm değerleri arasında bir boyutu olan, optik bakımdan izotropik sıvı mikro yapıların koloidal (gerçek çözelti ile heterojen karışımlar arasında yer alan ara karışımların adı) denge dağılımıdır. Çoğunlukla karışmamış olan iki sıvı ile bir ya da birden fazla amfifilin (hem hidrofilik ve hidrofobik özellikler taşıyan kimyasal bileşik) kombinasyonundan meydana gelir. Böylelikle şekilde hiç yağa dayanmayan alternatif dizel üretimi mümkündür. Mikroemülsiyon oluşturma yönteminin dezavantajı, düşük setan sayılı alkollerin, yakıtın setan sayısını düşürmesi ve düşük sıcaklıklarda ayrılmaya yatkın olmasıdır [82].

3.6.4. Seyreltme Yöntemi

Bitkisel yağların ve atık yağların belirli miktarlarda bir çözücü ya da bir dizel yakıtı ile karıştırılıp inceltmesi işlemi seyreltme yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Bu çözücüler solvent, etanol, normal bütanol, aseton ve etanol-metanol gibi maddelerdir [31]. Bu işlemlerden en çok tercih edileni yağların dizelle karıştırılma işlemidir. Böylece yağın viskozitesi ve dizel yakıtın kullanım oranı düşürülür [1]. Seyreltme yöntemi ile elde edilen yakıtın maliyeti dizele kıyasla daha düşüktür. Ancak seyreltme

yöntemi direkt enjeksiyonlu dizel motorlarında uzun süreli kullanım da çok tercih edilmemektedir. Bunun nedeni enjektör memesinde viskozite artışına ve motor yağı birikmesine sebep olmaktadır [82].

3.7. BİYODİZEL NESİLLERİ

Biyodizel, bitkisel yağlar, hayvansal yağlar, atık yağlar ve algler gibi farklı hammaddelerden elde edilebilir. Farklı hammaddelerden üretilen biyodizel çeşitli saflık ve bileşime sahiptir. Biyodizelin saflığı, maliyeti, bileşimi ve verimi gibi çeşitli faktörleri etkileyen hammadde seçimi, biyodizel üretiminde ki en önemli parametredir [83]. Biyodizel üretimi için kullanılan 4 farklı hammadde nesli aşağıda anlatıldığı gibidir.

3.7.1. Birinci Nesil Biyodizel

Birinci nesil biyodizeller yenilebilir hammaddelerden (Hindistan cevizi yağı, soya fasulyesi yağı, palm yağı, mısır yağı vb.) üretilmektedir. Biyodizel üretimi için yenilebilir hammaddelerin kullanımı, biyodizel kullanımının başlangıç çağında oldukça popülerdi. Birinci nesil biyodizeli, mahsullerin mevcudiyeti ve kolay dönüştürme prosedürü tercih edilebilir kılıyordu. Ana dezavantajı, gıda arzındaki sınırlama riski nedeniyle bu hammaddelerin maliyetinin artmasıdır. Ayrıca çevre koşullarına uyum, yüksek maliyet ve sınırlı ekim alanı üretimin önündeki engellerdendir [83]. Bazı birinci nesil biyodizel hammaddeler aşağıda verildiği gibidir. Çizelge 3.4'te biyodizel için çeşitli hammaddeler verilmektedir.

3.7.1.1. Kanola Yağı

Tohumunda %40 ham yağ ve %60 küspe barındıran yağ bitkileridir. 2-3 mm çapında, siyah renkte ve tam yuvarlak şekle sahip tohumları vardır. Diğer yağ bitkilerine kıyasla yüksek tohum ve yağ sağlamaktadır. Yüksek protein yapısına sahiptir. Nem oranı yaklaşık olarak %8'dir. İnsan tüketimine uygun nadir ürünlerdendir. Linoleik asit/linolenik asit oranı yaklaşık 2:1'dir [84]. Kolza olarak da isimlendirilir. Erüsik asit değeri sıfırdır. Doymuş ve yarı doymuş yağ bileşimleriyle sağlıklı ve kaliteli özelliğe

sahiptir. Oleik asitçe oldukça zengin olan kanola yağı, yüksek tutuşma sıcaklığı, tortu bırakmama ve hafiflik gibi avantajlara sahiptir. Yoğunluk, ısıl değer, viskozite ve setan sayısı değerleri sırasıyla 920 kg/m^3 ($15,5^\circ\text{C}$ 'de), $36,9 \text{ MJ/kg}$, $37 \text{ mm}^2/\text{s}$ (40°C 'de) ve $\sim 40-50$ 'dir [85].

3.7.1.2. Aspir Yağı

Yağlı tohumlu bitkilerden birisi olan aspir yağı tek yıllık bir bitki olup, yazın ve kışın ekilebilir. Bu bitkinin eski çeşitlerinde %25-27 oranlarında yağ bulunmaktaydı, ancak yeni çeşitlerin geliştirilmesi ile oran %46-47 oranlarına yükseltilmiştir. Açık renkli, daha çok doymamış yağ asitlerinden linoleik asit bulundurması nedeniyle önemli bir yere sahiptir. Türkiye aspir üretimi için uygun iklim ve toprak koşullarına sahiptir [86]. Yoğunluk, ısıl değer, viskozite ve setan sayısı değerleri sırasıyla 920 kg/m^3 (15°C 'de), $39,10 \text{ MJ/kg}$, $31,51 \text{ mm}^2/\text{s}$ ve $49,31$ 'dir [87].

3.7.1.3. Ayçiçek Yağı

Tüm dünyada ekili en büyük beşinci yağlı tohum mahsulü ayçiçeğidir. Ayçiçeğinin hektar başına yağ verimi soya fasulyesi ve kolzadan daha fazladır. Kolza kadar verimlidir. Yoğunluk, viskozite ve ısıl değeri sırasıyla 918 kg/m^3 (15°C 'de), $34,01 \text{ mm}^2/\text{s}$ (40°C 'de), ve $39,56 \text{ MJ/kg}$ 'dır. Aynı zamanda %15-40 oleik asit, %5-8 palmitik asit ve %2-6 oranlarında stearik asit içerir ve %30-70 linoleik asit içerir. Ayrıca iyot sayısının yüksek olması ve daha az olan oksidasyon kararlılığı nedeniyle saf ayçiçek yağının yakıt olarak kullanılmasına engel teşkil etmektedir [83].

3.7.1.4. Soya Fasulyesi Yağı

Soya fasulyesi yağı, özellikle ABD, Brezilya ve Arjantin başta olmak üzere dünya çapında önemli bir yemeklik yağ kaynağıdır. En önemli yağ içeren bitkilerden biridir [88]. Ayçiçek yağı ile aynı iyot sayısına sahiptir ($121-143$). Diğerlerine göre hektar başına daha az yağ verimi üretir. Yoğunluk, viskozite ve ısıl değeri sırasıyla 916 kg/m^3 (15°C 'de), $31,83 \text{ mm}^2/\text{s}$ (40°C 'de), ve $39,6 \text{ MJ/kg}$ 'dır. %50-60 linoleik asit, %20-30 oleik asit, %6-10 palmitik asit ve %5-11 oranlarında linolenik asit içerir [83].

3.7.2. İkinci Nesil Biyodizel

İkinci nesil biyodizeller, yenmeyen (Neem yağı, jatropha yağı, pamuk yağı, nagchampa yağı vb.) yağlardan üretilmektedir [84]. Çevre dostu olması, düşük üretim maliyeti, gıda eşitsizliğini azaltması, daha az tarım arazisi gereksinimi ikinci nesil biyodizel üretiminin avantajlarındandır. Bu hammaddeler önemli olmayan topraklarda yetiştirilebilir. İkinci nesil biyodizeller tohumlardan elde edilen verimin olumsuz etkilerine sahip olabilir ve bu da yanlış yağ tedarikine sebep olabilir. Ayrıca yenmeyen bu mahsulleri yetiştirmek için önemli olmayan arazilerin az olması toplumun ekonomisini ve gıda üretimini olumsuz yönde etkilemektedir. Bunlarla birlikte üretim sürecinde aşırı alkol gereksinimi vardır [89]. Başka bir deyişle ikinci nesil biyodizeller, gıda ürünü olarak kabul edilmeyen düşük kaliteli ürünlerden üretilmektedir [90]. Bazı ikinci nesil biyodizel hammaddeler aşağıda verildiği gibidir. Çizelge 3.4'te biyodizel için çeşitli hammaddeler verilmektedir.

3.7.2.1. Jatropha

Jatropha bitkisi Meksika, Brezilya, Peru, Paraguay, Arjantin ve Orta Amerika'da üretilmektedir. Jatropha tohumları %30-40 oranlarında yağ içerir [79]. Tropikal ve subtropikal iklimlere özgü bir bitkidir. Kuraklığa toleranslı küçük bir ağaç ya da büyük bir çalıdır. Bozulmuş topraklarda yetiştirilebilir. Bir yıl içerisinde hektar başına 0,1-8 ton arasında tohum yetişebilir. Verimi yaklaşık %50-60'tır [9]. Yağın yaklaşık olarak %21'i doymuş yağ (%14,2 palmitik asit ve %7 stearik asit) ve %79'u doymamış yağ asididir (%44,7 oleik asit ve %32,8 linoleik asit). Setan sayısı, yoğunluk, viskozite ve ısı değeri sırasıyla 46-55, 864-880 kg/m³ (40 °C'de), 3,7-5,8 mm²/s (40 °C'de) ve 38,5-42 MJ/kg'dır [91].

3.7.2.2. Pamuk Tohumu Yağı

Avrupa, Çin ve ABD ana pamuk tohumu üreticileridir. Başlıca türleri, pamuk tohumu yağı üretiminde kullanılan *Gossypium herbaceum* ve *Gossypium hirsutum* türleridir. Yoğunluk, viskozite ve ısı değeri sırasıyla 917-933 kg/m³ (40 °C'de), 34,79 mm²/s (40 °C'de) ve 39,5 MJ/kg'dır. Pamuk bitkisinin tohumları %17-25 aralığında yağ

içermektedir. %19,2-23,26 oleik, %11,67-20,1 palmitik ve %55,2-55,5 linoleik asit gibi yağ asidine sahiptir [83]. Türkiye'nin pamuk yağı üretiminde oldukça önemli bir potansiyeli vardır [92]. Pamuk üretimi Ege, Antalya, Çukurova ve Güneydoğu Anadolu'da yoğunlaşmıştır [3].

Türkiye, International Cotton Advisory Committee tarafından hazırlanan pamuk lifleri üretimi listesinde 656 milyon ton ile 9. sırada, tüketim listesinde ise 1617 milyon ton ile 6. sırada yer almaktadır [93]. Pamuk liflerinden ayrıldıktan sonra geriye kalan çığitten ham pamuk yağı elde edilmektedir. Çiğit bir yan üründür. Pamuk tohumu bir lif bitkisi olduğundan yağ üretmek için kullanılmaz. Ham pamuk yağı, serbest yağ asidi içerdiğinden dolayı sert özellikli, karakteristik bir tadı ve kokusu olan, diğer bitkisel yağlara göre oldukça koyu renge sahiptir. Pamuk yağları çığitten 3 yöntem sonucu elde edilmektedir. Birincisi mekanik presleme, ikincisi çözücü ekstraksiyonu, son olarak bu iki yöntemin birlikte uygulanmasıdır. Pamuk yağlarının özellikleri, yetiştirildikleri iklim, depolanma koşulları, üretimi sırasında uygulanan sıcaklığa göre değişmektedir. Pamuk nemli ve ılık ortamda yetiştirilirse ya da depolanırsa serbest yağ asidinin miktarı yükselir ve rengi koyulaşır [94].

3.7.2.3. Karanja (*Milletia pinnata*)

Güneydoğu Asya, Avustralya, Çin ve ABD ana karanja üreticileridir. Isıl değeri, yoğunluğu ve viskozite değeri sırasıyla 35,992 MJ/kg, 933 kg/m³ (15 °C'de), ve 39,9 mm²/s (40 °C'de). Karanja yağında %2,4-8,9 stearik asit, %10,8-18,3 linoleik asit ve %44,5-71,3 oleik asit vardır [83].

3.7.3. Üçüncü Nesil Biyodizel

Hayvansal yağlardan, Mikroalglerden (yosun) ve atık yağlardan üretilen biyodizel üçüncü nesil biyodizel olarak adlandırılmaktadır [83]. Bazı üçüncü nesil biyodizel hammaddeler aşağıda verildiği gibidir. Çizelge 3.4'te biyodizel için çeşitli hammaddeler verilmektedir.

3.7.3.1. Hayvansal Yağlar

Günümüzde hayvansal yağlardan elde edilen yan ürünler ağırlıklı olarak biyodizel üretiminde kullanılmaktadır, çünkü perakende fiyatları düşüktür. Üçüncü nesil biyodizel üretiminde sığır donyağı veya koyun eti, sarı yağ, domuz yağı ve omega-3 yağ asitlerinden sonra artıkları kullanılır. Daha az doymuş yağ asitleri içeren atık hayvansal yağlar daha kısa tutuşma gecikmesi, oksidasyona karşı iyi stabilite ve yüksek ısı değeri gibi faydalara sahiptir. Bu hammaddeler, yüksek ısı değeri ve setan sayısı sağlayan yüksek doymuşluğa sahiptir. Büyük hacimdeki doymuş yağ asitleri, düşük sıcaklıkta çalışmada sorun yaratabilir. Bu nedenle hayvansal yağlardan elde edilen biyodizel soğuk ülkelere göre pek uygun değildir [83].

3.7.3.2. Atık Yağlar

Bitkisel ve hayvansal yağların yanı sıra kullanılmış atık yağlar biyodizel üretiminde kullanılabilirler. Atık yağlar; bitkisel atık pişirme yağları, hayvansal atık yağlar ve atık sanayi yağları olmak üzere üç grupta ayrılmaktadır [69]. Yağlar kullanıldıktan sonra fiziksel ve kimyasal açıdan değişikliklere uğramaktadır. Atık yağların motorlarda sorun olmadan kullanılabilmesi için istenmeyen unsurların uzaklaştırılması gerekmektedir [95]. Genellikle atık yağlar ucuzdur ve bertaraf edilmesi gereken bu türden malzemeleri tüketerek ek bir ekolojik güç oluşturulur [83].

3.7.3.3. Mikroalgler

Mikroalgler diğer biyoküteller ile karşılaştırıldığında çok farklı verime sahip üçüncü nesil biyodizeldir. Mikroalg yenilenebilir bir hammaddedir, çevre dostu ve yüksek enerji içerir. Gelişmemiş topraklara ekilebilir. Üçüncü nesil biyoyakıt dizel, benzin, jet yakıtı ve havacılık benzini gibi yakıtların çoğu ile harmanlanabilir [96]. Mikroalgler, biyodizel üretimine uygun büyük miktarda lipit üretme olasılığı olan tek hücreli su bitkileridir. Flokülasyon veya santrifüjleme teknikleri ile kurak ve yarı kurak gibi kötü koşullarda yetiştirilebilirler [83]. Diğer biyokütle ile karıştırıldığında çok farklı verime sahip olurlar. Daha fazla enerji üretme potansiyeline sahiptir. Yıl boyunca üretilebilir. Hızlı büyüme potansiyeline sahiptir [96].

3.7.4. Dördüncü Nesil Biyodizel

Fotobiyolojik solar yakıtlar ve elektro yakıtlar dördüncü nesil biyodizelleri oluşturur. Solar yakıtlar, biyodizel yapımında kullanılan hammaddelerin solar enerjileri kullanılarak üretilmiştir. Hammaddeler yaygın olarak bulunur ve ucuzdur [83]. Yüksek enerji içeriği, tükenmezlik, kolay kullanılabilirlik ve daha düşük maliyet, dördüncü nesil biyodizel hammadde geliştirmenin arkasındaki temel parametrelerdir. Yapay fotosentez ve direkt solar biyodizel üretimi, güneş enerjisi kullanarak fotosentetik suları bileşenlerine ayıran ana teknolojilerdir. Geleceğin fotobiyolojik güneş yakıtı üretim sistemi, güneş enerjisini toplar ve bunu iyileştirilmiş verime sahip yüksek kaliteli yakıt üretiminde kullanır. Mikroorganizma, yakıtın bir fotobiyoreaktörde sürekli olarak toplanmasını mümkün kılacaktır. Direkt solar yakıt üretim teknolojisi, hasat edilen biyokütleden bağımsızdır [83]. Çizelge 3.4'te biyodizel için çeşitli hammaddeler verilmektedir.

Çizelge 3.4. Farklı nesil biyodizel üretimi için kullanılan hammaddeler [83].

Birinci Nesil	İkinci Nesil	Üçüncü Nesil	Dördüncü Nesil
Kaju Fıstığı	Aleutites fordii	Hayvansal yağlar	Fotobiyolojik solar
Hindistan cevizi	Babassu ağacı	Biyokütle pirolizi	Elektrobiyoyakıtlar
Mısır	Calophyllum inophyllum	Botruococcus braunii	Sentetik Hücre
Pamuk tohumu	Thevetia peruviana	Chlorella vulgaris yosunu	
Fındık	Cerbera odollam	Dunaliella salina yosunu	
Hardal	Crambe abyssinica	Kirli yağ	
Ayçiçeği	Nicotiana tabacum	Atık yemeklik yağ	
Zeytin	Jatropha curcus		
Palm	Jojoba		
Fıstık	Karanja		
Turp	İpek pamuk ağacı		
Kolza tohumu	Don yağı		
Pirinç kepeği	Nagchampa		
Soya fasulyesi	Neem		
Tigernut	Petrol somunu		
Ceviz	Kauçuk tohumu		

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOT

4.1. Deney Düzeneği ve Donanımları

Çalışmada kullanılan motor Şekil 4.1'deki dört zamanlı tek silindirli Antor 3LD510 dizel motorudur. Motorun teknik özellikleri Çizelge 4.1'te gösterildiği gibidir. Motor yükleme donanımında Net Fren Motor Dinamometresi kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Çalışmada kullanılan motorun görseli.

Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan motorun teknik özellikleri.

Parametreler	Motor Özellikleri
Marka ve Model	Antor 3LD510
Motor Tipi	Direkt Enjeksiyonlu Dizel Motor
Silindir Sayısı	1
Silindir Çapı	85 (mm)
Kurs	90 (mm)
Strok Hacmi	1510 (cm ³)
Sıkıştırma Oranı	17,5/1
Maksimum Motor Devri	3000 (dev/dak)
Maksimum Güç	12 kW (3000 dev/dak)
Maksimum Moment	32,8 Nm (1800 dev/dak)

Yapılan çalışmalar esnasında motorun yüklenmesi, 0-50 kg ölçüm aralığında, 1g hassasiyete sahip yük hücresi kullanılmıştır. Üretici firmanın hazırladığı kullanım kılavuzuna göre kalibrasyon ayarları yapılmıştır. Çalışmada kullanılmış olan dinamometrenin ölçüm aralığı 0-5000 dev/dak'dır. Motor momentinin ölçüm aralığı 0-350 Nm'dir.

0,1 g hassasiyete sahip maksimum 6 kg yakıt ölçümü yapabilen PCE-BSH 6000 model dijital terazi ile yakıt tüketiminin g/min şeklinde kütleli debisinin ölçümü yapılmıştır. Egzoz gazının sıcaklığının ölçümünde ise 0-1200 °C ölçüm aralığı olan Ni-Cr kaplamalı termokupl, egzoz portunun 70 mm ilerisine konumlandırılmıştır.

Egzoz emisyonları ölçümünde Şekil 4.2'de ki Bosch-BEA 350 modeli ve duman emisyonunun ölçümünde Şekil 4.3'de ki Bosch-BEA 070 modeli cihazlar kullanılmıştır. Bu cihazlar NO_x, CO₂, CO, HC kirleticileri ve duman koyuluğunu, egzoz gazının hacimsel debisine oranı şeklinde ölçülebilmektedir.



Şekil 4.2. Bosch-BEA 350 emisyon ölçüm cihazı.

Çizelge 4.2. Bosch-BEA 350 emisyon cihazının teknik özellikleri

Molekül	Ölçme Aralığı
CO	0-10 % vol
HC	0-9999 ppm
NO	0-5000 ppm
CO ₂	0-18 % vol
O ₂	0-22 % vol



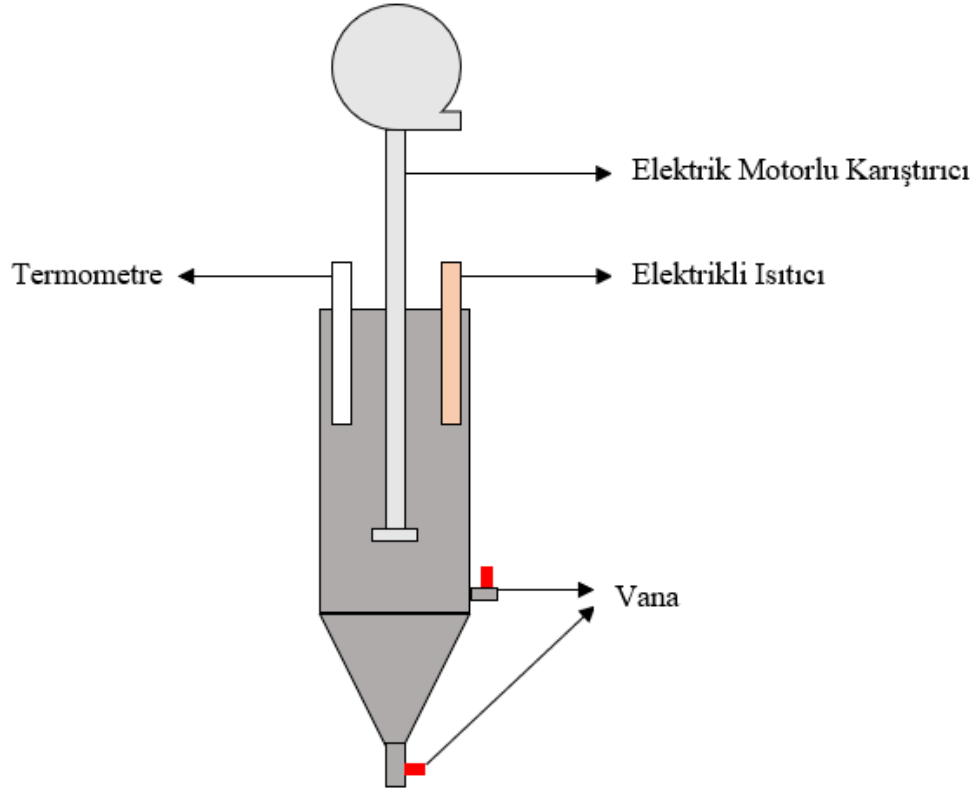
Şekil 4.3. Bosch-BEA 070 duman (is) ölçüm kiti.

Çizelge 4.3. Bosch-BEA 070 duman (is) ölçüm kitinin teknik özellikleri

Ölçülen Büyüklük	Ölçme Aralığı
Opaklık Derecesi	0-%100
Absorsiyon Katsayısı (k)	0-9,99 dev/dak
Özellik	Değer
Ölçüm Odası Uzunluğu	215mm
Çalışma Aralığı	+5 °C-+40 °C
Ortam Havaasının Bağıl Nemi	<%90

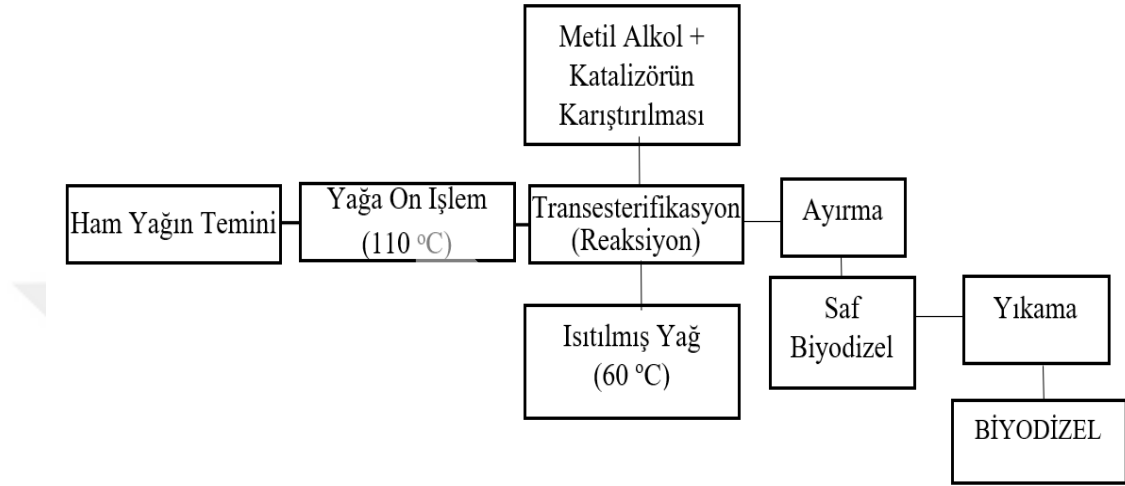
4.2. Metot

Yapılan çalışmada yakıt olarak pamuk yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel yakıtı üretimi yapılmıştır. Biyodizelin yakıt özelliğini değiştirmek amacıyla üretimi esnasında alkali katalizör (NaOH) kullanılmıştır. PYME (Pamuk yağı metil esteri) üretimi için Şekil 4.4'teki biyodizel reaktörü kullanılmıştır.



Şekil 4.4. Biyodizel Reaktörü

Pamuk yağından biyodizelin üretimi için transesterifikasyon yöntemi tercih edilmiştir. Katalizör olarak 84,01 molekül ağırlığına sahip %99,5 saflıkta NaOH ve 0,791-0,793 kg/1 yoğunluğu olan %99,5 saflığı olan Metanol kullanılmıştır. Transesterifikasyon yönteminin akış şeması aşağıda Şekil 4.5'te gösterildiği gibidir.



Şekil 4.5. Transesterifikasyon akış şeması.

Bitkisel yağın bünyesindeki su sabunlaşmaya sebep olmaktadır. Taşıma ve depolama anında ham yağın bünyesindeki suyun 110 °C'de 30 dakika ısıtılıp yağdan buharlaşarak uzaklaştırılması sağlanmıştır.

Metoksit hazırlanışında alkol olarak metanol ve katalizör kullanılmıştır. 1 l yağ için 200 ml metanol ve 3,5 g NaOH'ın kapalı bir kaptaki karışımı gerçekleştirilmiştir. NaOH katalizör amacı ile kullanıldığı için sodyum metoksit olarak isimlendirilmiştir. Katalizörün metanol içerisinde tamamen erimesinden sonra reaktörün içerisine konularak 60 °C'ye kadar ısıtmaya başlanmıştır. Reaktörün içerisindeki karışım sürekli karıştırılarak termostat kontrolünde sıcaklığın tüm bölgelerde aynı olması sağlanmıştır. Isınan yağ içerisine ısıtılan sodyum metoksit (≈ 35 °C) ilavesi ile karışım 60 ± 1 °C sabit sıcaklıkta 1 saat boyunca karıştırılmıştır.

Reaksiyon işlemi sonrasında karışım dinlenmeye bırakılıp biyodizel ve gliserinin ayrışması beklenmiştir. 8 saatlik bekleme sonucunda gliserin biyodizelden ayrıştırılmıştır. Sonrasında kalan biyodizel ayrı bir kaba dahil edilmiştir.

Elde edilmiş olan biyodizel ile saf su aynı oranda yıkama ünitesine alınmıştır. Karışıma hava pompası yardımı ile hava gönderilerek hava kabarcıklı yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Yıkama işlemi esnasında yıkama suyu ve ham biyodizelin sıcaklığı 35 ± 1 °C'ye ulaştırılarak 1 saat süreyle yıkama yapılmıştır. Yıkama işlemi sona erdikten sonra su ve biyodizelin ayrışması için 8 saat beklenmiştir. Yıkama sonrasında elde edilmiş olan ham biyodizel içerisinde kalabilecek olan su ve alkolün arındırılması için kurutulmaya bırakılmıştır. 110 °C'de 30 dakika boyunca ısıtılarak kurutma işlemi gerçekleştirilmiş, su ve alkol arındırılmış ve üretim işlemi tamamlanmıştır.

Yapılan çalışmada kullanılan katı katkı maddesi olan CeO₂ piyasadan temin edilmiştir. Şekil 4.6'da CeO₂ nanopartikül katkı maddesinin fiziksel görüntüsü verilmektedir. Seryum oksit katkısının özellikleri ise Çizelge 4.4'te görüldüğü gibidir. Biyodizel yakıtının içine CeO₂ katkısı Şekil 4.7'de görülen AND-GR200 marka 210 g kapasitesi olan, 0,0001 g hassasiyete sahip hassas terazide, yapılan literatür araştırmalarına göre 25 ppm–50 ppm–75 ppm ve 100 ppm oranlarında tartılarak Şekil 4.8'de ki ultrasonik karıştırıcı ile karışımı yapılmıştır [97-99].



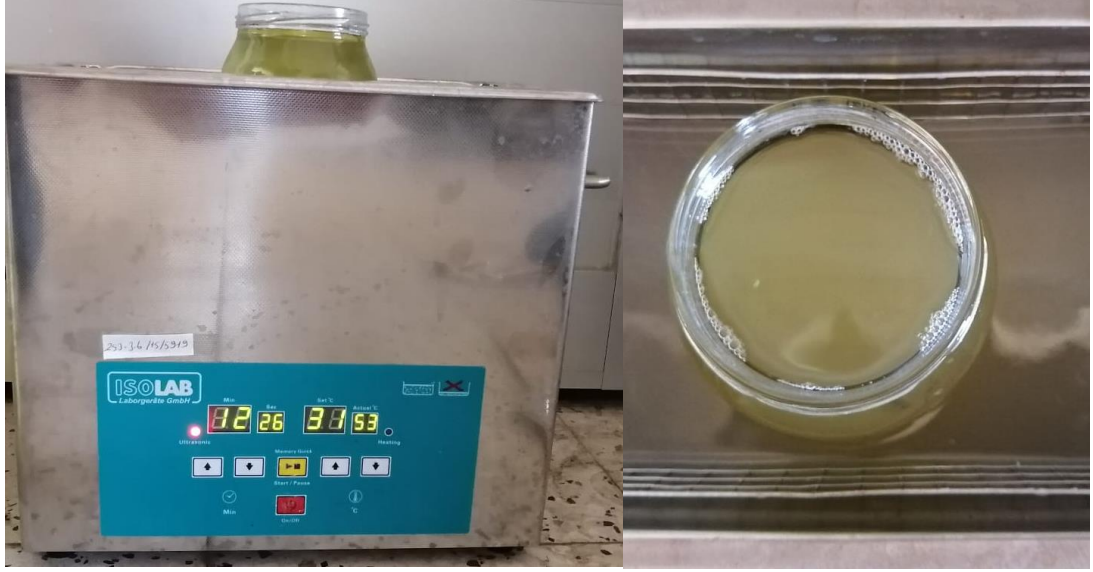
Şekil 4.6. Seryum oksit nanopartikül katkı maddesinin fiziksel görüntüsü

Çizelge 4.4. Seryum oksit nanopartikül katkı maddesinin özellikleri

Toz Boyutu	20nm
Safılık	%99,995
Renk	Açık Sarı
Yüzey Alanı	20-50 m ² /g
Özkütle (Bulk)	0,8-1,1 g/cm ³
Özkütle (True)	7,132 g/cm ³



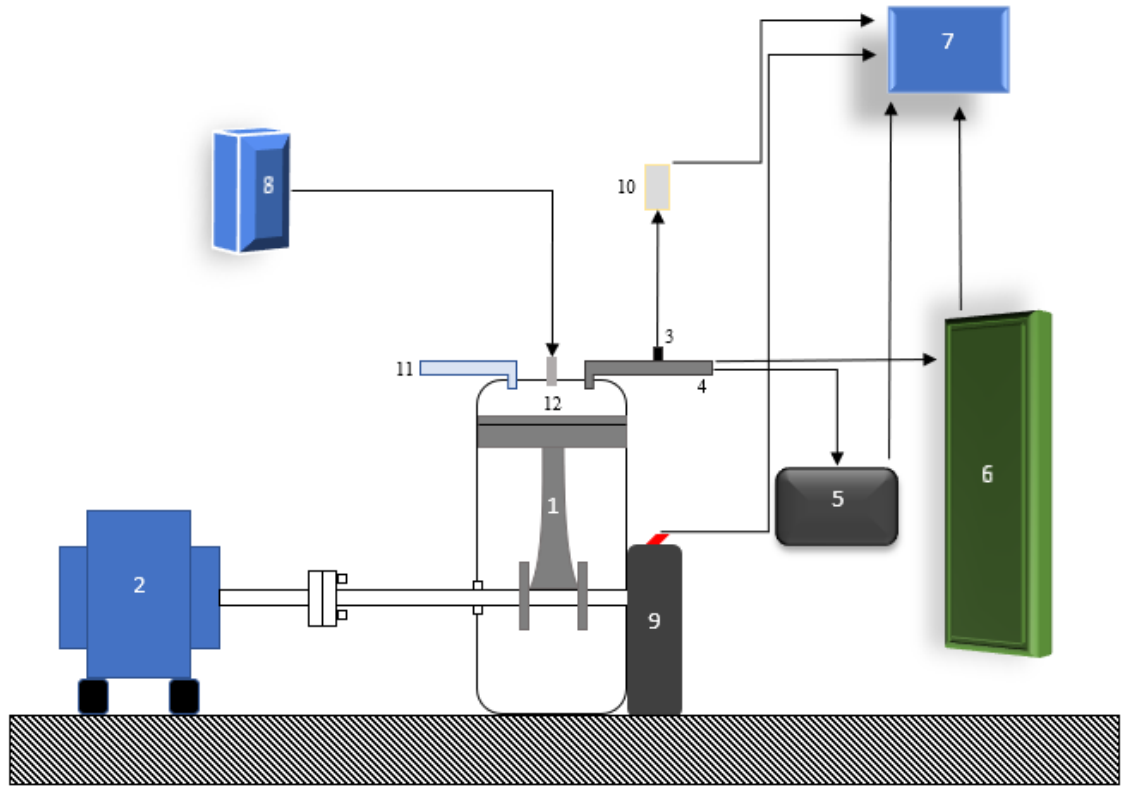
Şekil 4.7. Hassas Terazi.



Şekil 4.8. Ultrasonik karıştırıcıda karıştırılan deney yakıtı.

Deney düzeneğini iki temel ölçüm sistemi oluşturmaktadır. Bu sistemler; motor momentinin, yakıt tüketiminin, egzoz gazı sıcaklığının ve motor yağı sıcaklığının ölçümlerinin yapılmış olduğu motor test sistemi, egzoz gaz analizlerinin yapılmış olduğu emisyon ölçüm sistemidir. Şekil 4.9'da deney düzeneği şematik olarak gösterilmiştir.

Deneyleerde kullanılmış olan ölçüm cihazlarından egzoz emisyon cihazının kalibrasyonu Bosch firması tarafından yapılmıştır. Test motoru katalogta belirtilmiş değer olan 50 saat boyunca çalıştırılmış ve rodaj süresi geçirilmiştir. Bu süreç sonrasında motor yağı ve filtresinin değişikliği yapılmıştır. Özellikleri belirlenen yakıtların motor deneyleri tam yükte ve 7 farklı devirde (1600–1800–2000–2200–2400–2600–2800 dev/dak) gerçekleştirilmiştir. Deney verileri elde edilmeden önce motor çalışma sıcaklığına ulaştırılmış, motor yağı ve emme havası giriş sıcaklığı sabit tutulmuştur. İlk olarak motor biyodizel ile çalışma sıcaklığına ulaşana kadar çalıştırılmıştır. Sonrasında motor momentinin, yakıt tüketiminin, egzoz gazı sıcaklığının ve egzoz emisyonlarının ölçümü yapılarak motor performans ve emisyon karakteristikleri incelenmiştir.



- | | |
|-----------------------------|------------------------|
| 1- Deney Motoru | 7- Bilgisayar |
| 2- Dinamometre | 8- Hassas Terazi |
| 3- Termokupl | 9- Hız Sensörü |
| 4- Egzoz Borusu | 10- Dijital Termometre |
| 5- İş Emisyonu Ölçüm Cihazı | 11- Hava Emme Borusu |
| 6- Emisyon Ölçüm Cihazı | 12- Enjeksiyon |

şekil 4.9. Deney düzeneğinin şematik görünümi.

Çizelge 4.5. Deney yakıtlarının isimlendirilmesi

Yakıt İsmi	Açıklama
B20	%20 Biyodizel Yakıtı + %80 Dizel Yakıtı
B20Ce25	B20 yakıtının içerisinde 25 ppm değerinde CeO ₂ katkı maddesi ilaveli yakıt (11 yakıt için kütleli)
B20Ce50	B20 yakıtının içerisinde 50 ppm değerinde CeO ₂ katkı maddesi ilaveli yakıt
B20Ce75	B20 yakıtının içerisinde 75 ppm değerinde CeO ₂ katkı maddesi ilaveli yakıt
B20Ce100	B20 yakıtının içerisinde 100 ppm değerinde CeO ₂ katkı maddesi ilaveli yakıt

Çizelge 4.6. Deney yakıtlarının özellikleri

Yakıtlar	Kinematik Viskozite (mm ² /s 40°C'de)	Parlama Noktası (°C)	Yoğunluk (kg/m ³ 15°C'de)	Isıl Değer (MJ/kg)
B20	3,00	89	865	39,61
B20Ce25	2,95	86	855	39,71
B20Ce50	2,89	83	843	39,76
B20Ce75	2,78	81	836	39,88
B20Ce100	2,66	76	825	39,93

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

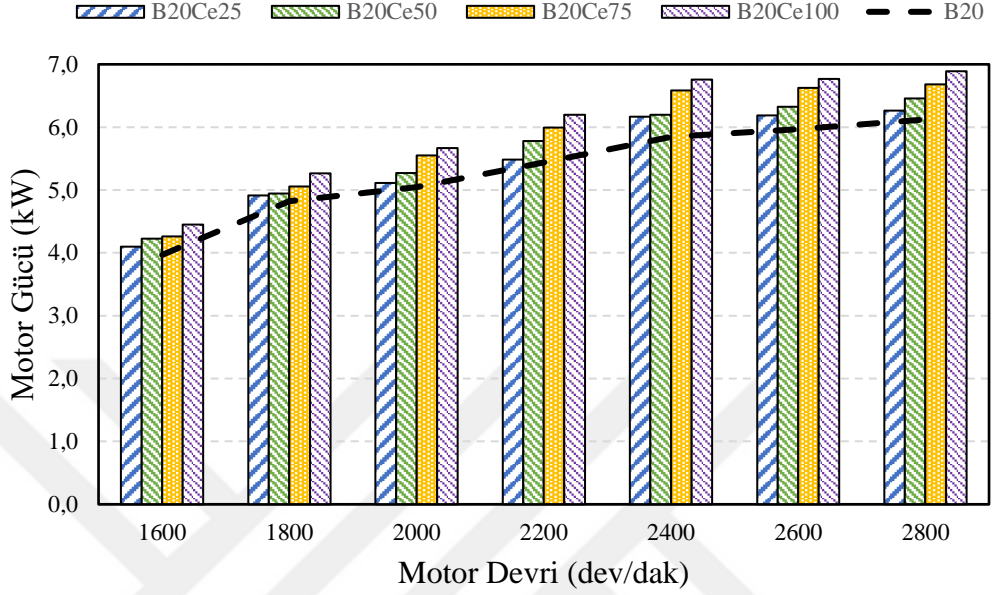
Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada, dizel+biyodizel (B20) yakıtı içerisine CeO₂ katkı maddesinin ilavesinin motor performansına ve emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Çalışma motor tam yükte ve 7 farklı motor devrinde (1600-1800-2000-2200-2400-2600-2800 dev/dak) dizel+biyodizel (B20) yakıtına 25-50-75-100 ppm oranlarında CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilave edilerek gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda ölçümü ve hesaplaması yapılan parametreler motor gücü, motor momenti, termik verim, özgül yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklığı, CO, HC, NO_x ve is emisyonlarıdır.

5.1. PERFORMANS PARAMETRELERİ

5.1.1. Motor Gücü

Şekil 5.1’de B20 yakıtına CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin motor gücüne olan etkisi gösterilmektedir. Alınan sonuçlara göre B20 yakıtında CeO₂ nanopartikül katkı ilavesinin motor gücünü olumlu yönde etkilediği görülmektedir. Tüm devirlerde CeO₂ ilaveli yakıtın motor gücünün B20 yakıtındaki güce kıyasla daha fazla olduğu görülmüştür. Katkı oranı ve motor devri arttıkça gücün yükseldiği gözlemlenmektedir. Maksimum gücün 2800 dev/dak’da B20Ce100 karışımında olduğu görülmektedir. B20 yakıtında maksimum güç değeri 6,12 kW elde edilirken, nanopartikül katkı maddesi ilave edilen B20Ce25, B20Ce50, B20Ce75 ve B20Ce100 yakıtlarında sırasıyla %2,27-%5,45-%9,16 ve %12,58 güç artışı meydana gelmiştir. B20 yakıtının motor gücündeki en yüksek artış oranı B20Ce100 yakıtında 2400 dev/dak’da görülmüştür. Bu artış oranı %15,57 olarak hesaplanmıştır. CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilave edilen yakıtların düşük viskozitesi, iyileştirilmiş atomizasyonu ve bir katalizör olarak tam yanmayı destekleyen oksijen içeriği motor gücünü artırmaktadır.

Yakıtın silindir içerisinde tamamen yanması daha fazla enerji üretimine neden olmaktadır [100-102].

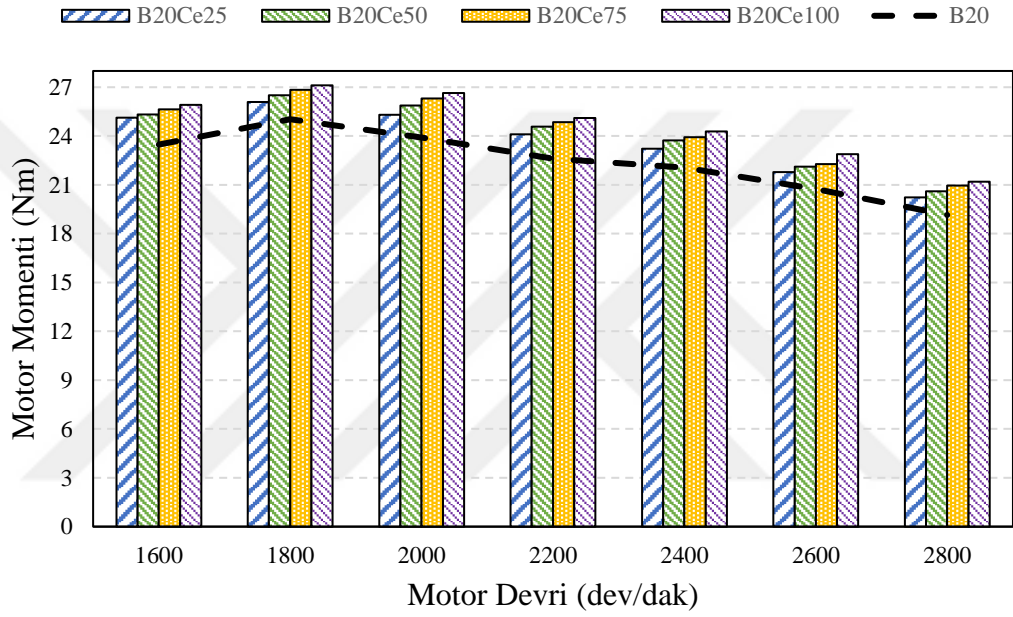


Şekil 5.1. CeO₂ miktarı ve motor devrine göre motor gücündeki değişim.

5.1.2. Motor Momenti

Şekil 5.2’de B20 yakıtına CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin motor momentine olan etkisi gösterilmektedir. B20 yakıtına CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin motor momentini arttırdığı görülmüştür. Üretilen güç, moment ile doğru orantılı olduğundan, üretilen moment için de güç ile aynı eğilim gözlenmiştir [101]. Her devirde CeO₂ konsantrasyonunun artması ile birlikte momentin daha da yükseldiği gözlemlenmiştir. En yüksek motor moment değeri 1800 dev/dak’da elde edilmiştir. B20 yakıtında motor moment değeri 25,03 Nm olurken B20Ce25, B20Ce50, B20Ce75 ve B20Ce100 yakıtlarında sırasıyla 26,08 Nm, 26,50 Nm, 26,83 Nm ve 27,12 Nm olarak elde edilmiştir. B20 yakıtına göre en yüksek motor moment değişimi %11,45 ile 2000 dev/dak’da B20 Ce100 yakıtında olduğu gözlemlenmiştir. Katalizör görevi gören CeO₂ katkı maddesi, yanmamış HC ve CO’nun tam yanmasına neden olan bir zincir reaksiyonunda oksijen molekülü sağlaması nedeni ile moment üzerinde iyileştirici etkiye sahiptir. Yakıtın silindir içerisinde tamamen yanması, daha fazla enerji üretimine dönüştürülecektir. Ayrıca CeO₂ katkı maddesi, artık karbonun

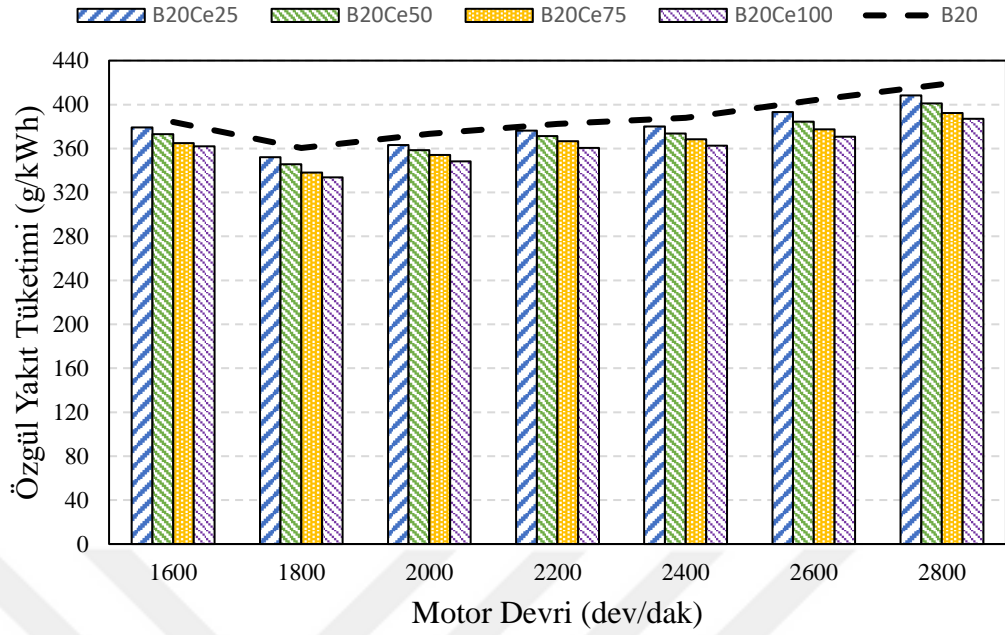
yanmasında ve polar olmayan bileşenlerin silindir duvarlarında çökelme yapmasını önlemede önemli bir role sahiptir. Yakıtın içerisindeki nano-katalizör, tortuları parçalamak, ayrıştırmak ve yeniden oluşumunu önlemek için patlayıcı özelliği olan milyonlarca nano-küme üretir. Böylelikle CeO_2 diğer türevlerinin yanı sıra karbon ve demir tortularının oluşumunu engellemektedir. Sonuç olarak motorun hareketli parçalarında sürtünmenin azalmasına, dolayısıyla yakıt tüketiminin azalmasına, güç ve momentin artmasına neden olur [101].



Şekil 5.2. CeO_2 miktarı ve motor devrine göre motor momentindeki değişim.

5.1.3. Özgül Yakıt Tüketimi

Özgül yakıt tüketimi, güç başına tüketilen yakıt miktarını gösterir. İdeal yanma koşullarından olmadığı yanma şartlarında yakıt tüketimi daha fazla olmaktadır [101]. Enjeksiyon sistemi, yoğunluk, viskozite, alt ısıl değer, yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri özgül yakıt tüketiminde büyük role sahiptir [3]. Şekil 5.3’de B20 yakıtına CeO_2 nanopartikül katkı maddesi ilavesinin özgül yakıt tüketimine olan etkisi verilmiştir.



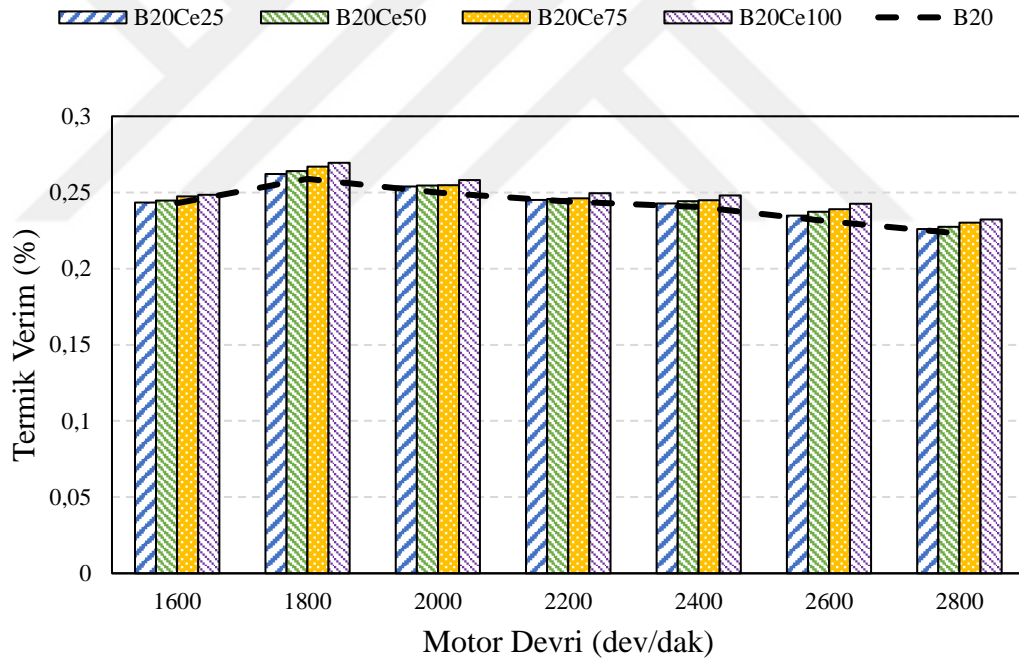
Şekil 5.3. CeO₂ miktarı ve motor devrine göre özgül yakıt tüketimindeki değişim.

Alınan sonuçlara göre maksimum motor momentinin elde edildiği 1800 dev/dak'dan sonra artan motor devriyle özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Yakıt içerisinde CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin bu özgül yakıt tüketimi değerlerini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Nanopartikül katkı oranının artmasıyla birlikte ÖYT değerlerinin daha da azaldığı gözlemlenmiştir. Minimum ÖYT 1800 dev/dak'da elde edilmiştir. B20 yakıtında 360,45 g/kWh olurken B20Ce25, B20Ce50, B20Ce75 ve B20Ce100 yakıtlarında sırasıyla %2,33-%4,07-%6,29 ve %7,44 azalma meydana gelmiştir. B20 yakıtına kıyasla en yüksek değişim oranının ise %8,18 ile 2600 dev/dak'da B20Ce100 karışımında olduğu gözlemlenmiştir. CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilaveli yakıtların daha iyi atomizasyonu sayesinde özgül yakıt tüketimi azalmaktadır [102]. Yüksek sıcaklıklarda CeO₂ ayrışır ve aktif seryum atomlarını serbest bırakır. Bu da hidrojen oluşumuna yol açabilir ve yanma sürecini iyileştirir [103]. Benzer bir şekilde seryum atomlarının açığa çıkması ile birlikte silindir duvarlarında yanmamış karbon kalıntılarının oluşumu azalır. Böylelikle piston ve silindiler arasında sürtünme azalır, motor verimli çalışmaya başlar ve özgül yakıt tüketimi azalır [101,104-106]. Yüksek viskoziteli yakıtlar enjeksiyon sırasında daha büyük damlacıklar oluşturma eğilimindedir. Bu da zayıf yanmaya neden olur. CeO₂ nanopartikül katkı maddesi

karışımın viskozitesini düşürür. Böylelikle yüksek katalitik aktivite sergileyen seryum oksit daha uzun ve daha eksiksiz yanmayı teşvik eder [106-107].

5.1.4. Termik Verim

Biyodizel yüksek yoğunluğa sahip bir yakıttır. Düşük enjeksiyon basınçlarında yakıt damlacıkları büyük sprey oluşumunu meydana getirir ve atomizasyonun kötü olmasına sebep olmaktadır. Yakıt içerisine nanopartiküllerin ilave edilmesi yoğunluğu ve viskoziteyi olumlu yönde etkilemektedir. Daha yüksek yüzey alanı/hacim oranı sayesinde ısı transferi artmakta ve yanma iyileşmekte, böylelikle termik verim artmaktadır [108]. Şekil 5.4'te B20 yakıtına CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin termik verime olan etkisi görülmektedir.



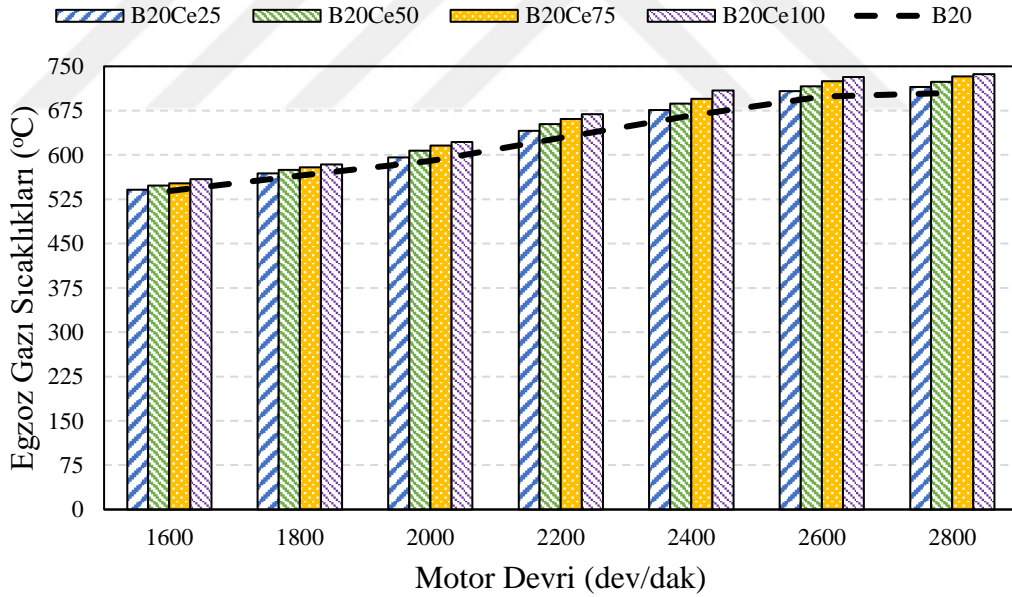
Şekil 5.4. CeO₂ miktarı ve motor devrine göre termik verimdeki değişim.

B20 yakıtı içerisine CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin artması ile birlikte termik verimin arttığı gözlemlenmiştir. 1800 dev/dak'da B20 yakıtında termik verim %0,25 olurken B20Ce25, B20Ce50, B20Ce75 ve B20Ce100 yakıtlarında ki artış oranı sırasıyla %1,21-%1,94-%3,08 ve %4,1 olmuştur. B20 yakıtına göre termik verimde ki en büyük artış oranı %4,94 ile 2600 dev/dak ve B20Ce100 yakıt karışımında elde edilmiştir. CeO₂ nanopartikül katkı ilavesi geliştirilmiş atomizasyon ve geniş yüzey

alanı/hacim oranı sayesinde yüksek katalitik aktivite sergiler, buharlaşmayı iyileştirir ve yakıtın hava ile daha iyi karıştırılmasını sağlar. İkincil atomizasyon olarak adlandırılan yakıt damlacıklarının küçük ve ince hale dönüşmesini sağlar. Bu sayede termik verim artmaktadır. [105,108-109]. Yakıtta bulunan CeO_2 nanopartikülleri daha uzun ve daha eksiksiz bir yanmayı teşvik etmektedir. Çünkü CeO_2 bir oksijen tamponu görevi görür ve böylece verimi artırır [106]. Ayrıca yakıt buharlaşması sırasında silindirden ısı aldığı için hava-yakıt karışımını sıkıştırmak için gereken çalışma azalır ve bu durum ısıl verimi arttırmaktadır [110].

5.1.5. Egzoz Gazı Sıcaklığı

Egzoz gazı sıcaklıkları motor silindirinin içerisinde meydana gelen yanmanın kalitesinin göstergesidir [108,111]. Şekil 5.5'te B20 yakıtına CeO_2 nanopartikül katkı maddesi ilavesinin egzoz gazı sıcaklıklarına olan etkisi verilmiştir.



Şekil 5.5. CeO_2 miktarı ve motor devrine göre egzoz gazı sıcaklıklarındaki değişim.

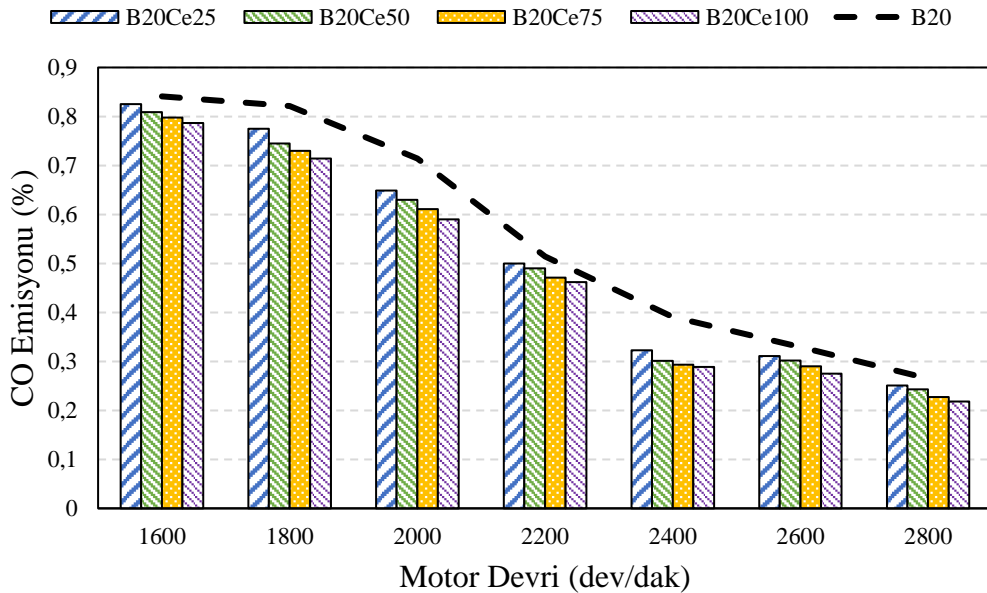
Tüm test yakıtlarında motor devrinin artışıyla egzoz gazı sıcaklıklarının yükseldiği görülmüştür. Yakıt içerisine ilave edilen CeO_2 nanopartikül katkı maddesi oranının artmasıyla egzoz gazı sıcaklıklarının daha da yükseldiği gözlemlenmiştir. Egzoz gazı sıcaklığı maksimum momentin elde edildiği 1800 dev/dak'da ve B20 yakıtında $565\text{ }^{\circ}\text{C}$ olarak elde edilmiştir. Tüm motor test devirlerinde maksimum egzoz gazı sıcaklığının

elde edildiği 2800 dev/dak'da B20 yakıtına göre B20Ce25, B20Ce50, B20Ce75 ve B20Ce100 yakıtlarında egzoz gazı sıcaklığı sırasıyla %1,41-%2,69-%3,97 ve %4,53 artış göstermiştir. B20 yakıtına CeO₂ ilavesi yakıt enjeksiyonunun iyileştirilmesini sağlar. CeO₂ nanopartikül maddesi tarafından oksijenin daha yüksek kullanımı yanma sürecini destekler ve egzoz gazı sıcaklıklarını artırır [98,111-112].

5.2. EGZOZ EMİSYON SONUÇLARI

5.2.1. CO Emisyonu

CO emisyonu, bir yakıtın oksijen içeriğinden, karbon içeriğinden, yakıtın düzgün yanmamasından ve yetersiz karıştırmadan kaynaklanmaktadır [113-114]. Yanma sırasında oksijen düşük ise eksik yanmaya ve dolayısıyla daha fazla CO oluşumuna sebep olmaktadır. Yanma düzgün bir şekilde gerçekleşirse CO, CO₂'ye dönüşecektir. Eğer düzgün yanma gerçekleşmezse, hava eksikliğinden veya düşük silindir içi sıcaklık nedeniyle CO emisyonu meydana gelecektir [115]. Şekil 5.6'da B20 yakıtına CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin CO emisyonuna olan etkisi verilmiştir.



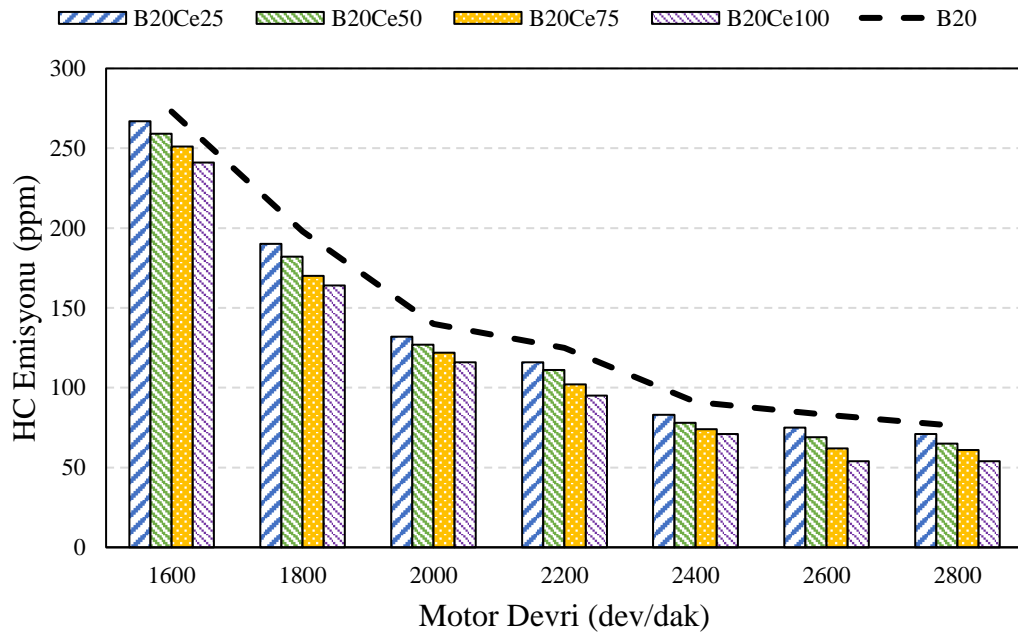
Şekil 5.6. CeO₂ miktarı ve motor devrine göre CO emisyonundaki değişim.

Motor devrinin artmasıyla birlikte CO emisyonları düşme eğilimi göstermiştir. B20 yakıtı içerisine ilave edilen CeO₂ nanopartikül katkı maddesi kullanımı tüm devirlerde

nanopartikül katkı konsantrasyonunun artmasıyla birlikte bu değerlerdeki düşüşün devam ettiği gözlemlenmiştir. Maksimum momentin elde edildiği 1800 dev/dak'da B20 yakıtına göre B20Ce25, B20Ce50, B20Ce75 ve B20Ce100 yakıtlarında CO emisyonlarında ki azalma sırasıyla %5,60-%9,25-%11,08 ve %13,03 olmuştur. CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilaveli test yakıtlarında, hava-yakıt karışımının derecesi ve düzgün yanma nedeni ile CO emisyonlarını azalmaktadır [116]. Genel olarak yüksek oksijen tutma kapasitesi ve yakıt atomizasyonunda ki kritik rolü ile CeO₂ son derece verimli bir yakıt katalizörü olarak hareket edebilir [102]. Yakıt yanma odasında yandığında CeO₂ nanopartikül katkı maddesi oksijeni iki şekilde süpürmektedir. Birincisi CO emisyonunu oksitlemek için oksijen sağlamakta, ikincisi ise oksijeni tutarak yanma odasında düşük basınca neden olmaktadır [102,107].

5.2.2. HC Emisyonu

HC emisyonları, yakıtın eksik yanması ve yanma odası duvarlarının yanında alevin sönmesi sonucu meydana gelmektedir [115]. HC emisyonlarının oluşmasındaki bir diğer neden düşük silindir basıncıdır. Oksijen bakımından zengin yakıt karışımları HC emisyonlarını azaltmaktadır [99]. Şekil 5.7'de B20 yakıtına CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin HC emisyonlarına olan etkisi gösterilmektedir.

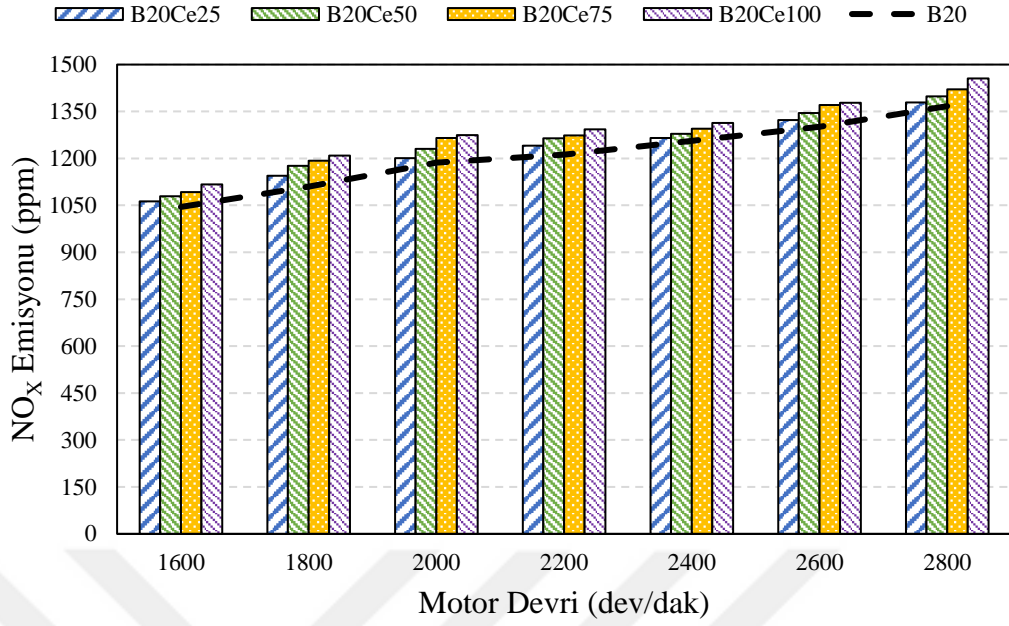


Şekil 5.7. CeO₂ miktarı ve motor devrine göre HC emisyonundaki değişim.

Alınan sonuçlara göre devir arttıkça HC emisyonlarında azalma olduğu görülmüştür. B20 yakıtına CeO₂ nanopartikül ilavesi ile HC emisyonlarında ki azalmanın arttığı gözlemlenmiştir. Maksimum momentin elde edildiği 1800 dev/dak'da B20 yakıtında HC emisyonu 198 ppm olurken B20Ce25, B20Ce50, B20Ce75 ve B20Ce100 yakıtlarında sırasıyla 190, 182, 170 ve 164 ppm olduğu görülmüştür. En düşük HC emisyonu seviyesi maksimum gücün elde edildiği 2800 dev/dak'da elde edilmiştir. B20 yakıtına göre B20Ce25, B20Ce50, B20Ce75 ve B20Ce100 yakıtlarında ki azalma sırasıyla %6,57-%14,47-%19,73 ve %28,4 olmuştur. CeO₂ nanopartikül katkı maddesi kullanımı ile birlikte daha az HC emisyonları üretilmektedir. Bunun nedeni düşük viskoziteden kaynaklanan büyük yakıt damlacıklarının yanı sıra nanopartikül katkı maddesinin yüksek katalitik aktivitesi ve geliştirilmiş yanma özellikleridir [99,115-116]. Yanma odasındaki CeO₂ nanopartikül katkı maddesinin varlığı yoğun ikincil atomizasyona, iyileştirilmiş yakıt dağılımına ve dolayısıyla da daha az HC emisyonuna neden olmaktadır [117]. CeO₂ nanopartikül katkı maddesi, hava ve yakıtla ısının etkin bir şekilde taşınmasına yardımcı olmakta ve daha iyi ısı transferi sağlamaktadır. Aynı zamanda CeO₂ bir oksidasyon katalizörüdür. Karbon yanma aktivasyon sıcaklığını düşürmekte ve böylece hidrokarbon oksidasyonunu arttırarak tam yanmayı teşvik etmektedir [108].

4.2.3. NO_x Emisyonu

NO_x emisyonu yüksek sıcaklıklarda oksijen ve nitrojenin reaksiyonundan kaynaklanır. Reaksiyon sıcaklığının ve oksijen içeriğinin artmasıyla birlikte artar. Ayrıca hava/yakıt karışım oranı, yakıt karışımının eksik yanması, karbonun yanma odası duvarlarında, piston başında ve valflerde birikmesi yanma odası içerisindeki sıcaklığı arttırır ve böylelikle NO_x emisyonuna neden olur [102,118-119]. Şekil 5.8'de B20 yakıtına CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin NO_x emisyonuna olan etkisi verilmiştir.



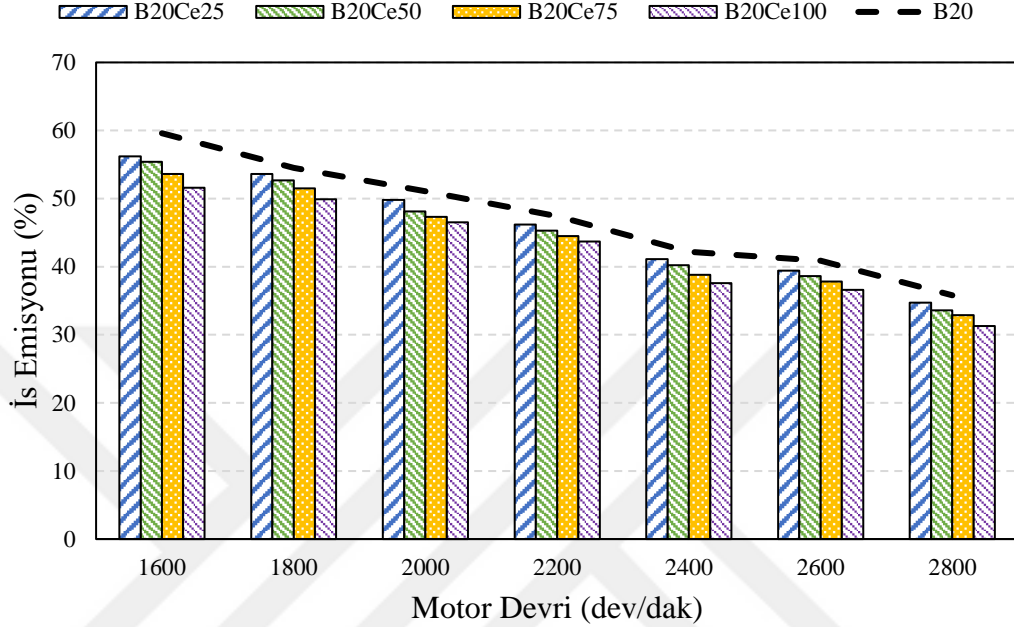
Şekil 5.8. CeO₂ miktarı ve motor devrine göre NO_x emisyonundaki değişim.

Tüm test yakıtlarında motor devrinin artmasıyla NO_x emisyonlarının arttığı görülmektedir. 1800 dev/dak'da B20 yakıtında NO_x emisyonu 1110 ppm olurken B20Ce25, B20Ce50, B20Ce75 ve B20Ce100 yakıtlarında 1145, 1176, 1193 ve 1209 ppm elde edilmiştir. CeO₂ nanopartikül ilave edilen yakıt karışımlarının yüksek oksijen içeriğinin yanı sıra yanma odasındaki yüksek sıcaklıktan dolayı NO_x emisyonlarının arttığı düşünülmektedir. Ayrıca CeO₂ katkı maddesinin oksidasyon sürecini iyileştiren katalitik etkisinin de NO_x emisyonunu artırması muhtemeldir [99,118,119]. NO_x emisyonlarının oluşumu oksijenin mevcudiyetine ve silindir sıcaklığına bağlıdır. CeO₂ nanopartikül katkı maddesinin atomizasyonu iyileştirmesi ve sahip olduğu oksijen içeriği sebebiyle daha yüksek silindir gazı sıcaklığına ve dolayısıyla daha yüksek egzoz gazı sıcaklığına neden olmaktadır. Böylelikle NO_x emisyonları artmaktadır [108].

5.2.4. İS Emisyonu

Egzoz gazında bulunan is miktarı, karışımın oluşum şekline, yanma işlemine, oksijenin mevcudiyetine ve yanma başlangıcından önce püskürtülen yakıtın miktarına bağlıdır [114]. Egzoz gazlarında is bulunması yakıtın zayıf yandığının göstergesidir [117]. Ayrıca dizel motorlarda HC'lerin eksik yanması nedeniyle egzozdaki kurum

parçacıkları birleşerek daha büyük hale gelir. Bu da is emisyonunu arttıran bir diğer nedendir [118]. Şekil 5.9’da B20 yakıtına CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin is emisyonuna olan etkisi verilmiştir.



Şekil 5.9. CeO₂ miktarı ve motor devrine göre is emisyonundaki değişim.

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre motor devri arttıkça is emisyonlarının azaldığı görülmüştür. B20 yakıtı içerisinde CeO₂ nanopartikül katkı miktarının artmasıyla da is emisyonlarının azaldığı görülmüştür. 1800 dev/dak’da B20 yakıtına göre nanopartikül ilave edilen B20Ce25, B20Ce50, B20Ce75 ve B20Ce100 yakıtlarında is emisyonlarında ki azalma sırasıyla %1,65-%3,30-%5,50 ve %8,44 olduğu görülmüştür. B20 yakıtına göre is emisyonlarındaki maksimum azalma 1600 dev/dak’da B20Ce100 yakıtında %13,42 olmuştur. CeO₂ nanopartikül ilaveli yakıt karışımları iyileştirilmiş buharlaşma oranı, daha iyi tutuşma ve daha iyi yanma özellikleri nedeniyle daha az is emisyonu salgılar [109,116,120]. Ayrıca CeO₂ nanopartikül katkı maddesi bir oksijen tamponu görevi görür, ilave edildikleri yakıtın hava/yakıt oranındaki oksijeni zenginleştirerek kurum partiküllerinin oksitlenmesine ve böylece tam yanmaya yardımcı olur [108].

BÖLÜM 6

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Deneysel olarak gerçekleştirilmiş olan bu çalışmada, dizel yakıtı içerisine pamuk yağından transesterifikasyon yöntemi ile elde edilen biyodizel (B20) ve CeO_2 nanopartikül katkı maddesi ilave edilerek tek silindirli dört zamanlı bir dizel motorda farklı motor devirlerde testler yapılmıştır. CeO_2 nanopartikül katkı maddesi 25,50,75 ve 100 ppm oranlarında ultrasonik karıştırıcı ile dizel+biyodizel (B20) yakıtına homojen bir şekilde karıştırılmıştır. CeO_2 nanopartikül katkı maddesinin motor performansı ve emisyonlarına olan etkisi deneysel olarak gözlemlenmiş ve incelenmiştir.

- CeO_2 nanopartikül katkı maddesinin dizel+biyodizel yakıtı içerisine katılmasıyla birlikte katalizör olarak tam yanmayı destekleyen oksijen içeriği, düşük viskozite, yüksek alt ısı değer ve geliştirilmiş atomizasyon motor gücünü olumlu yönde etkilemiştir. Maksimum motor gücü 2800 dev/dak'da B20 yakıtına 100 ppm oranında CeO_2 nanopartikül katkı maddesinin ilave edilmesiyle elde edilen B20Ce100 yakıtında %12,58 artış ile 6,89 kW olarak elde edilmiştir.
- Üretilen güç moment ile doğru orantılıdır. Bundan dolayı üretilen moment için güç ile aynı eğilimin olduğu gözlemlenmiştir. Katalizör görevi gören CeO_2 nanopartikül katkı maddesi, yakıt damlacıklarının oksijenle buluşmasını ve tam yanmayı sağlamıştır. Maksimum motor momenti B20 yakıtına 100 ppm oranında CeO_2 nanopartikül katkı maddesinin ilave edilmesiyle elde edilen B20Ce100 yakıtında %8,35 artış ile 27,12 Nm olarak elde edilmiştir.
- CeO_2 nanopartikül katkı maddesinin oranının artmasıyla birlikte özgül yakıt tüketimi değerleri düştüğü gözlemlenmiştir. Karışım viskozitesini düşüren ve

daha iyi atomizasyon sağlayan nanopartiküllerin ilavesi ile birlikte daha uzun ve daha eksiksiz bir yanma geręekleşmiş, böylelikle özgül yakıt tüketimi azalmıştır. Ayrıca alt ısıl değerdeki artış özgül yakıt tüketimini olumlu yönde etkilemiştir. Minimum özgül yakıt tüketimi değeri maksimum momentin elde edildiği 1800 dev/dak'da B20 yakıtına 100 ppm oranında CeO₂ nanopartikül katkı maddesinin ilave edilmesiyle elde edilen B20Ce100 yakıtında %7,44 azalma ile 333,63 g/kWh olarak elde edilmiştir.

- CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesi arttıkça termik verimin de arttığı gözlemlenmiştir. Daha yüksek katalitik aktivite sergileyen ve tam yanmayı destekleyen CeO₂ nanopartikül katkı ilavesi ile verimde artış elde edilmiştir. Alt ısıl değer attığı için termik verimde de artışın olduğu gözlemlenmiştir. Maksimum termik verim maksimum momentin elde edildiği 1800 dev/dak'da B20 yakıtına 100 ppm oranında CeO₂ nanopartikül katkı maddesinin ilave edilmesiyle elde edilen B20Ce100 yakıtında %4,1 artış ile %26,96 olarak elde edilmiştir.
- CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesinin artmasıyla birlikte egzoz gazı sıcaklıklarında artış elde edilmiştir. CeO₂ nanopartikül katkı maddesi yanma sürecini destekleyen oksijen içeriği sebebiyle egzoz gazı sıcaklıklarını arttırmıştır. Maksimum egzoz gazı sıcaklığı maksimum gücün elde edildiği 2800 dev/dak'da B20 yakıtına 100 ppm oranında CeO₂ nanopartikül katkı maddesinin ilave edilmesiyle elde edilen B20Ce100 yakıtında %4,53 artış ile 737 °C olarak elde edilmiştir.
- Dizel+biyodizel karışımına CeO₂ nanopartikül katkı maddesi ilavesi ile emisyonlarda önemli ölçüde iyileşme elde edilmiştir. Daha fazla oksijen içeriği ile tam yanma desteklenmekte ve atomizasyondaki kritik rolü ile CeO₂ nanopartikülleri verimli bir yakıt katalizörüdür. Böylelikle CO, HC ve is emisyonunda azalmaların olduğu görülmüştür. Ayrıca alt ısıl değerdeki artış ile birlikte bu emisyonların olumlu yönde etkilendikleri görülmüştür. CeO₂ nanopartikül konsantrasyonu arttıkça bu emisyonlarda ki azalışın devam ettiği gözlemlenmiştir. B20 yakıtına 100 ppm oranında CeO₂ nanopartikül katkı

maddesinin ilave edilmesiyle elde edilen B20Ce100 yakıtında 2800 dev/dak'da CO emisyonunda %17,74 azalma, 2600 dev/dak'da HC emisyonunda %34,94 azalma ve 2800 dev/dak'da is emisyonunda %12,57 azalma elde edilmiştir.

- CeO₂ nanopartikül katkı maddesinin dizel+biyodizel yakıt karışımına ilave edilmesi NO_x emisyonlarında artışa sebep olmuştur. Yanma sürecini iyileştiren CeO₂ nanopartikül katkı maddesi, içerdiği fazla oksijen ve artan ısı değer nedenleriyle silindir içi yanma sıcaklıklarını ve böylelikle egzoz gazı sıcaklığını arttırmaktadır. Bunun sonucu olarak NO_x emisyonlarında artışın olduğu gözlemlenmiştir. CeO₂ ilaveli yakıt karışımlarında minimum NO_x emisyonunun 1600 dev/dak'da 25 ppm ilaveli B20Ce25 yakıtında elde edilmiştir. Maksimum NO_x emisyonunun ise 2800 dev/dak'da B20 yakıtına 100 ppm oranında CeO₂ nanopartikül katkı maddesinin ilave edilmesiyle elde edilen B20Ce100 yakıtında elde edilmiş ve %6,51 oranında artışın olduğu görülmüştür.

Yapılan deneysel çalışma sonucunda şu öneriler yapılabilir:

- Kullanılmış olan CeO₂ nanopartikül katkılı yakıt karışımlarının hareketli parçalara olan etkileri üzerine inceleme yapılabilir.
- Farklı oranlarda dizel+biyodizel yakıt karışımı ile CeO₂ nanopartikül katkı maddesinin karışımının performans ve emisyon parametreleri incelenebilir.
- Motor yüklerinin daha farklı ve/veya sayısının daha fazla olmasının üzerine deneysel çalışmalar yapılabilir ve etkileri incelenebilir.
- Farklı nanopartikül boyutlarının motor performansına ve emisyonlarına olan etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

1. Özdemir, Z.Ö., ve Mutlubaş, H., “Biyodizel üretim yöntemleri ve çevresel etkileri”, *Kirklareli University Journal of Engineering and Science*, 2: 129-143 (2016).
2. İnternet: TMMOB Makina Mühendisleri Odası, “Türkiye Enerji Görünümü 2021”, https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/gonderi_dosya_ekleri/TegNisan2021Sunumu_0.pdf (2021)
3. Çelik, M., “Biyodizel yakıt özelliklerinin motor performansı ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2015).
4. Syafiuddin, A., Chong, J.H., Yuniarto, A., ve Hadibarata, T., “The current scenario and challenges of biodiesel production in Asian countries: A review”, *Bioresource Technology Reports*, 12 (2020).
5. Sarıbiyık, Y.O., ve Kılıç, R., “Alternatif yakıt biyogaz potansiyelinin model bir ilçe için araştırılması”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 25: 192-197 (2021).
6. Çoban, A., “Biyodizel karışımları ile çalışan bir dizel motorunda performans, NO ve is emisyonlarını etkileyen faktör seviyelerinin taguchi yöntemi ile belirlenmesi”, *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 9-2: 229-237 (2021).
7. Qadeer, M.U., Ayoub, M., Komiyama, M., Daulatzai, K.M.U., Mukhtar, A., Saqib, S., Ullah, S., Qyum, M.A., Asif, S., ve Bokhari, A., “Review of biodiesel synthesis technologies, current trends, yield influencing factors and economical analysis of supercritical process”, *Journal of Cleaner Production*, 309 (2021).
8. Behçet, R., Aydın, S., ve Çakmak, A., “Bitkisel ve hayvansal atık yağlardan üretilen biyodizellerin tek silindirli bir dizel motorda yakıt olarak kullanılması”, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(4): 55-60 (2012).
9. Anwar, M., “Biodiesel feedstocks selection strategies based on economic, technical, and sustainable aspects”, *Fuel*, 283:0016-2361 (2020).
10. Aydın, M., Afşar, M., ve Çelik, M. B., “Tek silindirli bir dizel motorda atık biyodizel kullanımının motor performansı ve emisyonlarına etkisi” *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 21(5): 871-878 (2017).
11. Resmi Gazete, 5 Haziran 2020 tarih 31146 sayı.

12. Shekofteh, M., Gundoshmian, T.M., Jahanbakhshi, A., ve Heidari-Maleni, A., “Performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with functionalized multi-wall carbon nanotubes (MWCNTs- OH) and diesel-biodiesel-bioethanol blends”, *Energy Reports*, 6:1438-1447 (2020).
13. Sajeevan, A. C., ve Sajith, V., “Diesel engine emission reduction using catalytic nanoparticles: an experimental investigation”, *Journal of Engineering*, 2013 (2013)
14. Karthikeyan S., ve Prathima A., “Microalgae biofuel with CeO₂ nano additives as an ecofriendly fuel for CI engine”, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 39:13, 1332-1338 (2017).
15. Ranaware, A. A., ve Satpue S.T., “Correlation between Effects of Cerium Oxide Nanoparticles and Ferrofluid on the Performance and Emission Characteristics of a C.I. Engine”, *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 55-59 (2013).
16. Sathiyamoorthi, R., Puviyarasan, M., ve Kumar, B., “Effect of CeO₂ nano additive on performance and emission characteristics of diesel engine fuelled by neem oil-biodiesel”, *International Journal of Chemical Science*, 14(S2), 473-484 (2016).
17. Vellaiyan S., “Effect of cerium oxide nanoadditive on the working characteristics of water emulsified biodiesel fueled diesel engine: an experimental study”, *Thermal Science*, 24(1A), 231-241 (2020).
18. Patil D. S., Chopade, D.A., ve Kumbhalkar, M.A., “Experimental investigation of effect of cerium oxide nanoparticles as a fuel additive in cottonseed biodiesel blends”, *Journal of Mechanical Engineering*, 1:1-12 (2018).
19. Narasiman, V., Jeyakumar, S., ve Mani, M., “Experimental investigation of DI diesel engine performance with oxygenated additive and SOME Biodiesel” *Journal of Thermal Science and Technology*, 10(1) (2015).
20. Venu, H., ve Appavu, P., “Al₂O₃ nano additives blended *polanga biodiesel* as a potential alternative fuel for existing unmodified DI diesel engine”, *Fuel*, 279 (2020).
21. An, H., Maghbouli, A., Li, J., Chou, S.K., ve Chua, K.J., “Performance, combustion and emission characteristics of biodiesel derived from waste cooking oils”, *Applied Energy*, 112:493-499 (2013).
22. Muralidharan K., ve Vasudevan D., “Performance, emission and combustion characteristics of a variable compression ratio engine using methyl esters of waste cooking oil and diesel blends” *Applied Energy*, 88:3959-3968 (2011).
23. Praveena, V., Martin, M.L.J., ve Geo, V.E., “Experimental characterization of CI engine performance, combustion and emission parameters using various metal oxide nanoemulsion of grapeseed oil methyl ester”, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 139:3441-3456 (2020).

24. Yazar, O., “İçten yanmalı motorların yanma, emisyon ve motor performans değerlerini hesaplayabilen yazılım programının geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin (2020).
25. Çetiner, B.S., “Dizel motorlarda silindir içi yanma modeli”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2018).
26. Aktaş, F., “Bir dizel motorda çift yakıt olarak propan-dizel kullanımının yanma rejimine, motor performansına ve emisyon değerlerine olan etkilerinin sayısal olarak incelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2021).
27. Aktaş, A., ve Sekmen, Y., “Biyodizel ile çalışan bir dizel motorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1):199-206 (2008).
28. Uyumaz, A., Boz, F., ve Baydır, Ş.A., “Direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda atık zeytinyağı biyodizelinin yanma, performans ve emisyon karakteristikleri”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6(1):55-65 (2018).
29. Yeşilyurt, M.K., Arslan, M., ve Eryılmaz, T., “Biyodizel-dizel yakıt karışımlarına etanol katılmasının performans, yanma ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin deneysel incelenmesi”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 38(2):129-150 (2018).
30. Aliustaoğlu, S., “Bir dizel motorunda LPG-dizel çift yakıt karışımları+EGR'nin performans ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Sakarya (2019).
31. Ergen, G., “Ön ısıtma uygulanarak kullanılan biyodizel yakıtının motor performans ve emisyonlarına etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya (2006).
32. Okcu, M., “Reaktivite kontrollü sıkıştırma ateşlemeli motorlarda düşük sıcaklıklı yanmanın yanma karakteristikleri ve kirletici emisyonlara etkilerinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi”, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ (2021).
33. Afşar, M., “Bir dizel motorda atık biyodizel kullanımının yanma karakteristiklerine etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2015).
34. Özcan, C., “Dizel yakıtı ile birlikte LPG kullanan dual yakıtlı bir dizel motorun verimlilik performans ve emisyon yönünden deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2018).

35. Yılmaz, H., “Dizel motorlarda püskürtme stratejisinin performans ve emisyonlara etkisi” Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2019).
36. Yanbuloğlu, B., “Dizel bir motorda dizel, piroliz yağı ve bütanol yakıt karışımının motor performans ve emisyonlarına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Karabük (2020).
37. Uzun, S., “Atık lastikten elde edilen pirolitik yakıtın motor performans ve emisyonlarına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Karabük (2020).
38. Yaşar, M.F., “Metan katkılı bir dizel motorunun performans ve emisyon karakteristiklerinin tek boyutlu modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Sakarya (2020).
39. Erol, K., “Atık kızartma yağlarından elde edilen biyodizelin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyonkarahisar (2019).
40. Sarıkoç, S., “Biyodizel-bütanol-dizel karışımlarına hidrojen ve titanyum dioksit ilavesinin performans ve emisyon parametrelerine etkilerinin araştırılması”, Doktora Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri (2019).
41. Azi, H., “Bir dizel motorda hint yağı biyodizeli ve dietil eter kullanımının motor performansına ve emisyonlara etkisinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman (2017).
42. Hanedar, E., “Pirolitik yakıt ve alkol katkılarının dizel bir motorda yanmaya ve emisyonlara olan etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Düzce (2021).
43. Duran, G., “Etanol katkılı mikroalg yağının bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ (2017).
44. Çavgun, E., “Çift yakıtlı bir dizel motorda sıkıştırma oranının LPG kullanımına etkilerinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman (2019).
45. Beytekin, A., “Demir klorür ($FeCl_3$) katkılı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının bir dizel motorda kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman (2019).
46. Çoştur, R., “Pirolize edilmiş lastik yağı ve katkı maddesi kullanılarak elde edilen yakıtın tek silindirli dizel motor performans ve emisyonlara etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2019).

47. Eskici, B., “Dizel bir motorda biodizel yakıt kullanımının yanma prosesi ve motor tribolojisi üzerindeki etkilerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas (2019).
48. Kaya, C., “Biyodizelin gemi dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanımının deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2019).
49. Gürkan, Y., “Etanol katkılı kanola biyodizelinin bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin deneysel araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ (2019).
50. Aydın, A., “Bir dizel motorlu jeneratörde kısmi LPG kullanımının motor performansı, yanma ve egzoz emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman (2017).
51. Yüksel, S. M., “Aspir yağı metil ve etil esterlerinin dizel motorlarda performans, yanma ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman (2017).
52. Tosun, Z., “Propanolün bir dizel motorda aspir biyodizel kullanımına etkilerinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman (2017).
53. Gülmez, Y., “Dizel makinelerde yakıt püskürtme değişkenleri ile egzoz salımı ilişkisi üzerine deneysel bir araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir (2017).
54. Çelik, M., “Dizel motorlarda performans ve egzoz emisyonlarının n-hexadecane katkı maddesi ile iyileştirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 21(3):701-706 (2018).
55. Mujtaba, M.A., Kalam, M.A., Masjuki, H.H., Gul, M., Soudagar, M.E.M., Ong, H.C., Ahmed, W., Atabani, A.E., Razzaq, L., ve Yusoff, M., “Comparative study of nanoparticles and alcoholic fuel additives-biodieseldiesel blend for performance and emission improvements”, *Fuel*, 279 (2020).
56. Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Khanali, M., ve Demirbas, A., “A comprehensive review on the environmental impacts of diesel/biodiesel additives”, *Energy Conversion and Management*, 174: 579-614 (2018).
57. Garayev, A., “İçten yanmalı motorlarda benzin-etanol karışımının katkı maddeleri ile emisyon değerlerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2017).
58. Khan, S., Dewang, Y., Raghuvanshi, J., Shrivastava, A., ve Sharma, V., “Nanoparticles as fuel additive for improving performance and reducing exhaust

emission of internal combustion engines”, *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, (2020).

59. Sezer, İ., “Nano materyal içerikli katkıların yakıt özelliklerine ve motor performansına etkileri”, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(2):569-590 (2018).
60. Çakmak, A., ve Özcan, H., “Benzin için oksijenli yakıt katkıları”, *Politeknik Dergisi*, 21(4):831-840 (2018).
61. Aytaç, Z., ve İlkılıç, C., “Dizel motorlarında zararlı egzoz emisyonlarının azaltılmasının araştırılması”, *4th International Symposium on Innovative Approaches in Engineering and Natural Sciences*, 4(6): 520-528 (2019).
62. Erdoğan, S., “Bitkisel ve hayvansal biyodizel kullanılan bir dizel motorun performans, emisyon ve yanma karakteristiklerinin çok kriterli karar verme yöntemleri ile incelenmesi”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2019).
63. Keskin, A., ve Sağıroğlu, S., “Dizel motorlarından kaynaklanan egzoz emisyonları ve kontrol yöntemleri”, *Mühendis ve Makine*, 51(606) (2010).
64. Ligterink, N.E., ve Stelwagen, U., “2016 emission factors for diesel Euro-6 passenger cars, light commercial vehicles and Euro- VI trucks” *TNO Report*, Hollanda (2016).
65. Şahin, Z., “Turbo Şarjlı dizel motorlarda giriş havası sıcaklığının motor performans ve emisyonlara etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli (2019).
66. Yıldırım, B., “Aşırı doldurmalı kısmi yalıtımlı bir dizel motorunda biyodizel ve EGR kullanımının performans ve emisyonlara etkilerinin incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Sakarya (2019).
67. Çangal, Ç., “Farklı yakıt karışımları ve emisyon azaltma teknikleri uygulanan bir dizel motorda optimum parametrelerin taguchi yöntemi ile belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Sakarya (2019).
68. İlhan, O., “Dizel motorda ön ısıtma uygulanmış biyodizel yakıtı kullanımının etkisinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ (2019).
69. Aslan, V., “Üretiminde farklı alkoller ve katalizörler kullanılan biyodizellerin yakıt özellikleri, motor performansları ve egzoz emisyonlarının incelenmesi”, Doktora Tezi, *Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yozgat (2019).

70. Tekdoğan, R., “Bir dizel motorda zeolit maddesinin emisyon ve performans üzerine etkisinin yapay sinir ağları (YSA) ile araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ (2020).
71. Ashok, B., Nanthagopal, K., Jeevanantham, A.K., Bhowmick, P., Malhotra, D., ve Agarwal, P., “An assessment of calophyllum inophyllum biodiesel fuelled diesel engine characteristics using novel antioxidant additives”, **Energy Conversion and Management**, 148: 935-943 (2017).
72. El-Seesy, A. I., ve Hassan, H., “Investigation of effect of adding graphene oxide, graphene nanoplatelet, and multiwalled carbon nanotube additives with n-butanol-Jatropha methyl ester on a diesel engine performance”, **Renewable Energy**, 132:558-574 (2019).
73. Sezer İ., “Dizel yakıtı, biyodizel yakıtı ve karışımlarının içten yanmalı motorlara etkilerinin teorik incelenmesi”, **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 31:4 799-812, (2016).
74. Ayaz, İ., “Dizel motorlarda biyo-etanol biyo-dizel ve dizel yakıtı karışımlarının motor yüküne bağlı olarak kullanılabilirliğinin deneysel araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ (2014).
75. Yılandı, M. S., “Ketencik yağı metil esterine petanol ilavesinin dizel motor performans parametrelerine etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**, Sakarya (2020).
76. Sel, Ö. F., “Atık biyodizel kullanılan bir motorda yakıt performans ve emisyonlara etkisi” Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük (2013).
77. Ramadhas A. S., “Alternative Fuels For Transportation”, **CRC Press**, Boca Raton (2011).
78. Çelebi, Y., “Bütanol katkısının bir dizel motorda yakıt olarak biyodizel kullanımına etkilerinin deneysel araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Batman (2017).
79. Cavalcante, F. T. T., Neto, F.S., Falcao, I.R.A., Souza, J.E.S., Junior, L.S.M., Sousa, P.S., Rocha, T.G., Sousa, I.G, Gomes, P.H.L., Souza, M.C.M., ve Santos, J.C.S., “Opportunities for improving biodiesel production via lipase catalysis”, **Fuel**, 0016-2361 (2020).
80. Türk, Ş., “Hindi kesimhanesi rendering yağından biyodizel üretimi ve dizel motoru performans, emisyon ve yanma karakteristikleri üzerindeki etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Bolu (2018)

81. Bibin, C., Gopinath, S., Aravindrah, R., Devaraj, A., Krishnan, S. G., ve Jeevaananthan, J. K. S., “The production of biodiesel from castor oil as a potential feedstock and its usage in compression ignition Engine: A comprehensive review”, *Materials Today: Proceedings*, 33: 84-92 (2020).
82. Yıldız, M. M., “Ketencik biyodizelinin ve eurodiesel karışımlarının taşıt performansına ve emisyonlarına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya (2021).
83. Singh, D., Sharma, D., Soni, S.L., Sharma, S., Sharma, P.K., ve Jhalani, A., “A review on feedstocks, production processes, and yield for different generations of biodiesel”, *Fuel*, 262: 0016-2361 (2020).
84. Şahin, T., “Biyodizel ve bioetanol karışımının tek silindirli bir dizel motorda kullanımının motor performansına ve emisyonlara etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya (2019).
85. Alpgiray, B., “Kanola yağının diesel moturunun performansına ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2006).
86. Özçelik, A. E., “Aspir biyodizelinin ve motorinle karışımlarının tek silindirli bir dizel motorda yağlama yağına etkilerinin belirlenmesi”, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya (2011).
87. Oğuz, H., Öğüt, H., Aydın, F., Ciniviz, M., ve Eryılmaz, T., “Investigation of engine performance and kit design for the usage of safflower oil as in diesel engine”, *Renewable Energy*, 143:692-702 (2019).
88. Karmakar, A., Karmakar, S., ve Mukherjee, S., “Properties of various plants and animals feedstocks for biodiesel production”, *Bioresource Technology*, 101:7201-7210 (2010).
89. Singh, D., Sharma, D., Soni, S.L., Inda, C.S., Sharma, S., Sharma, P.K., ve Jhalani, A., “A comprehensive review of physicochemical properties, production process, performance and emissions characteristics of 2nd generation biodiesel feedstock: *Jatropha curcas*”, *Fuel*, 285:0016-2361 (2020).
90. Ghasemi, A., ve Moosavi-Nasab, M., “Production of second-generation biodiesel using low-quality date fruits”, *Biotechnology Reports*, 27 (2020).
91. Takase, M., Zhao, T., Chen, Y., Liu, H., Yang, L., ve Wu, X., “An expatiate review of neem, jatropha, rubber and karanja as multipurpose non-edible biodiesel resources and comparison of their fuel, engine and emission properties”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43:495-520 (2015).
92. Keskin, A., “Pamuk yağı metil esteri-eurodizel yakıt karışımlarının direkt püskürtmeli bir dizel motorunun yanma, performans ve emisyon

- karakteristiklerine etkisi”, *Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34:2, 915-927 (2019).
93. İnternet: International Cotton Advisory Committee, “Production of cotton lint in ‘000 metric tonnes”, <https://icac.org/DataPortal/DataPortal?Year=2021/22%20proj> (2021).
94. Kaplan, M., “Pamuk yağından biyodizel eldesi ve verimliliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya (2019).
95. Alçelik, N., “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 (2017).
96. Mofijur, M., Rasul, M.G., Hassan, N. M. S., ve Nabi, M.N., “Recent development in the production of third generation biodiesel from microalgae”, *Energy Procedia*, 19-21 (2018).
97. Akram, S., Mumtaz, M.W., Danish, M., Mukhtar, H., Irfan, A., Raza, S.A., Wang, Z., ve Arshad, M., “Impact of cerium oxide and cerium composite oxide as nano additives on the gaseous exhaust emission profile of waste cooking oil based biodiesel at full engine load conditions”, *Renewable Energy*, 143: 898-905 (2019).
98. Kalaimurugan, K., Karthikeyan, S., Periyasamy, M., ve Mahendran, G., “Emission analysis of CI engine with CeO₂ nanoparticles added neochloris oleoabundans biodiesel-diesel fuel blends”, *Materials Today: Proceedings*, 33:2877-2881 (2020).
99. Kalaimurugan, K., Karthikeyan, S., Periyasamy, M., ve Mahendran, G., “Experimental investigations on the performance characteristics of CI engine fuelled with cerium oxide nanoparticle added biodiesel-diesel blends”, *Materials Today: Proceedings*, 33:2882-2885 (2020).
100. Bafghi, A. A. T., Bakgoda, H., ve Chegeni, F. K., “Effects of cerium oxide nanoparticle addition in diesel and diesel-biodiesel blends on the performance characteristics of a CI engine”, *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 9:8 (2015).
101. Mirzajanzadeh, M., Tabatabaei, M., Ardjmand, M., ve Rashidi, A., “A novel sloble nano-catalysts in diesel-biodiesel fuel blends to improve diesel engine performance and reduce exhaust emissions”, *Fuel*, 139:374-382 (2015).
102. Das, R.K., ve Sharma, S.K., “Blend of jatropha biodiesel and tyre pyrolysis oil mixed with cerium oxide-an alternative to diesel fuel”, *Biofuels*, 9:6,739-744 (2018).

103. Jiaqiang, E., Zhang, Z., Chen, J., Pham, M., Zhao, X., Peng, Q., Zhang, B., ve Yin, Z., "Performance and emission evaluation of a marine diesel engine fueled by water biodiesel-diesel emulsion blends with a fuel additive of a cerium oxide nanoparticle", *Energy Conversion and Management*, 169:194-205 (2018).
104. Khalife, E., Tabatabaei, M., Nahafi, B., Mirsalim, S. M., Ghareghani, A., Mohammadi, P., Aghnashlo, M., Ghaffari, A., Khounani, Z., Shojaei, T. R., ve Salleh, M. A. M., "A novel emulsion fuel containing aqueous nano cerium oxide additive in diesel-biodiesel blends to improve diesel engine performance and reduce exhaust emissions: Part I-Experimental analysis", *Fuel*, 207:741-750 (2017).
105. Saraee, H. S., Taghavifar, H., ve Jafarmadar, S., "Experimental and numerical consideration of the effect of CeO₂ nanoparticles on diesel engine performance and exhaust emission with the aid of artificial neural network", *Applied Thermal Engineering*, 113:663-672 (2017).
106. Sajith, V., Sobhan, C.B., ve Peterson, G.P., "Experimental investigation on the effects of cerium oxide nanoparticle fuel additives on biodiesel", *Advances in Mechanical Engineering*, 2010:6 (2009).
107. Sujesh, G., Ganesan, S., ve Ramesh, S., "Effect of CeO₂ nano powder as additive in WME-TPO blend to control toxic emissions from a light-duty diesel engine- An experimental study", *Fuel*, 278 (2020).
108. Kumar, S., Dinesha, P., ve Rosen M.A., "Effect of injection pressure on the combustion, performance and emission characteristics of a biodiesel engine with cerium oxide nanoparticle additive", *Energy*, 185:1163-1173 (2019).
109. Annamalai, M., Dhinesh, B., Nanthagopal, K., SivaramaKrishnan, P., JoshuaRamseh, J. I., ve Annamalai, K., "An assessment on performance, combustion and emission behavior of a diesel engine powered by ceria nanoparticle blended emulsified biofuel", *Energy Conversion and Management*, 123:372-380 (2016).
110. Srinivasan, C. A., Sravanan, C.G., ve Gopalakrishnan, M., "Emission reduction on ethanol-gasoline blend using cerium oxide nanoparticles as fuel additive", *Particulate Science and Technology*, 36:5,628-635 (2018).
111. Manikandan, R., ve Sethuraman, N., "Experimental investigation of nano additive ceric oxide (CeO₂)- Ethanol blend on single cylinder four stroke diesel engine", *International Journal of Recent Development in Engineering and Technology*, (2014).
112. Karthikeyan, S., Elango, A., Marimuthu, P., ve Prathima, A., "Performance, combustion and emission characteristic of a marine engine running on grape seed oil biodiesel blends with nano additive", *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 43:2315-2319 (2014).

- 113.Appavu, P., ve Ramanan, M.V., “Study of emission characteristics of a diesel engine using cerium oxide nanoparticle blended pongamia methyl ester”, *International Journal of Ambient Energy*, 41:5, 524-527 (2020).
- 114.Karthikeyan, S., ve Prathima, A., “Environmental effect of CeO₂ nanoadditive on biodiesel”, *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 38: 3673-3679 (2016).
- 115.Karthikeyan, S., Elango, A., ve Prathima, A., “The effect of cerium oxide additive on the performance and emission characteristics of a CI engine operated with rice bran biodiesel and its blends”, *International Journal of Ambient Energy*, 13:3, 267-273 (2016).
- 116.Sujesh, G., Ganesan, S., ve Ramesh, S., “Effect of CeO₂ nano powder as additive in WME-TPO blend to control toxic emissions from a light-duty diesel engine- An experimental study”, *Fuel*, 278 (2020).
- 117.Sharma, S.K., Das, R.K., ve Sharma, A., “Improvement in performance and emission characteristics of diesel engine fueled with jatropha methyl ester and tyre pyrolysis oil by addition of nano additives”, *The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 38:1907-1920 (2016).
- 118.Dhanasekar, K., Sridaran, K., Arivanandhan, A., ve Jayavel, R., “A facile preparation, performance and emission analysis of pongamia oil based novel biodiesel in diesel engine with CeO₂:Gd nanoparticles”, *Fuel*, 255 (2019).
- 119.Muruganantham, P., Pandiyan, P., ve Sathyamurthy, R., “Analysis on performance and emission characteristics of corn oil methyl ester blended with diesel and cerium oxide nanoparticle”, *Case Studies in Thermal Engineering*, 26 (2021).
- 120.Aalam, S., ve Narayanan, A., “Cerium oxide nanoparticles as additive with diesel fuel on DI diesel engine”, *International Journal of Innovative Research and Creative Technology*, 1 (2018).
- 121.Puskar, M., ve Kopas, M., “System based on thermal control of the HCCI technology developed for reduction of the vehicle NO_x emissions in order to fulfil the future standard Euro 7”, *Science of the Total Environment*, 643: 674-680 (2018).

ÖZGEÇMİŞ

Berkan AYDIN ilk ve orta öğrenimini Karabük'te tamamladı. Cumhuriyet Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2014 yılında Karabük Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği bölümünde öğrenime başladı ve 2019 yılında mezun oldu. 2020 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tezli yüksek lisans programına başladı.

