



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MALZEME VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MAGNEZYUM OKSİT (MgO) NANOPARTİKÜL MADDE
KATKILI BİYODİZEL-DİZEL YAKIT KARIŞIMLARININ BİR
DİZEL MOTORUNDA KULLANIMININ YANMA VE EMİSYON
KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Mehmet Ali DEMİR

**Kasım-2024
BATMAN**

T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MALZEME VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAGNEZYUM OKSİT (MgO) NANOPARTİKÜL MADDE
KATKILI BİYODİZEL-DİZEL YAKIT KARIŞIMLARININ BİR
DİZEL MOTORUNDA KULLANIMININ YANMA VE EMİSYON
KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet Ali DEMİR

Danışman
Doç. Dr. Selman AYDIN

Diğer Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Erdal ÇILGIN

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali KALLIOĞLU

Kasım-2024
BATMAN

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet Ali DEMİR tarafından hazırlanan “Magnezyum Oksit (MgO) Nanopartikül Madde Katkılı Biyodizel-Dizel Yakıt Karışımlarının Bir Dizel Motorunda Kullanımının Yanma ve Emisyon Karakteristiklerine Etkisinin Araştırılması” adlı tez çalışması 26/11/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Malzeme ve İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Doç. Dr. Erdal ÇILGIN

Danışman

Doç. Dr. Selman AYDIN

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali KALLIOĞLU

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabullendiğimi bildiririm.

ETHICAL DECLARATION

I declare that all the information in this thesis has been obtained within the framework of ethical behavior and academic rules, and that the source of any statements and information that do not belong to me in this study prepared in accordance with the thesis writing rules has been fully cited, and I declare that I accept all kinds of legal responsibility in case of any contrary situation.

Mehmet Ali DEMİR
Tarih: 26/11/2024

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAGNEZYUM OKSİT (MgO) NANOPARTİKÜL MADDE KATKILI BİYODİZEL-DİZEL YAKIT KARIŞIMLARININ BİR DİZEL MOTORUNDA KULLANIMININ YANMA VE EMİSYON KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet Ali DEMİR

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Malzeme ve İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Selman AYDIN

2024, 64 Sayfa

Biyodizel yakıt karışımlarının enerji değeri, akışkanlığı, düşük sıcaklıktaki performansı, donma sıcaklığı gibi özelliklerinin yanında dizel motorlardaki yanmanın kontrollü ve kontrolsüz evrelerinde, dizel yakıtına kıyasla yetersiz kalmaktadır. Bu nedenlerden dolayı çeşitli nanopartikül maddelerle geliştirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, aspir biyodizel yakıt karışımının kimyasal ve fiziksel özelliklerini iyileştirmek için BY35 ve BY65 yakıtına sırasıyla 60ppm ve 120ppm yenilenebilir magnezyum oksit (MgO) katkı maddesi ilave edilmiştir. Deneylerde kullanılmak üzere test yakıtları; DY (dizel yakıtı), B35, B65, B35+60ppm MgO, B35+120ppm MgO, B65+60ppm MgO, B65+120ppm MgO şeklinde hazırlanmıştır. Daha sonra bir dizel araştırma motorunun farklı çalışma parametrelerinde yanma ve emisyon değerleri alınmış olup katkı maddesinin etkisinin belirlenmesi için DY yakıt değerleri ile grafiksel olarak karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalardan görüldüğü gibi BY35+60ppm MgO karışimli yakıtın 1.5 OEB (ortalama efektif basınç) yük koşullarında diğer test yakıtlarına göre en yüksek silindir gaz basınç (SGP) değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca 0.3 bar OEB şartlarında karışimli yakıtların SGP grafiğinde diğer test yakıtlarına göre benzer yanma davranışı gösterdiği belirlenmiştir. Bütün yük değerlerinde, MgO katkılı test yakıtların net ısı salınım değeri diğer 3 test yakıtına göre kontrollü yanma evrelerinde yanmayı iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Katkı maddesi ile HC emisyonu ve duman koyuluğunda pozitif katkı sağlanırken, CO, CO₂ ve NO_x emisyonlarında ise kısmen artışlara sebep olmuştur. Bu çalışma ile MgO katkı maddesinin aspir biyodizel yakıt karışımlarının yanma üzerindeki olumlu etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: MgO, Nanopartikül madde, Dizel Motor, Biyodizel, Yanma, Emisyon

ABSTRACT

MASTER THESIS

TEZ INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE USE OF MAGNESIUM OXIDE (MgO) NANOPARTICLE MATTER ADDED BIODIESEL-DIESEL FUEL BLENDS IN A DIESEL ENGINE ON THE COMBUSTION AND EMISSION CHARACTERISTICS

Mehmet Ali DEMİR

Batman University Graduate Education Institute

Materials and Manufacturing Engineering Department of Science

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Selman AYDIN

2024, 64 Pages

In addition to the energy value, fluidity, low-temperature performance, and freezing point of biodiesel fuel mixtures, they are insufficient compared to diesel fuel in the controlled and uncontrolled combustion stages in diesel engines. For these reasons, it needs to be improved with various nanoparticle materials. In this study, renewable magnesium oxide (MgO) additives were added to BY35 and BY65 fuels at 60ppm and 120ppm, respectively, to improve the chemical and physical properties of the aspir biodiesel fuel mixture. For use in the experiments, the test fuels were prepared as DY (diesel fuel), B35, and B65, B35 + 60ppm MgO, B35+120ppm MgO, B65+60ppm MgO, and B65+120ppm MgO. Later, combustion and emission values were obtained under different operating parameters of a diesel research engine, and the effect of the additive was graphically compared with the DY fuel values to determine its impact. As seen from these comparisons, it has been determined that the BY35+60ppm MgO blended fuel has the highest cylinder gas pressure (SGP) value under 1.5 BMEP (Break mean effective pressure) load conditions compared to the other test fuels. Additionally, it has been determined that under 0.3 bar BMEP conditions, the SGP graph of the blended fuels shows similar combustion behavior compared to the other test fuels. At all load values, it has been observed that the net heat release value of MgO-additized test fuels improved combustion during the controlled combustion phases compared to the other three test fuels. While the additive positively contributed to HC emissions and smoke density, it partially increased CO, CO₂, and NO_x emissions. This study has determined that the MgO additive has a positive effect on the combustion of aspir biodiesel fuel blends.

Keywords: MgO, Nanoparticle, Diesel Engine, Biodiesel, Combustion, Emissions

ÖN SÖZ

Tez çalışmasında her zaman yanımda olan ve tezimin planlanmasında yol göstererek yardımlarıyla destek olan tez danışman hocam Doç. Dr. Selman AYDIN'a, Rafineri ve Petro-Kimya Atölyesinde yakıt analizlerinde bana yardımcı olan Doç. Dr. Fevzi YAŞAR'a teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Aileme, tez çalışma süresince her zaman bana güvenen, destekleyen, hoşgörü ve özveriyle yanımda olan değerli eşime, kızlarım F. Armin ve Z. Elvin'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Ali DEMİR
BATMAN-2024



İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
ÖN SÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. DİZEL MOTORLAR	10
3.1. Dizel Motorların Tarihçesi.....	10
3.1.1. Dizel Motorların Yanma Safhaları	10
3.1.1.1. Tutuşma Gecikmesi	11
3.1.1.2. Kontrolsüz (Ani) Yanma	12
3.1.1.3. Kontrollü (Difüzyon Kontrollü) Yanma	12
3.1.1.4. Gecikmiş (Art) Yanma.....	12
3.2. Dizel Yakıtının Fiziksel Yapısı.....	13
3.2.1. Viskoziye	13
3.2.2. Yoğunluk	13
3.2.3. Uçuculuk Noktası	13
3.2.4. Parlama Noktası	14
3.2.5. Donma Noktası	14
3.2.6. Tortu ve Su.....	14
3.2.7. Buharlaşma Noktası	14
3.3. Dizel Yakıtının Kimyasal Yapısı	15
3.3.1. Setan Sayısı.....	15
3.3.2. Dizel İndeksi	15
3.3.3. Ateşleme Noktası	15
3.3.4. Kükürt Miktarı	15
3.3.5. Kül Miktarı	16
3.3.6. Karbon Artığı.....	16
3.3.7. Aromatik Yüzdesi	16
4. BİYODİZEL.....	17
4.1. Biyodizelin Avantajları	17
4.2. Biyodizelin Dezavantajları	18
4.3. Biyodizel Üretim Yöntemleri	19
4.3.1. Transesterifikasyon Yöntemi	20

4.3.2. Proliz Yöntemi	21
4.3.3. Mikroemülsiyon Oluşturma Yöntemi	21
4.3.4. Seyreltme Yöntemi	22
4.4. Nanoteknoloji.....	22
4.4.1. Nanopartikülün Gelişimi.....	23
4.4.2. Nanopartikül İçerikli Yakıt Katkıları.....	23
5. MATERYAL VE YÖNTEM.....	25
5.1. Deney Düzeneği ve Deneysel Yöntem	25
5.2. Yanma Analizi Programı	27
5.3. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı	28
5.4. Hassas Terazı	30
5.5. Manyetik Karıştırıcı	30
5.5. Deneyde Kullanılan Yakıtlar	31
6. DENEYSEL ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	37
6.1. Silindir Gaz Basıncı ve Net Isı Salınımı	37
6.2. Ortalama Gaz Sıcaklığı ve Basınç Artış Oranı	40
6.3. Kümülatif Isı Salınımı ve Kütlesel Yanma Oranı.....	44
6.4. Karbonmonoksit (CO) Emisyonlarının İncelenmesi	48
6.5. Karbondioksit (CO ₂) Emisyonlarının İncelenmesi	50
6.6. Hidrokarbon (HC) Emisyonlarının İncelenmesi.....	51
6.7. Azotoksit (NO _x) Emisyonlarının İncelenmesi	53
6.8. Duman Koyuluğu İncelenmesi	54
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	56
7.1. Sonuçlar	56
7.2. Öneriler	57
KAYNAKLAR	58

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 5.1. Kirlaskor dizel araştırma motorunun özellikleri.....	27
Tablo 5.2. Egzoz emisyon cihazının özellikleri.....	29
Tablo 5.3. Test yakıtları ve fiziksel oranları	32
Tablo 5.4. Metal MgO nanopartikül maddenin özellikleri (Çılğın ve ark., 2024).....	33
Tablo 5.5. Saf aspir biyodizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	33
Tablo 5.6. Test yakıtlarının analiz sonuçları.....	35
Tablo 5.7. Test yakıtlarının distilasyon sonuçları.....	36



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 1. Dünyanın Genel Enerji Kullanımının Kaynaklara Göre Dağılımı (2019)	1
Şekil 1. 2. Türkiye'nin Genel Enerji Kullanım Görünümü (2020).....	2
Şekil 3.1. Bir dizel motorun yanma grafiği (Gökçe, 2022)	11
Şekil 4.1. Biyodizel üretim yöntemleri (Behçet ve ark., 2012)	19
Şekil 4.2. Transesterifikasyon reaksiyonun şeması (Aydın, 2010).....	21
Şekil 5.1. Deney düzeneğinin genel görünümü	25
Şekil 5.2. Deney düzeneğin şematik gösterimi.....	26
Şekil 5.3. ICEngineSoft_9.0 yanma programın ekran görüntüsü	28
Şekil 5.3. Egzoz emisyon cihazı	29
Şekil 5.4. Testlerde kullanılan hassas terazi	30
Şekil 5.5. Ultrasonik Karıştırıcı	31
Şekil 5.6. Kullanılan test yakıtlar.....	32
Şekil 5.7. B35+120ppm MgO Yakıtın FTIR Analizi	34
Şekil 6.1. 0.3 OEB yüküne göre silindir gaz basıncı ve net ısı salınım hızının değişimi	38
Şekil 6.2. 1.5 bar OEB yüküne göre silindir gaz basıncı ve net ısı salınım hızının değişimi.....	38
Şekil 6.3. 3 bar OEB yüküne göre silindir gaz basıncı ve net ısı salınım hızının değişimi	39
Şekil 6.4. 4.5 bar OEB yüküne göre silindir gaz basıncı ve net ısı salınım hızının değişimi.....	40
Şekil 6.5. 0.3 bar OEB parametresine göre ortalama gaz sıcaklığı ve basınç artış oranının değişimi	42
Şekil 6.6. 1.5 bar OEB parametresine göre ortalama gaz sıcaklığı ve basınç artış oranının değişimi	42
Şekil 6.7. 3 bar OEB parametresine göre ortalama gaz sıcaklığı ve basınç artış oranının değişimi.....	43
Şekil 6.8. 4.5 bar OEB parametresine göre ortalama gaz sıcaklığı ve basınç artış oranının değişimi	44
Şekil 6.9. 0.3 bar OEB parametresine göre kümülatif ısı salınımı ve kütleli yanma oranının değişimi	46
Şekil 6.10. 1.5 bar OEB parametresine göre kümülatif ısı salınımı ve kütleli yanma oranının değişimi	46
Şekil 6.11. 3 bar OEB parametresine göre kümülatif ısı salınımı ve kütleli yanma oranının değişimi	47
Şekil 6.12. 4.5 bar OEB parametresine göre kümülatif ısı salınımı ve kütleli yanma oranının değişimi	48
Şekil 6.13. Test yakıtlarının OEB'ye göre CO emisyon değişimleri.....	49
Şekil 6.14. Test yakıtlarının OEB'ye göre CO ₂ emisyon değişimleri.....	50
Şekil 6.15. Test yakıtlarının OEB'ye göre HC emisyon değişimleri.....	52
Şekil 6.16. Test yakıtlarının OEB'ye göre NO _x emisyon değişimleri.....	53
Şekil 6.17. Test yakıtlarının OEB'ye göre duman yoğunluğunun değişimleri.....	55

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Al_2O_3	: Alüminyum Oksit
CaO	: Kalsiyumoksit
CH_3OH	: Metil alkol (Metanol)
CO	: Karbon monoksit
CO_2	: Karbon dioksit
Cu	: Bakır
CuO	: Bakır oksit
H_2	: Hidrojen
HC	: Hidro karbon
HNO_2	: Nitrik oksit
MgO	: Magnezyum oksit
Mn	: Mangan
MnO_2	: Mangan dioksit
N	: Azot
Ni	: Nikel
NO	: Azotmonoksit
NO_x	: Azot Oksitler
O_2	: Oksijen gazı
S	: Kükürt
SO_2	: Kükürtdioksit

Kısaltmalar

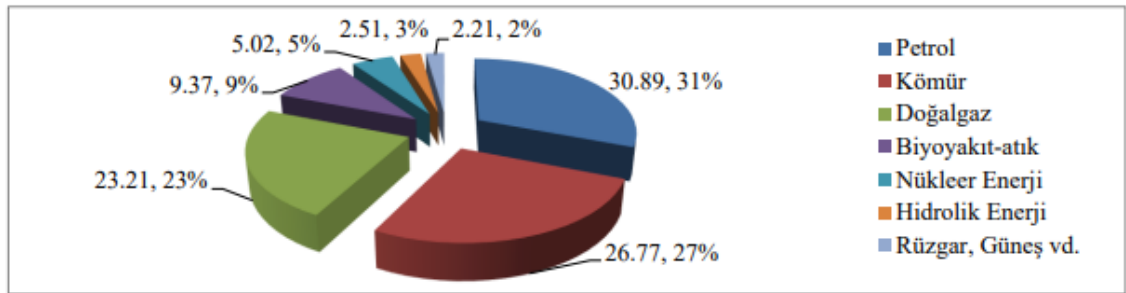
B35	: (%35 biyodizel + % 65 dizel)
B35+120ppm	: (%35 biyodizel + % 65 dizel + 120ppm MgO nanopartikül madde)
B35+60ppm	: (%35 biyodizel + % 65 dizel + 60ppm MgO nanopartikül madde)
B65	: (%65 biyodizel + % 35 dizel)
B65+120ppm	: (%65 biyodizel + % 35 dizel + 120ppm MgO

	naopartikül madde)
B65+60ppm	: (%65 biyodizel + % 35 dizel + 60ppm MgO naopartikül madde)
BY	: Biyodizel yakıtı
dev/dak	: Devir/dakika
DY	: Dizel yakıtı
KMA	: Krank mil açısı
OEB	: Ortalama efektif basınç
ppm	: Milyondaki partikül miktarı
SGP	: Silindir gaz basıncı



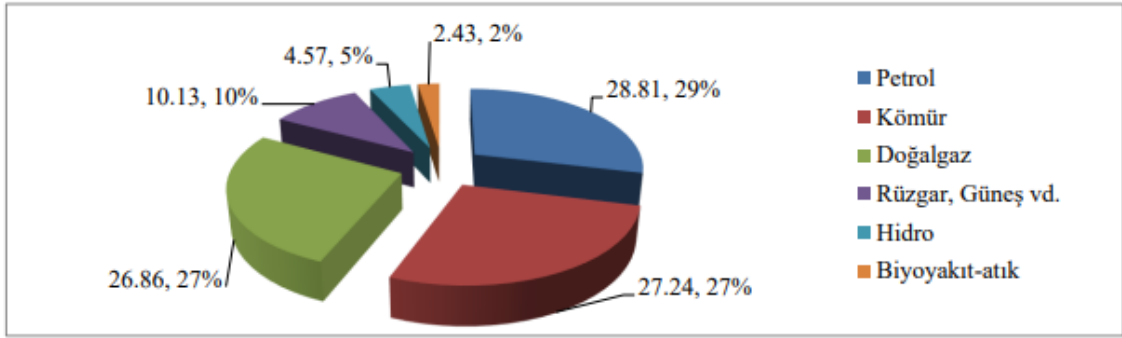
1. GİRİŞ

Enerji, dünya genelinde insanlığın varlığını devam ettirebilmesi için temel bir gereklilik haline gelmiştir, özellikle de küresel ekonominin ilerlemesiyle birlikte daha büyük öneme sahip olmuştur. Enerji kaynaklarının gelişimi ve kullanımı, sürdürülebilir insan yaşamı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Behrens ve ark., 2007). Gün geçtikçe artan dünya enerji talebi, sanayileşme ve hızlı nüfus artışıyla birlikte her gün daha da artmakta ve giderek büyüyen bir enerji açığına neden olmaktadır. Enerji ekonomik kalkınma projeleri enerji konusunda ithalata bağımlı olan ülkeler için büyük bir yük oluşturuyor (Keskin, 2005). Fosil enerji kaynakları tükenme riski ve artış gösteren enerji talebinin karşılanamaması önlenemez bir durumdur. Yenidünya düzeninde, ülkeler için öne çıkan iki temel konu vardır: teknoloji ve enerji. Teknolojik açıdan geri kalan ülkeler, geniş ve düşük maliyetli enerji kaynakları elinde bulundurmalıdır (Önder, 2001). Endüstriyel alanda fosil yakıtlar son derece önemlidir. Fosil yakıtların dezavantajlarından biri de yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan CO₂, azot gibi zararlı gazlar doğaya ciddi zararlar vermesidir (Çelik, 1994). Dünya çapında 2019 yılında enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımını incelediğimizde, fosil yakıtlar (%81) en çok tercih edilen enerji kaynakları arasında başı çekmektedir. Fosil enerji kaynakları arasında en fazla tüketilen enerji kaynağı petrol olup, bu oran %31'dir. Bunu sırasıyla kömür (%27) ve doğalgaz (%23) takip etmektedir (Ferhat ve ark., 2023).



Şekil 1. 1. Dünyanın Genel Enerji Kullanımının Kaynaklara Göre Dağılımı (2019)

Fosil enerji kaynakları ardından, küresel enerji tüketiminde en büyük paya sahip enerji kaynakları arasında sürdürülebilir enerji kaynakları (%14) yer almaktadır. Biyoyakıt (%9) kaynaklar arasında en yüksek kullanım oranına sahip olanıdır. (Ferhat ve ark., 2023).



Şekil 1. 2. Türkiye'nin Genel Enerji Kullanım Görünümü (2020)

Ülkemizin genel enerji kullanımı incelendiğinde, kullanım oranı en fazla enerji kaynağının petrol (% 28.81) belirlenmiştir. Petrolü yakın oranlarda kömür (%27.24) ve doğalgaz (%26.86) izlemektedir. Yüksek kullanım oranına sahip olan sürdürülebilir enerji kaynakları arasında rüzgar, güneş vb. (%10), hidrolik enerji (%5) ve biyoyakıt-atık (%2) fosil enerji kaynaklarından sonra yer almaktadır (Ferhat ve ark., 2023). Yanma sürecinde yanmamış hidrokarbonlar, nitrikoksit, partikül madde, karbondioksit, toksik maddeler ve karbon monoksit dizel yakıt kullanan araçlarda oluşur, bu da etrafa salınarak kötü hava yol açar. İşte sebeple, araç ve yakıt sektörü çeşitli çözüm yolları aramaktadır. Birçok firma, çevreci ve alternatif yakıtlara yatırım yapmayı hedeflemektedir. Otomobil üreticileri, kendilerini Avrupa emisyon standartları programına uygun hale getirmek için çalışmalarını sürdürmektedir (European Commission). Tarım, ulaşım ve savunma sanayinde yaygın olarak kullanılan birçok büyük hacimli dizel yakıtlı motor, uzun yıllardır tercih edilmektedir. Petrol yakıtlarının daha verimli kullanılması, katkı maddelerinin eklenerek motor performansının artırılması ve emisyon değerlerinin azaltılması için çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Aksi takdirde, bu yakıtlar daha fazla çevre kirliliğine yol açabilir ve küresel ısınmayı artırabilirler. Dizel motorlardan kaynaklanan zararlı kirleticiler arasında HC, CO, NOx gibi maddeler ve kükürt oksit öne çıkar, bunlar çevresel kirliliğin başlıca kaynakları

arasında yer alır ve canlı türlerinde çeşitli bulaşıcı hastalıklara ve asit yağmurlarına neden olabilirler (Rastogi, 2021).

Dizel motorlarda, performansı artırmak ve emisyon değerlerini azaltmak amacıyla yakıtta çeşitli katkı maddeleri eklenmektedir (Venu ve ark., 2016). Biyodizel, dizel motorunun mevcut yapısında herhangi bir değişiklik yapmadan kullanılabilme özelliğine sahip olması, yüksek setan sayısına sahip olması, düşük parlama noktasına sahip olması, dizel yakıtına kıyasla daha güvenli bir şekilde taşınması ve depolanması, egzoz emisyonlarını azaltması ve sera etkisi yaratan CO₂ gazının azaltılması gibi avantajlarına sahiptir (Sundus ve ark., 2017). Motorlu taşıtlarda en az yakıt tüketimiyle maksimum motor verimini sağlamak için yanma işleminin geliştirilmesi gereklidir ve bu bağlamda yakıt kalitesinin artırılması büyük önem taşır. Nano akışkanlar kavramı ilk olarak 1995 yılında Choi tarafından Argonne National Laboratory'de yapılan bir çalışma ile literatüre girmiştir. O günden bu güne, nano akışkanlar üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Aynı şekilde, nanopartiküllerin yakıtlara eklenmesi ile ilgili çalışmalar da mevcuttur ve bu alandaki araştırmalar özellikle son yıllarda hız kazanmıştır. Ancak, nano katkıli yakıtların uygulanmasıyla ilgili çalışmalar hala yeni ve hatta başlangıç aşamasındadır. Bu nedenle, nanopartikül madde katkıli yakıtların motorlarda verimli kullanımını en üst düzeye çıkarmak için farklı teorik ve deneysel araştırmalara acilen ihtiyaç vardır (Gümüş, 2012).

Yapılan literatür araştırmasında nanopartikül maddelerin biyodizel yakıt karışımları ile yapılan çalışmalar mevcut olup fakat metal MgO nanopartikül maddenin aspir biyodizel yakıt karışımlarına olan etkisinin bir dizel araştırma motorunun farklı çalışma parametrelerinde yanma ve emisyon değişimlerine olan etkisini araştıran detaylı bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada aspir biyodizel-dizel yakıt karışımlarının yanma verimini artırmak, egzoz emisyonlarını azaltmak ve elde edilen sonuçları kullanarak bir dizel motor için dizel+biyodizel+magnezyum oksit (MgO) nanopartikül madde ile çalışırken optimum koşulları belirlemektir. Bu doğrultuda, bu çalışma ile çeşitli oranlarda metal nanopartikül maddenin dizel+biyodizel yakıtlara eklenmesiyle saf dizel yakıtı göre bir dizel araştırma motorun sabit 1500 dev/dk. ve değişik ortalama efektif basınç değerlerinde yanma ve emisyon değişimlerini analiz etmeyi amaçlanmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Rastogi ve ark. (2021), farklı yük koşullarında dizel, JB20, JB20CN25, JB20CN50 ve JB20CN75 yakıt numuneleri kullanılarak yapılan motor testleri incelenmiştir. CuO nanopartikülleri JB20 yakıtına eklendiğinde, yanma iyileşir ve silindir sıcaklığı artmış, bu da egzoz gaz sıcaklığının artmasına yol açmıştır. CO emisyonları tüm motor yüklerinde dizel ile biraz daha düşük bulunmuştur, bu durum, Jojoba biyodizel içeriği ve CuO nanopartikülünün reaksiyon yüzey alanının artmasından kaynaklanmıştır. CuO nanopartikülleri, yakıtın uygun atomizasyonunu teşvik ederek daha düşük CO emisyonu sağlamıştır. CuO nano katkı maddelerinin eklenmesiyle, daha fazla HC emisyonu azalmış ve yakıtın yanma süreci iyileşmiştir. CO₂ emisyonu, biyodizel harmanlama ile artmış, CuO nanopartikülünün JB20'ye uygulanması ise CO₂ emisyonlarını daha da artırmıştır. NO_x emisyonları, CuO nanopartiküllerinin eklenmesiyle artmış, çünkü nano parçacıklar yakıtın yanmasını hızlandırmıştır.

Üstün (2021), yeni bir karışım oluşturmak için, yakıtın %90'ı dizel ve %10'u fuzelden bir yakıt meydana getirmiştir. 8, 12 ve 16 ppm mangan bazlı katkı maddeleri, bu yeni karışıma eklenerek testler gerçekleştirmiştir. Yapılan test sonuçlarına göre, dizel ve fuzel yakıt karışımları bir dizel motorunda kullanıldığında motorun torkunu ve gücünü düşürmüştür. Özgül yakıt tüketiminde genel olarak bir artış gözlemlenirken, en düşük artış 12 ppm katkı maddesi eklenen yakıt karışımında tespit edilmiştir. Egzoz gazı sıcaklığında en az azalma, 12 ppm katkı maddesi içeren yakıt karışımında görülmüş olup, CO ve HC emisyonlarındaki en düşük artış da aynı karışımında kaydedilmiştir. CO₂ emisyon değerlerinde ise en büyük düşüş 12 ppm mangan bazlı yakıt karışımında gözlenmiştir. Ayrıca, yakıtın fiziksel özellikleri olan viskozite, yoğunluk, parlama noktası, ısıl değer ve akma noktası gibi parametrelerde iyileşmeler meydana gelmiştir.

Chen ve ark. (2018), nanopartikül ve dizel yakıt karışımlarının bir dizel motorun performansı, yanma özellikleri ve emisyonları üzerindeki etkisini incelemiştir. Üç farklı nanopartikül türü olan alüminyum oksit, karbon nanotüpler ve silikon oksit kullanılmış ve farklı dozlarda karışımlar elde edilmiştir. Yapılan deneyler, stabiliteyi ölçmek için 200 saat boyunca yapılmış ve karışımlar çeşitli motor yüklerinde test edilmiştir. Alüminyum oksit ve silikon oksit karışımlarının daha düşük yakıt tüketimi ve daha yüksek termal verimlilik sağladığını göstermiştir. Karbon nanotüp karışımları, NO_x

emisyonlarında önemli bir azalma potansiyeline sahip olsa da, stabilite sorunlar göstermiştir. Ayrıca, karbon nanotüplerin daha yüksek yanma basıncı ve daha düşük HC emisyonlarına neden olduğu gözlemlenmiştir. SiO₂ karışımları, yüksek yanma basıncı ve düşük efektif özgül yakıt tüketimi gibi olumlu özelliklere sahip, ancak NO_x emisyonlarında artışa neden olduğu tespit edilmiştir. Çalışma nanopartikül ile dizel yakıt karışımlarının performansını değerlendirerek, özellikle CNT'nin yakıt iyileştirme potansiyelini vurgulanmıştır.

Channappagoudra (2021), Al₂O₃ nano partiküllerinin dizel motor performansı üzerindeki etkisini araştırmıştır. Temel olarak, bu çalışma, dizel motorların performansını iyileştirmek için yapılan Al₂O₃ nano katkısının (75 ppm) etkilerini değerlendirmiştir. Bu etkiler, HRR'in (heat release rate) krank açısı ile ilişkisi, yakıt tüketimi, emisyonlar ve termal verimlilik gibi çeşitli faktörler üzerinde incelemiştir. Al₂O₃ nano katkılı biyodizel ile çalışan modifiye edilmiş motor, temel motorla karşılaştırıldığında daha düşük yakıt tüketimi, HC ve CO emisyonu ve NO_x oluşumu sergilemiştir. Bu durum, modifiye edilmiş motorun geliştirilmiş yanma verimliliği ve daha iyi yakıt atomizasyonu ile ilişkilendirilmiştir. Özellikle, Al₂O₃ nano katkısının yüksek yüzey aktivitesi, yanma sırasında daha iyi oksidasyon ve yanma sağlayarak emisyonları azaltmaya yardımcı olmuştur. Modifiye edilmiş motorlar, Al₂O₃ nano katkısı ile birlikte, temel motorlara kıyasla daha yüksek termal verimlilik, daha düşük emisyonlar ve daha az yakıt tüketimi göstermiştir. Al₂O₃ nano katkısı, dizel motorların performansını artırarak daha çevre dostu bir yakıt kullanımını teşvik edilmiştir. Motorların daha verimli ve temiz çalışmasına katkıda bulunarak çevresel etkileri azaltılabileceği gözlemlenmiştir.

Orman (2019), atık motor yağlarının dizel motorlarında doğrudan kullanımıyla ekonomik bir kazanç elde etmek hedeflenmiştir. Bu amaçla, motor yağına 16 ppm mangan eklenerek Mn katkı maddesi sentezlenmiştir. Deney sonuçları, bu işlemin yağ sıcaklığını %5, egzoz gazı sıcaklığını %1 azalttığını, özgül yakıt tüketiminde %9 iyileşme sağladığını ve CO emisyon değerini %4 düşürdüğünü göstermiştir. 195, 235 ve 265 bara yakıt enjeksiyon basıncı yükseltildiğinde motor performansında iyileşmeler olduğu gözlemlenmiştir.

Elkelawy ve ark. (2021), nano boyutlu gümüş tiyosiyanat yapısının özellikleri, Dizel ile Biyodizel yakıt karışımlarında etkili bir nanopartikül katkı maddesi olarak kullanımını teşvik etmektedir. Gümüş tiyosiyanatın nanoyapısı, yüksek çözünürlüklü transmisyon elektron mikroskobu ile ölçülerek belirlenmiştir. Motor testleri, farklı

nanopartikül gümüş tiyosiyanat katkı maddesi dozlarının (200, 400 ve 600 ppm) D50B50 karışımlarına etkisini değerlendirmiştir. Karışımlar, mekanik hareket pompa ile sürekli karıştırılarak motor testlerine tabi tutulmuştur. Test sonuçları, nano katının uyumunu arttırmanın motorun kararlılığına olumlu etki ettiğini göstermiştir. Nanopartiküller, oksijenli katkı sağlayarak yanma sürecini optimize etmiş ve yanmamış hidrokarbon emisyonlarını azaltmıştır. Ayrıca, 400 ppm nanoboyutlu gümüş tiyosiyanatın daha iyi performans, yanma ve emisyon sağladığı belirlenmiştir. Motor testlerinde elde edilen veriler, motorun yanma özellikleri üzerindeki nanopartikül konsantrasyonunun etkisini göstermiştir. Yakıtın yanması sırasında ısı ve basınç verileri analiz edilerek, nanopartikül katkısının yanma sürecini nasıl etkilediği belirlenmiştir. Farklı nanopartikül konsantrasyonlarının motor performansı ve emisyon özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Sonuçlar, nanopartikül katkısının motor verimliliğini arttırdığını ve emisyonları azalttığını göstermiştir. Özellikle, nanopartikül konsantrasyonunun artmasıyla CO ve UHC emisyonlarının azaldığı belirlenmiştir. Egzoz gazı sıcaklığı ve NO_x emisyonları, farklı yakıt karışımlarının yanması durumunda kaydedilmiş ve nanopartikül katkısının NO_x emisyonlarını arttırdığı gözlemlenmiştir. Ancak, duman koyuluğunun azalmasıyla birlikte duman belirsizliğinin azaldığı ve yanma sürecinin istikrarlı hale geldiği görülmüştür. Bu sonuçlar, nano boyutlu gümüş tiyosiyanatın dizel ile biyodizel yakıt karışımlarında kullanımının motor performansını ve emisyonları olumlu yönde etkilediğini göstermiştir.

Çılğın (2015), mikroalglerin, fosil kökenli dizel yakıtının alternatifi olarak işaret edilmesi dikkat çekmiştir. Bu organizmaların yetiştirilmesi için gerekli olan hava şartları ve besin kaynakları, özellikle CO₂ gibi besin elemanlarının Türkiye'de bol miktarda bulunduğu belirtilmiştir. Dolayısıyla, mikroalglerin Türkiye için umut vaat eden bir metil ester (biyodizel) kaynağı olduğu vurgulanmıştır.

Hazar ve ark. (2011), dizel motorlarda yakıt özelliklerini iyileştirmek amacıyla, deneyde kullanılan motorine organometal mangan bazlı bir katkı maddesi eklenmiştir. Bu bileşiği oluşturmak için, organik yapıda 250g spindle oil, 45g MnO₂ tuzu ve 100g reçine asidi 180°C'de 2 saat boyunca bir reaktörde reaksiyona sokulmuş ve %11.3 MnO₂ içeren bir bileşik elde edilmiştir. Reaksiyon sonrası, tortu kısımlarını çözmek için %2 etanol eklenmiştir. Organometal katkılı motorine 20, 40, 60 ve 80 ppm'lik MnO₂ katkıları eklenmiştir. Sentezlenen MnO₂'nin optimal karışım oranında motor gücünü ve yakıtın setan sayısını yükselttiğini, alev sıcaklığını, donma noktası ve viskozitesini ise düşürdüğünü ortaya koymuştur.

Yogaraj ve ark. (2021), Jatropha biyodizelin CI motorunda kullanılması incelenmiş ve biyodizel ile gümüş-dopeli titanyum dioksit (Ag-TiO₂) içeren bir karışım hazırlanmıştır. Deneyler, motorun ölçeklenmiş bir versiyonu olan Kirloskar TV1 tek silindirli motor üzerinde gerçekleştirmiştir. Motorun güç ve torkunu belgelemek için bir akım freni kullanılmış ve egzoz emisyonları beş gaz analizörü ve duman opasimetre ile ölçülmüştür. NO_x, CO ve CO₂ emisyonlarının değişimi, motorun performansı ve yanma verimliliği üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Katkı maddelerinin eklenmesiyle CO ve CO₂ emisyonlarında azalma görülürken, NO_x emisyonlarında artış meydana gelmiştir. Sonuç olarak, nano katkı maddelerinin, standart biyodizele kıyasla biyodizellerin performansını ve emisyonunu artırdığını göstermiştir. Motorun yanmamış hidrokarbon (UBHC) emisyonları üzerinde de etkili olduğunu göstermiştir. Ag-TiO₂ nanoparçacıklarının eklenmesiyle UBHC emisyonlarında azalma görülmüş, bu da daha iyi yanma sonucunda meydana gelmiştir.

Temizer (2010), bir litre dizel yakıtına, faz ayrışımını önlemek amacıyla dodekanol ve Mn metalinin yanı sıra %5, %10 ve %15 oranlarında metanol eklenerek çözeltiler oluşturulmuştur. Oluşturulan bu çözeltiler yakıtta kullanılıp, mangan katkı maddesinin motorun donma noktasını düşürme miktarı belirlenmeye ve performans üzerindeki etkileri incelenmeye başlandı.

Metanolün dizel yakıtının setan sayısını düşürdüğü, buna karşın MnO₂ katkısının setan sayısını artırdığı, ayrıca donma noktası, viskozite ve parlama noktası değerlerinde azalma meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Metanol oranı arttıkça dizel yakıttaki NO_x emisyon değerlerinin yükseldiği, CO emisyon değerlerinin ise azaldığı tespit edilmiştir.

Yenioğlu (2009), kanola yağdan üretilen biyodizele Cu, Mn ve CO tuzları eklenerek yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri araştırılmıştır. Kullanılan katkıları değerlendirildiğinde, değerlerinde viskozite en uygun azalmanın mangan ilavesinde olduğu görülmüştür. En iyi azalmanın ise akma noktasında yine mangan katkısı ile gerçekleştiği belirlenmiştir. Kullanılan ilave maddelerin belli ölçülerde eklenmesiyle azaldığı gözlemlendi ancak ilave maddesi oranının artmasıyla kimyasal-fiziksel özelliklerinde herhangi bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Biyodizel ve dizel yakıtının motor performansı değerlendirildiğinde, güç, tork ve özgül yakıt tüketimi üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı ortaya konmuştur.

Prabu (2018), bu deneysel çalışmada, bir tek silindirli doğrudan enjeksiyonlu dizel motorun performansını, yanma ve emisyon özelliklerini üç farklı yakıt serisi üzerinde inceliyor: biyodizel–dizel (B20), biyodizel–dizel–nanopartiküller

(B20A30C30) ve biyodizel–nanopartiküller (B100A30C30). Her biri 30 ppm olarak Alümina (Al_2O_3) ve Cerium oksit (CeO_2) gibi nanopartiküller, ultrasonikatör kullanılarak yakıt karışımlarına homojen bir şekilde karıştırmıştır. Nanopartiküllerin yüksek yüzey alanı/hacim oranı özellikleri, yanma sırasında karışma derecesi ve kimyasal reaktiviteyi artırarak dizel motorun performansını, yanma ve emisyon özelliklerini iyileştirmiştir. Nanopartiküllerin dağıtıldığı test yakıtı için motorun fren termal verimliliği (B20A30C30), B100'e kıyasla %12 oranında önemli ölçüde artarken, NO emisyonunda %30 azalma, karbon monoksit emisyonunda %60 azalma, hidrokarbon emisyonunda %44 azalma ve duman emisyonunda %38 azalma elde etmiştir. Nanopartiküllerin dağılmış test yakıtları için fren termal verimliliğindeki iyileşme, nanopartiküllerin daha iyi yanma ve atomizasyon özelliklerine sahip olmasıyla açıklamıştır. Biyodizelin oksijenli yapısı, duman opaklığının azalmasına neden olmuştur. Nanopartiküllerin biyodizel ve biyodizel karışımı ile işlenmesi, duman opaklık değerlerinde önemli azalmalara yol açmıştır. Nanopartiküllerin dağılmış test yakıtlarında, silindir basıncı ve ısı salınım hızı özelliklerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Tutuşma gecikmesi, kullanılan yakıtın türüne ve silindir şarjındaki konsantrasyona bağlı olarak değişmiştir. Biyodizelde nanopartikül katkı maddesi olarak kullanılan seryum ve alümina nanopartiküllerinin, tutuşma gecikmesi, silindir basıncı ve ısı salınım hızı özelliklerini azalttığı rapor edilmiştir.

Keskin ve ark. (2007), metil ester üretimi için yağ asitleri kullanılmış ve reçine asitleri, metalik yakıt katkı maddeleri üretmek amacıyla MnO_2 ve NiO ile belirli oranlarda reaksiyona sokulmuştur. Bu katkı maddeleri, dizel yakıtındaki performans değerlerini iyileştirmek için tasarlanmıştır. Test yakıtları, %60 biyodizel ve %40 dizel karışımı ile hazırlanmış ve 8 $\mu mol/l$ ve 12 $\mu mol/l$ oranlarında ilave katkı eklenmiştir. Metalik katkı maddelerinin biyodizele eklenmesi, viskozite ve akma noktası değerlerinde iyileşmeler sağlamış ve biyodizel yakıtlarının egzoz gazlarında CO emisyonlarını %64.28 oranında, duman opaklığını ise %30.91 oranında düşürmüştür. Ayrıca, biyodizel yakıtlarında NO_x emisyonlarının genel olarak minimum olduğu tespit edilmiştir.

Aalam ve ark. (2016), mahua metil ester karışımının (MME20) common-rail dizel motorundaki yakıt enjeksiyon basıncının yanma, performans ve emisyon özellikleri üzerindeki etkilerini incenmiştir. MME20'nin kullanılmasıyla, spesifik yakıt tüketimi (SFC) ve NO_x emisyonu artarken, fren termal verimliliği (BTE) azalmıştır. Bu durum, MME20'nin yanma özelliklerinin ve yakıt özelliklerinin, özellikle viskozite ve

uçuculuk gibi fiziksel özelliklerinin yanma sürecini ve dolayısıyla motor performansını etkilediğini göstermiştir. Yakıt enjeksiyon basıncının artması, daha iyi atomizasyon ve karışım oluşumu sağlayarak daha iyi yanma özellikleri ve daha düşük emisyonlarla sonuçlanmıştır. Bu durum, yüksek enjeksiyon basıncının, HC, CO ve duman seviyelerinin kademeli olarak düşmesine yol açtığını göstermiştir. CRDI dizel motorunun MME20 ile çalışması, tüm nominal yüklerde ve farklı enjeksiyon basınçlarında sorunsuz olduğunu göstermiştir. Mahua MME20'nin HRR'si saf dizelden daha yüksek olduğu için daha kısa bir tutuşma gecikmesi göstermiştir. Yakıt enjeksiyon basıncının artmasıyla iyileştirilmiş yakıt-hava karışımı sayesinde ısı salınım hızı ve yanma süreci ilerlemiştir. Yüksek enjeksiyon basıncı, efektif özgül yakıt tüketiminde azalma ve BTE'de artışla sonuçlanmıştır. Bu, yakıtın daha iyi atomizasyonu ve yanma verimliliği ile ilişkilendirmiştir. Ancak, fren termal verimliliğindeki azalma, MME20'nin daha yüksek ısıtma değeri ve yakıt tüketiminin artmasıyla ilişkilendirilmiştir. MME20'nin kullanılması, CO, HC ve duman emisyonlarında azalmaya neden olurken, NO_x emisyonlarında artışa yol açmıştır. Bu durum, yakıt enjeksiyon basıncının artmasıyla daha iyi atomizasyon ve yanma verimliliği ile ilişkilendirilmiştir. MME20'nin kullanılması, dizel motorların performansını ve emisyonlarını etkilemiştir. Yakıt enjeksiyon basıncının artmasıyla, daha iyi atomizasyon ve karışım oluşumu sağlanarak daha verimli bir yanma gerçekleştirilmiştir.

Sezer (2018), çeşitli dizel motor yakıtlarında nano materyal içeren katkıların kullanımının derleme sonuçlarını ortaya koymuştur. Bu katkılar, yakıt özelliklerini ve motor performansını iyileştirmek için potansiyel sunmuştur. Derlemede, nano materyal içeren katkıların alevlenme noktası sıcaklığını artırarak yakıt depolama ve nakliyesinde avantaj sağlayabileceğini göstermiştir. Nano materyal içeren katkılar, artırılmış yüzey alanı/hacim oranı, radyasyon/kütle transfer özellikleri ve tutuşma özellikleri sayesinde yanmanın iyileştirilmesine katkıda bulunmuştur. Emülsiyon yakıtlara nano materyal içeren katkıların eklenmesi, mikro patlamalar oluşturarak ikincil atomizasyon sağlamış ve dolayısıyla yanma verimini artırılmıştır. Bu katkılar genel olarak setan sayısı ve ısı değeri iyileştirirken, yoğunluk, viskozite ve alevlenme noktası sıcaklığı gibi özelliklerde düşük seviyelerde etkiye sahiptir. Tutuşma gecikmesi süresini kısaltarak yanmanın erken başlamasına ve yanma hızının artmasına katkıda bulunulmuştur. Sonuç olarak, nano materyal içeren katkılar genellikle motor performansını olumlu yönde etkilemiş, yakıt sistemi elemanlarına, motor elemanlarına ve egzoz gazı cihazlarına olan etkileri ekonomik ve çevresel açıdan dikkate alınması tavsiye edilmiştir.

3. DİZEL MOTORLAR

3.1. Dizel Motorların Tarihçesi

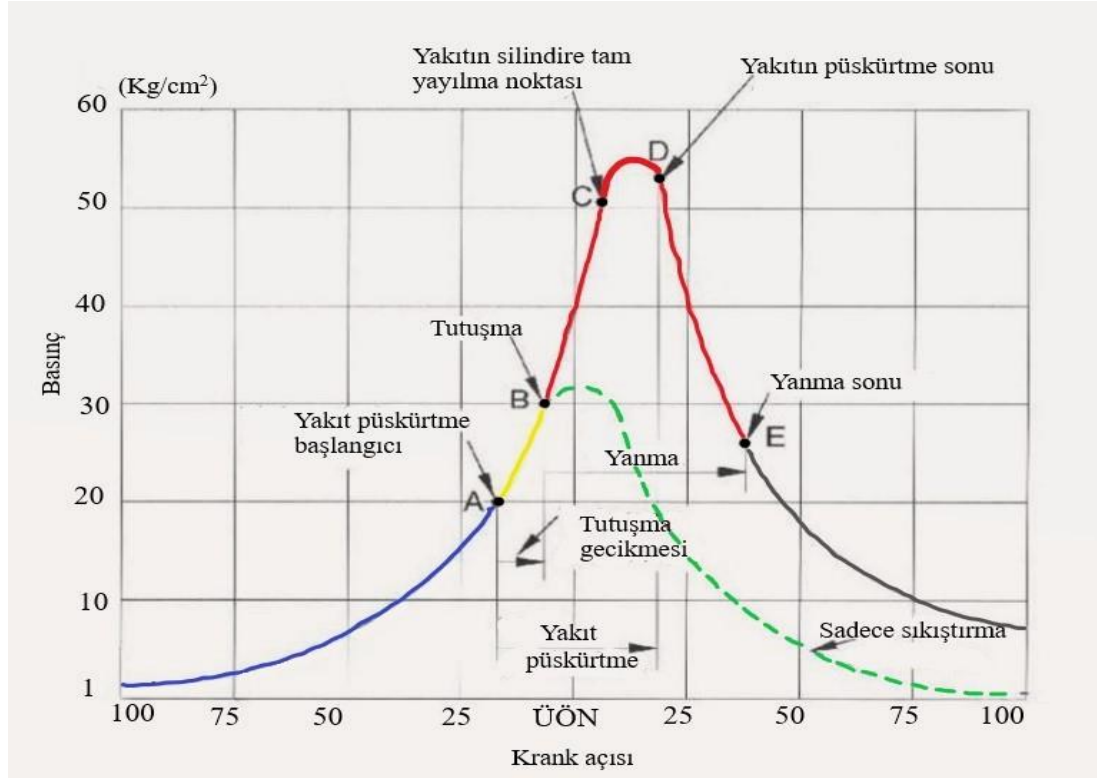
Fransız mühendis Nicholas Leonard Sadi Carnot, dizel motorlarının temel yapı taşlarını 1824 yılında ortaya koydu. Carnot, yanmanın yüksek basınç altında gerçekleşmesi ve yakıtın piston tarafından sıkıştırılması fikrini ortaya attı. Ayrıca, egzoz gazlarının ısını kullanma düşüncesini de dile getirdi, ancak bu fikir uzun süre kabul görmedi. Carnot'un 1832'deki ölümünden sonra, dizel motorunun ilkeleri üzerindeki araştırmalar devam etti. Rudolf Diesel, 1892'de motorun patentini aldı. Ancak, ilk denemelerinde yüksek sıkıştırma basıncı ve soğutulmayan pistonlar nedeniyle başarılı olamadı. Diesel, 1895 yılında daha gelişmiş bir motor üzerinde çalışmaya başladı. Bu motor, suyla soğutulan silindirlere sahipti ve daha yüksek bir termik verime ulaşıyordu. 1897 yılında, Diesel'in Man şirketiyle yaptığı işbirliği sayesinde, modern dizel motorlarının ilk versiyonu üretildi. Dizel motorları, içten yanmalı motorlardır ve kuvvetle sıkıştırılmış hava içine püskürtülen yakıtla çalışırlar. Alman şirketlerinin katkılarıyla geliştirilen bu motorlar, ilk olarak 1922'de kara taşımacılığında kullanılmaya başlandı. Denizcilikte kullanılan dizel motorlar ise 1929'da küçük tekneler için üretilmeye başlandı. Bu tarihten itibaren, kara taşıtlarında güçlü dizel motorlarının kullanımı artmıştır. Dizel motorlar İkinci Dünya Savaşı'nın başlarına kadar, demiryolu ulaşımı, gemiler, traktörler ve sanayi alanında enerji üretiminde geniş bir kullanım alanı buldu. Ancak, düşük enerji gerektiren alanlarda hala benzin motorları kullanılıyor (Akbal O., 2013).

3.1.1. Dizel Motorların Yanma Safhaları

Yanma süreci, dizel motorlarda, yakıtın püskürtülmesinden egzoz evresinin başlangıcına dek devam eden fiziksel ve kimyasal olayları kapsar. Bu süreç, yanma odasında yakıtın püskürtülmesiyle başlar ve egzoz zamanı başladığında yanma ürünlerinin dışarı atılmasıyla sona erer. Yanma süreci dört temel aşamadan meydana gelir; ateşleme gecikmesi, kontrolsüz yanma, kontrollü yanma ve art yanmadır.

Ateşleme gecikmesi, yakıtın püskürtülmesinin başladığı A noktasından, yanmanın başladığı B'ye kadar geçen süreyi ifade eder. Ateşleme gecikmesi sona

erdikten sonra kontrolsüz yanma B'den C'ye kadar devam eder ve maksimum basınç C noktasında oluşur. C'den D'ye kadar da kontrolsüz yanma devam eder. D noktasından itibaren kontrollü yanma aşaması başlar ve silindir içi sıcaklık maksimum düzeye ulaşana kadar devam eder. Son olarak En yüksek yanma tamamlandıktan sonra, silindirin iç sıcaklığı oda sıcaklığına düşene kadar art yanma E noktasına kadar sürer. (Safgönül ve ark., 1995).



Şekil 3.1. Bir dizel motorun yanma grafiği (Gökçe, 2022)

3.1.1.1. Tutuşma Gecikmesi

Ateşleme zamanında, sıkıştırılmış havaya püskürtülen yakıtın, ilk patlamayla birlikte meydana gelen ani basınç artışı sürecine tutuşma gecikmesi denir. Bu süreç, yakıtın ateşlenmesiyle başlar ve basınçtaki artışla sonuçlanır (Sarıkoc, 2019). Bu süreçte, yanma odasında sıkışmış hava üzerine yakıt püskürtülür, hava ile yakıt karışır ve buharlaşır. Tutuşma gecikmesi boyunca, dizel yakıtın ve havanın yanmaya elverişli hale gelmesi için gereken fiziksel ve kimyasal olaylar meydana gelir (Atmanlı, 2013).

3.1.1.2. Kontrolsüz (Ani) Yanma

Tutuşma gecikmesini takiben, kontrolsüz yanma evresi ana yanmanın gerçekleştiği ikinci aşamadır. Dış bölgesinde püskürtülen yakıtın buharlaşma ve havaya karışma süreçleri daha etkin bir şekilde gerçekleşir. Silindir içinde biriken yakıt ani bir şekilde kontrolsüz yanma sırasında, ateşlenir ve bu durum ani bir basınç artışına yol açar. Eğer basınç artışı hızlı olursa, silindirin içindeki parçalar birbirine çarparak keskin bir şekilde dizel vuruntusu meydana gelir. Sessiz ve dengeli bir şekilde dizel motorların çalışabilmesi için, tutuşma gecikmesinin azaltılması ve silindirde biriken yakıt miktarının kontrol edilmesi gereklidir. 0.2 ile 0.3 MPa/°KMA arasında dizel motorlarında basınç artış hızı büyük oranda değişir (Keskin, 2005).

3.1.1.3. Kontrollü (Difüzyon Kontrollü) Yanma

Silindir içinde meydana gelen maksimum basınç ile maksimum sıcaklık arasındaki zaman aralığıdır. Kontrolsüz yanma sonucu oluşan basınç, pistonun aşağı doğru hareket etmesiyle azalır, ancak silindir içindeki yanma devam ettiği için sıcaklık artmaya devam eder. Bu aşamada, silindire enjekte edilen yakıt oranı ayarlanılarak basınç ve sıcaklık kontrol altına alınmaya çalışılır (Heywood, 1988).

3.1.1.4. Gecikmiş (Art) Yanma

Kontrollü yanma sürecinden sonra, silindir içinde tam olarak yanmamış bir miktar yakıt kalabilir ve bu yakıt, genişleme sırasında yanmaya devam edebilir. Motor verimliliğini artırmak için bu artık yanma süresinin kısa olması önemlidir. Çünkü uzun bir artık yanma süreci, silindir kapağının, piston başının ve silindir yüzeylerinin aşırı ısınmasına neden olabilir; yapışkan kalıntılar ve karbon segman yuvalarında birikmesine yol açabilir. Bu tür sorunlar, motorun performansını olumsuz etkileyebilir ve motorun ömrünü kısaltabilir. Bu nedenle, kontrollü yanmanın optimize edilmesi, motorun verimliliğini ve dayanıklılığını artırmak için hayati bir öneme sahiptir (Öztürk, 2023).

3.2. Dizel Yakıtının Fiziksel Yapısı

3.2.1. Viskozite

Sıvının akışkanlığını engelleyen direnç, sıvıların hareket yeteneğini belirtir. Bu, sıvıların akıcılığını nicel olarak ifade eder. Viskozite değeri, sıvının o anda bulunduğu sıcaklıkta verilmelidir; çünkü sıvılar ısındıkça daha akıcı hale gelirler, yani daha az yoğun olurlar. Sıcaklık arttıkça, sıvının viskozitesi azalır (Heywood, 1988).

3.2.2. Yoğunluk

Silindire gönderilen yakıtın yoğunluğu, ideal hava-yakıt oranının sağlanabilmesi için hayati öneme sahiptir. Dizel yakıtının yoğunlukları genellikle $815-934 \text{ kg/m}^3$ aralığındadır. Bu yoğunluk değerleri, motorların yanma sürecini ve ısı verimini etkiler. Yüksek yoğunluk, aynı koşullar altında daha fazla yakıtın silindire iletilmesiyle yanmanın verimini düşürür, bu da yanmamış hidrokarbon miktarını artırarak egzoz emisyonlarını yükseltir (Acaroğlu ve ark., 2018).

3.2.3. Uçuculuk Noktası

Uçuculuk noktası sıvıların buharlaşmaya başladığı sıcaklığa denir. Küçük dizel motorlarda yüksek uçuculuğa sahip dizel yakıt kullanımı, yakıt tüketimini azaltırken emisyonları da minimum seviyeye getirir. Yakıtın düşük uçuculuk kapasitesi, viskozite, otomatik yanma noktası, setan sayısı ve yoğunluk gibi özellikler üzerinde de etkiye sahiptir (Nişancı, 2007).

3.2.4. Parlama Noktası

Yanma noktasından çok daha düşük bir değere parlama noktası sahiptir. Bu nokta, yakıtın yüzeyinin yanıp sönme hareketini gösterdiği andır. Parlama noktası, bir maddenin alev almaya başladığı en düşük sıcaklığı ifade ederken; yanma noktası, ateşleme sonrasında yakıtın kısa süre daha yanmaya devam ettiği en düşük sıcaklıktır. Yağlar için bu değer genellikle 300 °C'nin üzerindedir, ancak biyodizel için bu değer yaklaşık 220 °C civarındadır (Heywood, 1988).

3.2.5. Donma Noktası

Yakıtın katı hale geçtiği veya donduğu sıcaklık seviyesini donma noktası ifade eder. Soğuk hava koşullarında yakıtların kullanılabilirliğini bu değer belirler (Acaroğlu ve ark., 2018). Bir yakıt belirli bir sıcaklık sınırının altına düştüğünde, öncelikle kristalleşme başlar, daha çok soğuma ile donma başlamış olur. Donan yakıt, sistemi tıkamaya neden olarak aracın düzgün çalışmasını engelleyebilir. Yakıtın donma sıcaklığı genellikle çevresel sıcaklıktan 5 °C -10 °C daha düşük olmalıdır ki yakıtın donmasını önleyebilsin. (Özdemir, 2011).

3.2.6. Tortu ve Su

Tortu partikülleri ve su yakıt içinde önemli arızalara yol açabilir. İstenmeyen partiküller dizel yakıtta, yakıt pompasının parçalarının aşınmasına ve enjektörlerin hasar vermesine sebep olabilir (Acaroğlu ve ark., 2018).

3.2.7. Buharlaşma Noktası

Sıvı yakıtların silindir içinde tam olarak yanabilmesi için buharlaşması gereklidir. Bu buharlaşma için gerekli olan sıcaklık değeri belirlenmiştir. Soğuk iklimlerde bu değer genellikle yaklaşık 315 °C iken, ekvatorial bölgelerde ise bu değer 379 °C'ye kadar çıkabilmektedir (Heywood, 1988).

3.3. Dizel Yakıtının Kimyasal Yapısı

3.3.1. Setan Sayısı

Dizel motorların verimliliğini belirleyen önemli bir faktör olan setan sayısı, motorun kendiliğinden tutuşma kabiliyetini belirler (Uyumaz 2009). Yakıtın tutuşabilirliğini kontrol eden ve buna bağlı olarak tutuşma gecikmesini belirleyen setan sayısıdır. Tutuşma gecikmesini uzatan ve yanma odasında biriken yakıt miktarını da artıran düşük setan sayısıdır.

3.3.2. Dizel İndeksi

Setan sayısını belirlemek zor ve zaman alıcı bir süreç olduğundan, pratik bir alternatif olarak dizel indeksi parametresi kullanılabilir. Yakıtın dizel indeksi yükseldikçe, yanma karakteristiğinin iyileştiği ve verimliliğin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, dizel indeksinin yükselmesi, yakıtın tutuşma gecikmesini azaltarak dizel vuruntusunun azaldığını ortaya koymaktadır (Çanakçı, 2007).

3.3.3. Ateşleme Noktası

Silindir içerisinde ateşleme zamanına kadar kendi başı yanma eğiliminde olur dizel motorlarda kullanılan yakıtlar. Yüksek alevlenme noktasına sahip yakıtlar, daha düşük sıcaklıklarda tutuştuğundan motorun ilk çalışması daha sorunsuz olur (İlkılıç ve ark., 2005).

3.3.4. Kükürt Miktarı

Dizel yakıtta istenmeyen bir madde olan kükürt, ham petrolün içinde bulunur. Oksijenle reaksiyona girerek SO₂ dönüşür ham petrol yanarken. Egzozdan salınarak insan sağlığına ciddi zararlar verebilir SO₂. Yüksek miktarda kükürt, partikül filtresinin

dolmasına ve katalitik konvertörün hasar görmesine sebep olabilir." (Acaroğlu ve ark., 2018).

3.3.5. Kül Miktarı

Yakıtların yanması sonucunda geriye kalan yanmamış yakıtta kül adı verilir. Bu küller, yakıt içindeki suda ve motorun yağında çözünebilir küçük katı parçacıklardır. Yanma sürecinde oluşan kül miktarı, yakıt içindeki tüm yabancı maddelerin yanmasıyla belirlenir. Dizel yakıtında önemli bir faktör olan kül, enjeksiyon sistemi ve yakıt filtresinin tıkanmasına neden olabilir (Çanakçı, 2007).

3.3.6. Karbon Artığı

Karbon artığı, yakıtın tam olarak yanmamasından kaynaklanan bir durumdur ve karbon ve is oluşumunu ifade eder. Dizel yakıtındaki karbon artığı miktarı arttıkça, yanma sürecinde tamamen yanması zor olacak ve bazıları yanmadığı için is oluşturacaktır. Bu durum, delikleri tıkayarak enjektörü kullanılamaz duruma gelmelerine sebep olabilir (Çelik, 2015).

3.3.7. Aromatik Yüzdesi

Aromatikler, hidrokarbonlar içerisinde en yoğun olanıdır ve hacim birimi başına en yüksek enerji değeri sundukları için kurumlu yanma gerçekleştirirler. Yanma odasında biriken bu artık maddeler, yanma verimini düşürerek motorun performansını olumsuz etkileyebilir. Dizel yakıttaki aromatik bileşenlerin oranının azaltılması, hidrokarbon emisyonlarının direkt azalmasına yardımcı olur (Nişancı, 2007).

4. BİYODİZEL

Alternatif yakıtların evrimi, dünya genelindeki ulaşım sektöründeki artan enerji tüketimiyle birlikte ivme kazanmaktadır. Son 50 yılda küresel enerji talebindeki belirgin artış, enerji güvenliği ve çevre koruma konularını araştırmacılar için hayati öneme sahip kılmıştır. Fosil yakıtların gelecekteki kullanımıyla ilgili belirsizlikler, insanları alternatif yakıtlara yönlendirmektedir. Ancak, alternatif yakıtların mevcut enerji talebini sürdürülebilir bir şekilde karşılayabilme potansiyeli büyük umut vaat etmektedir (Ashok ve ark. 2017).

Alkoller ve biyodizel, dizel yakıt tüketimini ve emisyonları azaltma amacıyla en fazla araştırılan alternatif yakıtlar arasındadır. Biyodizel, aromatik bileşikler içermeyen, yüksek setan sayısı ve parlama noktası olan, mükemmel yağlama performansı sunan, toksik olmayan ve biyolojik olarak kolayca bozunabilen sürdürülebilir bir yakıt olarak değerlendirilmektedir (El-Seesy ve ark., 2019). Bitkisel yağlar, hayvansal yağlar, atık yemek yağları veya diğer uzun zincirli yağ asitlerinden elde edilen biyodizeller, yenilenebilir bir kaynak olarak görülür (Syafiuddin ve ark., 2020).

4.1. Biyodizelin Avantajları

- Dizel yakıtla karşılaştırıldığında biyodizelin parlama noktası daha yüksek derecededir. Bu özelliği sayesinde, biyodizel nakliye ve kullanım süreçlerinde dizel yakıtı göre daha güvenli bir seçenektir (Sayın, 2004),
- Biyodizel kullanımı, dizel yakıtına kıyasla çevresel etkilerde önemli iyileştirmeler sağlar. Örneğin, biyodizel kullanımıyla, ozon tabakasını incelten gaz emisyonları %50, partikül madde emisyonları %47, karbon monoksit emisyonları %48 ve yanmamış hidrokarbon emisyonları %67 oranında azalır. Bu, biyodizelin çevresel açıdan daha sürdürülebilir bir yakıt seçeneği olduğunu gösterir (Uluengin, 2017),
- Yenilenebilir enerji kaynakları, yerli sermaye ve yatırımla elde edilebilir ve geliştirilebilir. Bu durum, ülkenin kendi kaynaklarını kullanarak enerji bağımsızlığını artırmasına ve ekonomik kalkınmayı desteklemesine olanak tanır (Sayın, 2004),

- Çevre dostu ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının benimsenmesiyle fosil yakıtlara olan bağımlılığın azalmasını sağlar. Bu da, atmosfere salınan sera gazı miktarını azaltarak iklim değişikliğiyle mücadelede katkıda bulunabilir (Heywood, 1988),
- Biyodizel, zehirli olmayıp ve biyolojik olarak ayrıştırılabilir olup doğaya zarar vermeden parçalanabilir,
- Biyodizel, dizel motorlarında kullanıldığında herhangi bir değişikliğe gerek kalmadan kullanılabilir ve hatta motorun yağlamasına ek fayda sağlayabilir. Bu özellik, biyodizelin kullanımını kolaylaştırır ve dizel motorların verimliliği üzerinde olumlu etkileri olduğunu gösterir (İlkılıç, 2005).

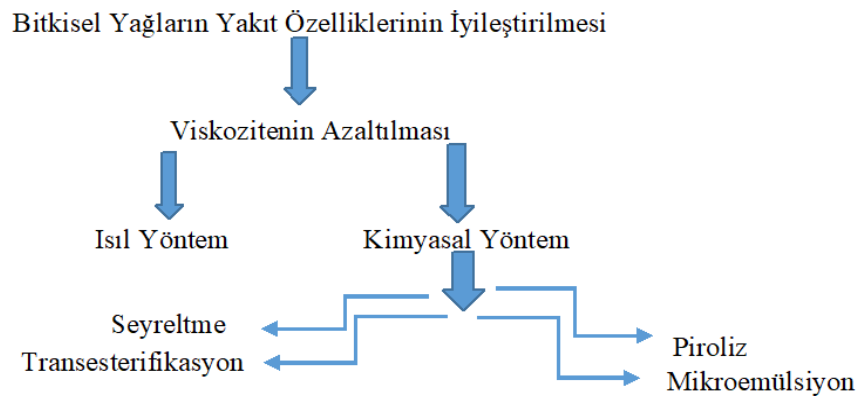
4.2. Biyodizelin Dezavantajları

- Dizel yakıtı göre daha az uçuculuğa sahip olup bu özellik, biyodizelin soğuk havalarda motor performansını olumsuz etkileyebileceği anlamına gelmektedir (Beyaz ve ark., 2023).
- Soğuk hava koşullarında, biyodizelin bulutlanma ile akma noktalarının daha yüksek olması dizel yakıtı göre, özellikle serin bölgelerde kullanımını önemli ölçüde sınırlayan bir faktördür. Bu durum, biyodizelin düşük sıcaklıklarda katılaşma eğilimi gösterdiğini ve bu durumun motorların çalışma performansını olumsuz etkileyebileceğini bildirilmektedir (Beyaz ve ark., 2023).
- Isıl değeri, dizel yakıtı kıyasla daha düşüktür, bu da daha fazla yakıt tüketimine neden olabilir. Bu durum, biyodizelin aynı enerji seviyesini elde edebilmek için daha büyük bir miktarda kullanılması gerektiğini gösterir.
- Biyodizel, bazı motor parçalarında karbon birikmesine neden olabilir. Bu durum, biyodizelin bazı motor parçalarında karbon oluşumuna katkıda bulunabileceğini ve bu durumun motor performansını olumsuz etkileyebileceğini gösterir (Sayın, 2004),

- Yüksek bozunabilirlik özelliğine sahip olduğundan, uzun süre depolanmaları sakıncalı olabilir. Bu özellik, biyodizelin stabilitesinin zamanla azalabileceği anlamına gelir, bu da depolama süresinin azaltır,
- Biyodizelin viskozitesi, dizel yakıtına kıyasla daha yüksek olduğundan bu durum, biyodizelin daha yoğun bir yapıya sahip olduğunu ve bu özelliğin bazı motorlarda akışkanlık sorunlarına neden olabileceğini ifade eder,
- Biyodizel emisyonlarında, dizel yakıtına kıyasla daha yüksek bir NO_x (azot oksit) miktarı bulunduğundan bu durum, biyodizelin belirli koşullar altında daha yüksek NO_x emisyonlarına neden olabileceğini gösterir, bu da yakıtın çevresel etkilerini değerlendirirken dikkate alınması gereken bir faktördür (Çanakçı, 2007).

4.3. Biyodizel Üretim Yöntemleri

Biyodizel yakıt, bitkisel, hayvansal ve geri dönüşüm yağlarından üretilir. Yağların yüksek viskoziteleri ve farklı özellikleri doğrudan kullanımda güçlükler yaratabilir. Bu yağların özelliklerini iyileştirmek, viskozitelerini düşürmek ve dizel yakıtına benzer performans elde etmek için çeşitli fiziksel ve kimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler arasında transesterifikasyon, proliz, mikroemülsiyon yapma ve seyreltme bulunmaktadır (Gürkan, 2019).

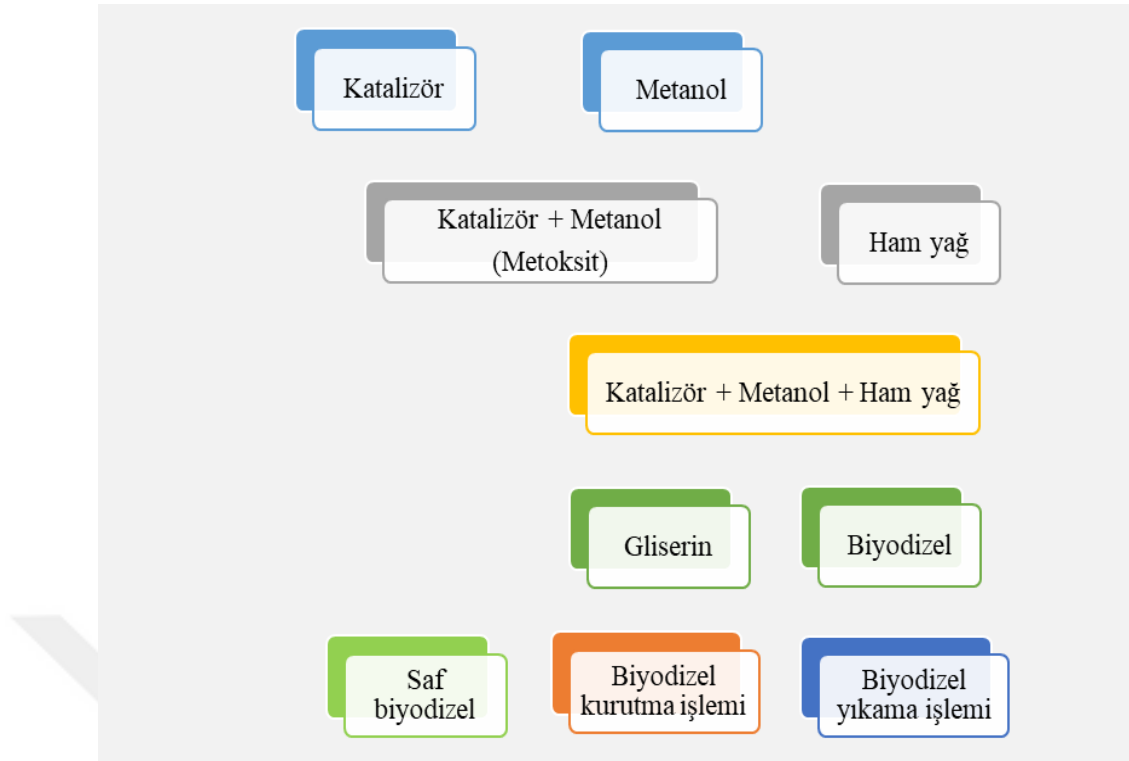


Şekil 4.1. Biyodizel üretim yöntemleri (Behçet ve ark., 2012)

4.3.1. Transesterifikasyon Yöntemi

Kısa reaksiyon süresi, basit üretim yöntemi ve yüksek verim sağladığı için biyodizel üretiminde en yaygın olarak kullanılan yöntem, transesterifikasyon tekniğidir. Transesterifikasyon, biyodizel yakıtının enerji değerini etkilemeden yağın viskozitesini düşürür. Bu işlemde en yaygın olarak metanol ve etanol gibi alkoller tercih edilir (Yıldırım, 2019).

Kısa zincirli alkollerle ve belirli bir katalizör eşliğinde reaksiyona girerek hayvansal ve bitkisel yağlardan, biyodizel ve gliserin üretilir. Bu transesterifikasyon işlemi, kimyasal ya da enzimatik katalizörler kullanılarak yapılabilir. Bu süreçte alkol miktarı, reaksiyonun kimyasal dengesini etkiler ve son ürünün verimini artırabilir. Bu reaksiyonda geri dönülebilir. Reaksiyon tamamlandığında elde edilen ürünler genellikle bir ayırma hunisine aktarılır. Biyodizel üst kısımda toplanırken, gliserin alt kısımda birikir. Bir sonraki aşamada, trigliseridler (yağlı organik bileşikler) ve alkol, biyodizel ve gliserin üretmek üzere reaksiyona girer (Cavalcante ve ark.,2020). Gliserin, baz ve sabun kalıntıları içerdiği için ham gliserin yan ürün olarak tanklarda birikir. Su ve alkol kalıntıları ayrıştırılarak ham gliserin elde edilir. Biyodizel ve gliserin karışımı ayrıldıktan sonra, biyodizelde bulunan düşük miktardaki baz ve sabun, saf su ile yıkanarak temizlenir ve reaksiyon karışımı nötralize edilir. Bu süreç sonucunda açık sarı renkte ve dizel yakıtına benzer viskozitede bir biyodizel üretilir (Özdemir ve ark., 2016). Transesterifikasyon süreci, serbest yağ asidi ve nem miktarı, katalizör türü ve miktarı, alkol/yağ oranı, reaksiyon sıcaklığı ve süresi, karıştırma yoğunluğu gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu yöntemde, kullanılan yağa göre uygun katalizör seçimi, reaksiyon sıcaklığı ve alkol oranı kritik öneme sahiptir (Ligterink ve ark., 2016).



Şekil 4.2. Transesterifikasyon reaksiyonun şeması (Aydın, 2010)

4.3.2. Proliz Yöntemi

Piroliz ya da kraking, kimyasal bağları daha küçük moleküllere dönüştürmek için uygulanan bir parçalama yöntemidir. Hayvansal yağlardan piroliz ürünleri elde etmenin iki temel yöntemi mevcuttur. Birincisi, hayvansal yağı kapalı bir kaptaki ısıtarak parçalara ayırmaktır. İkincisi ise Amerikan Test ve Malzemeler Birliği (ASTM) distilasyon standardına göre ısı parçalamadır. İkinci yöntemde, elde edilen distilatın saf hayvansal yağla kıyasla dizel yakıtı daha benzer özellikler taşıdığı belirtilmiştir (Türk, 2018).

4.3.3. Mikroemülsiyon Oluşturma Yöntemi

Bitkisel yağların viskozitelerini minimize etmek için metanol, etanol ve 1-bütanol gibi kısa zincirli mikroemülsiyonların kullanılması, başka bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Bibin ve ark., 2020). Mikroemülsiyon, 1-150 nm büyüklüğünde, optik olarak izotropik sıvı mikro yapılarının koloidal denge halinde dağılımını ifade eder.

Genellikle karışmayan iki sıvının, suyu seven ve sudan kaçan özelliklere sahip amfifilik bileşenlerle bir araya gelmesiyle oluşur. Bu sayede, yağ kullanılmadan alternatif dizel üretimi gerçekleştirmek mümkün hale gelir. Ancak mikroemülsiyon oluşturma yönteminin olumsuz yönü, düşük setan sayısına sahip alkollerin yakıtın setan sayısını düşürmesi ve düşük sıcaklıklarda ayrılmaya yatkın olmasıdır (Yıldız, 2021).

4.3.4. Seyreltme Yöntemi

Bitkisel ve atık yağların belirli oranlarda bir çözücü veya dizel yakıt ile karıştırılarak seyreltilmesi işlemine seyreltme yöntemi denir. Bu çözücüler arasında solvent, etanol, normal bütanol, aseton ve etanol-metanol karışımları bulunmaktadır (Ergen, 2016). Bu işlemler arasında daha fazla kullanılan yağın dizelle karıştırılmasıdır. Bu şekilde, yağın viskozitesi düşürülür ve dizel yakıtın kullanım oranı azaltılır (Özdemir ve ark., 2016). Bu yöntem doğrudan enjeksiyonlu dizel motorlarda uzun süreli kullanım için pek uygun değildir çünkü enjektör memelerinde viskozite artışı ve motor yağı birikimine neden olabilir (Yıldız, 2021).

4.4. Nanoteknoloji

Nanoteknoloji ve nanoölçekli bilimin detaylarına geçmeden önce, 'Nanobilim', 'Nanoölçek' ve 'Nanoteknoloji' terimlerinin tanımlarını yaparak konuyu daha net hale getirmek önemlidir. Yunanca 'Nano' ön eki, 'çok küçük adam' anlamına gelen 'nannos' kelimesinden türetilmiştir. Nano' ön ekinin kökeni incelendiğinde, bunun metrik sistemde bir ölçü birimi olduğu anlaşılır. Bilimsel birimlerde 'Nano', temel birimin milyarda biri olarak tanımlanır. Örneğin, bir saniye bir milyar nanosaniyeden oluşur. Nanoteknolojiden bahsettiğimizde, aslında bir büyüklük veya uzunluk ölçeğinden söz ediyoruz. Nanometre (nm) dediğimizde, bu ölçekteki nesneleri kastediyoruz. Eğer atom ve moleküllerin boyutlarını metre cinsinden tanımlamamız gerekseydi, bir hidrojen atomunun boyutunun 2.4×10^{-10} metre olduğunu söylememiz gerekecekti. Ancak, metrenin yerine nanometre kullandığımızda, bir hidrojen atomunun boyutunu 0.24 nm olarak ifade edebiliriz. Nanoölçek, nanoteknolojinin ilgilendiği büyüklük aralığıdır. Bu ölçekle ilgili daha küçük sınır değerler belirlenmiş olmasına rağmen, üst sınırı belirlemek oldukça zordur. Bir görüşe göre, bir şeyin nanoölçekte kabul edilmesi için,

boyutlarından en az birinin (uzunluk, genişlik veya derinlik) yaklaşık 100 nanometreden küçük olması gerekir (Allhoff, ve ark. 2017).

4.4.1. Nanopartikülün Gelişimi

1957'de Faraday, nano ölçeğin potansiyeline ilk dikkat çeken kişidir. Nanoteknolojinin ve nanopartiküllerin araştırılmasının temeli atan Faraday olsa da, nanopartiküllerin kullanımı çok daha eskiye dayanmaktadır. 6. ve 15. yüzyıllar arasında Avrupa'daki katedrallerin cam süslemelerinde ve 17. yüzyılda İslam Dünyası'ndaki seramiklerde, farklı renkler elde etmek için metalik nanopartiküller kullanılmıştır. Ancak, nanopartiküllerin bilimsel incelenmesi 19. yüzyılda başlamıştır. Faraday'ın altın nanopartiküller içeren koloitler üzerine çalışmaları, nanoteknolojinin temeli oluşturmuş ve birçok buluşa yol açmıştır. Nanometre kavramı ise ilk kez 1925'te Nobel ödüllü kimyager Richard Zsigmondy tarafından kullanılmıştır. Zsigmondy, nanopartiküllerin boyutunu ölçen ilk bilim insanıdır. Nanoteknolojinin ilerlemesine en büyük katkıyı taramalı tünelleme mikroskobu (STM) ve atomik kuvvet mikroskobunun (AFM) geliştirilmesi sağlamıştır. Bu teknolojiler sayesinde nano boyutlarda görüntüleme, ölçüm ve nanomalzeme işleme mümkün olmuştur (Anonim, 2024)

4.4.2. Nanopartikül İçerikli Yakıt Katkıları

Yakıt katkı maddesi olarak kullanılan nano malzemeler arasında alüminyum, gümüş, bakır, magnezyum, nikel, titanyum, çinko gibi metaller, bor gibi yarı metaller ve alümina, seryum dioksit, titanyum dioksit, demir(III) oksit, manyetit, bakır(II) oksit, mangan(II) oksit, magnezyum oksit gibi metal oksit nano akışkanlar yer alır (Dreizin, 2009), (Senthilraja, ve ark., 2010). Günümüzde, nano ölçekli silikon tozları ve nano gözenekli silikon plakalar ile tek veya çok katmanlı nano tüpler gibi malzemeler de enerji uygulamalarında kullanılmaktadır (Balamurugan ve ark. 2013).

Son dönemlerde, havacılık türbini yakıtı (Kerosin-K) içerisine alüminyum oksit (Al_2O_3) eklenmesi, dizel (D) yakıtına nano alüminyum (n-Al), nano gümüş (n-Ag), nano seryum (n-Ce), nano platin (n-Pt), nano demir (n-Fe), nano bor (n-B) gibi nano parçacıkların dahil edilmesi, dizel yakıtına Al_2O_3 , çinko oksit (ZnO), demir(II) oksit (Fe_2O_3) ve demir(III) oksit (Fe_3O_4), bakır oksit (CuO), kobalt oksit (Co_3O_4), titanyum oksit (TiO_2), grafit oksit (GO), seryum oksit (CeO_2), mangan oksit (MnO), mangan

dioksit (MnO_2), magnezyum oksit (MgO), kalsiyum oksit (CaO) gibi nano akışkanların eklenmesinin etkileri çeşitli bilim insanları tarafından araştırılmıştır (Sezer, 2018).



5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Deney Düzeneği ve Deneysel Yöntem

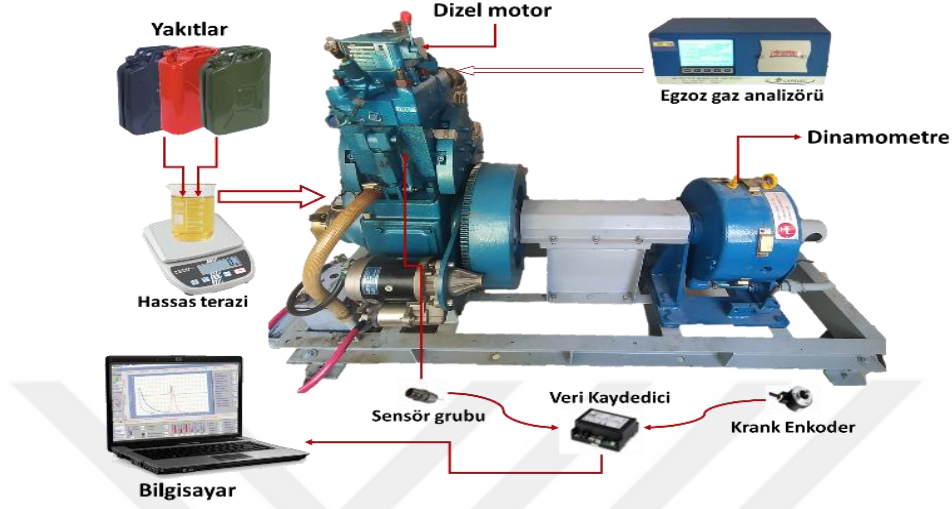
Gerçekleştirilen deneysel çalışma, Batman Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü Motor Laboratuvarında tek silindirli, dört zamanlı, değişken sıkıştırma oranlı, su soğutmalı bir dizel motor olup özellikle endüstriyel ve deneysel kullanım için tasarlanan Kirloskar markalı dizel motor kullanılarak yapılmıştır. Test motoru düzeneği Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Deneyler, Eddy Current dinamometrenin farklı ortalama efektif yüklerinde (0.3 bar, 1.5 bar, 3 bar ve 4.5 bar) dizel motorun sabit 1550 dev/dak hızıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.1. Deney düzeneğinin genel görünümü

Deneyler sırasında motorun egzoz emisyonları CAPALEC CAP 3200 gaz analiz cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Silindir içi basınç ölçümleri Optrand D33294-Q basınç sensörü ile 1.35 mV/PSI hassasiyetinde yapılmıştır. Deneylere başlamadan önce motor yağı, yağlayıcı ve hava filtresi kontrol edilmiştir. Egzoz sıcaklıkları sabit koşullara ulaştıktan sonra motor ölçümlerine başlandı. Deneyler ilk olarak dizel yakıtla (DY100) ön veriler alındıktan sonra sırasıyla B35, B65, B35+60ppm MgO, B35+120ppm MgO, B65+60ppm MgO, B65+120ppm MgO test yakıtları ile sabit deney koşullarında yanma ve emisyon parametre değerleri alınmıştır. Deney sırasında ortalama gaz sıcaklığı, silindir basıncı, basınç artış oranı, kümülatif ısı salınımı, net ısı salınımı verileri

ICEEngineSoft_9.0 yazılımı kullanılarak her parametre için on çevrimin ortalaması alınacak şekilde kaydedilmiştir. Aynı deney koşullarında her yakıt numunesi için sırası ile emisyon değerleri ölçülmüş olup, deney düzeneğinin şematik Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Deney düzeneğinin şematik gösterimi

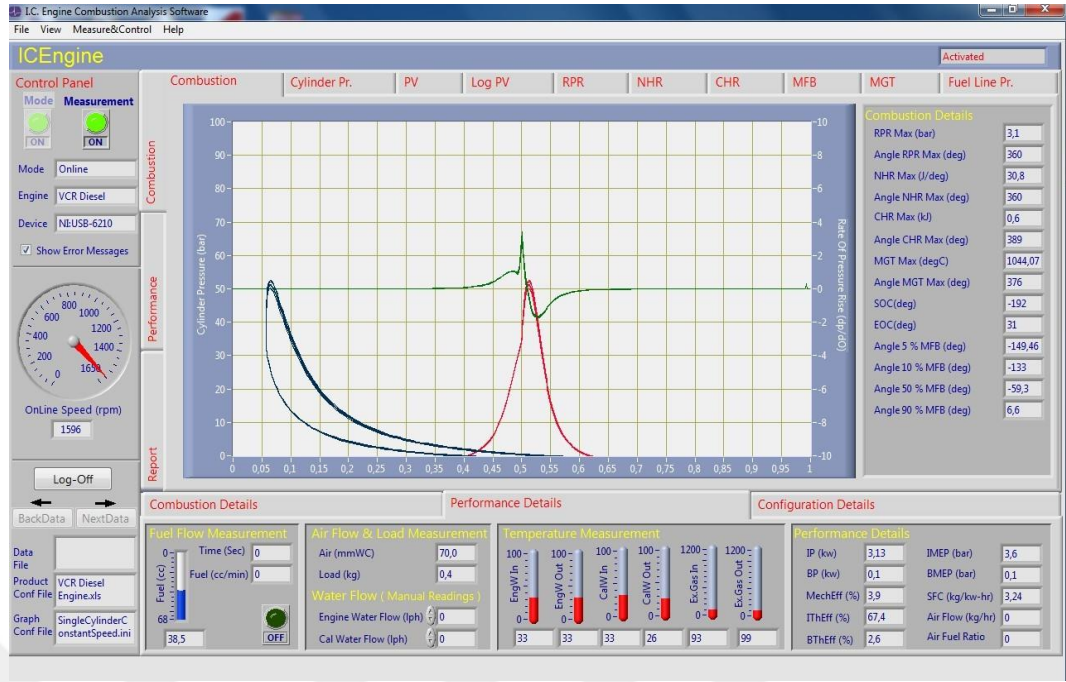
Tablo 5.1’de, yanma ile emisyon değerlerinin belirlenmesinde kullanılan dizel motorunun teknik özellikleri verilmiştir. Test yakıtları, dizel deney motorunda yanma ve emisyon ölçümleri için 0.3 bar, 1.5 bar, 3 bar ve 4.5 bar ortalama efektif basınç seviyelerinde ve aynı test şartlarında deneysel veriler alınmıştır.

Tablo 5.1. Kirlaskor dizel araştırma motorunun özellikleri

Motor modeli	Kirlaskor TV-1
Gücü (Kw)	5.2
Hacmi (cc)	661
Silindir Adedi	1
Sıkıştırma Katsayısı	17:1
Silindir Çap Ölçüsü (mm)	87
Strok Adedi	4
Strok Mesafesi (mm)	110
Yük Ölçeri	0-50 kg
Püskürtme öncesi zaman	0-25
Soğutma Türü	Su Soğutmalı
Dinamometre Soğutma tipi	Su Soğutmalı
Dinamometre Türü	Eddy Current

5.2. Yanma Analizi Programı

Gerçekleştirilen testlerde motorun yanma ve performans verilerinin analizinde IEngineSoft_9.0 yazılımından faydalanılmıştır. IEngineSoft 9.0, akademik araştırmalar, motor geliştirme projeleri ve performans testleri gibi çeşitli alanlarda kullanılan bir yazılımdır. Bu program motordan aldığı verileri eş zamanlı olarak bilgisayara aktararak işlemektedir ve ekran görüntüsü Şekil 5.3'te sunulmuştur.



Şekil 5.3. IEngineSoft_9.0 yanma programının ekran görüntüsü

5.3. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı

Deneylerde, emisyon ölçüm cihazı olarak CAPELEC CAP 3200 model kullanılmıştır. B65, B35, B65+120ppm MgO, B65+60ppm MgO, B35+120ppm MgO ve B35+60ppm MgO test yakıt karışımları egzoz gazı analiz cihazı kullanılarak değerlendirilmiştir. CO₂, CO, HC, NO_x ve O₂ emisyon değerleri altı farklı yakıt için ölçülmüştür. Şekil 5.3'te egzoz gazı analiz cihazı gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Egzoz emisyon cihazı

Deneylerde kullanılan egzoz emisyon cihazının teknik detayları, CAPELEC CAP 3200 model dizel ve benzinli emisyon ölçüm cihazı için Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Egzoz emisyon cihazının özellikleri

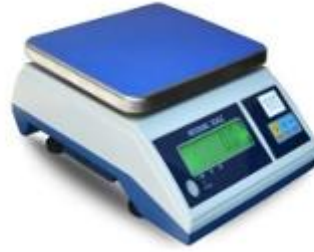
Araç tipi	Dizel + Benzin
O ₂ ölçüm aralığı	0 - % 21.7
CO ₂ ölçüm aralığı	0 - % 20
HC ölçüm aralığı	20.000 ppm
CO ölçüm aralığı	0 - % 15
N duman yoğunluğu	0 - % 100
K opaklık	0 - % 9.99
NO _x ölçüm aralığı	0 – 5.000 ppm
Motor dönüş hızı	0 – 10.000 rpm
Yağ ısısı	0 - 150 °C
Kütlesi	7 kilogram
Gerilimi	220 V AC

Bu cihaz, hem dizel hem de benzinli araçların egzoz emisyonlarını ölçebilen, O₂, CO₂, CO, HC ve NO_x gibi gazları hassas bir şekilde analiz eden taşınabilir ve çok yönlü bir emisyon ölçüm cihazıdır. Dizel motorlar için duman yoğunluğu ve opaklık ölçümü yapabilir, ayrıca motor dönüş hızı ve yağ sıcaklığı gibi parametreleri değerlendirebilen,

hafif (7 kg), kolay taşınabilir, 220V AC ile çalışan ve hem araç muayenesi hem de teknik araştırmalarda kullanılan profesyonel bir cihazdır.

5.4. Hassas Terazı

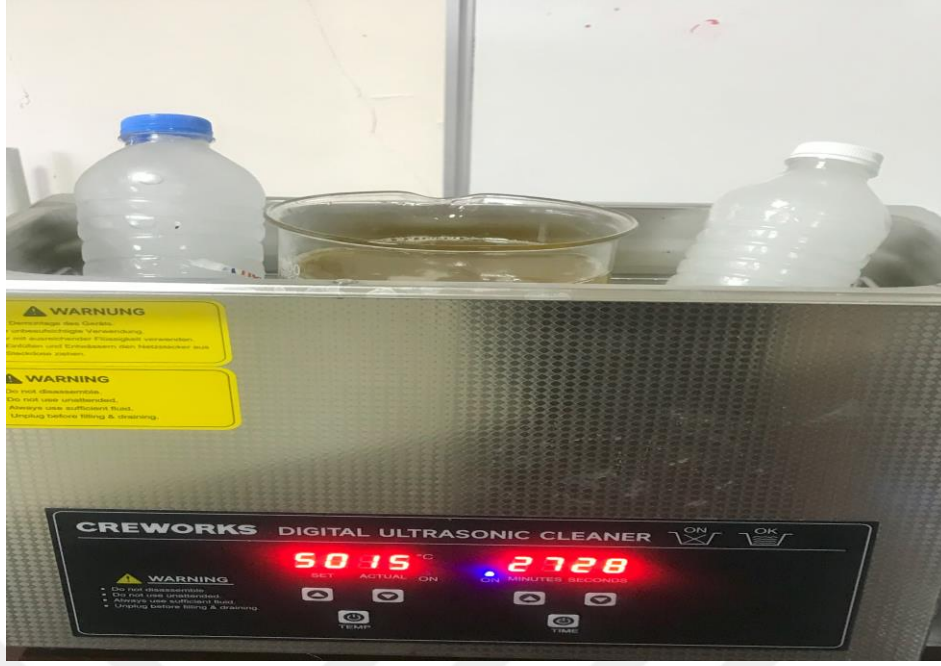
Yakıt örneklerinin tartımı ve metal MgO nanopartikülü 60ppm ve 120ppm olarak ayarlamak amacıyla, laboratuvar ve endüstriyel uygulamalar için tasarlanmış, yüksek hassasiyetli bir elektronik terazi olan Denver Instrument marka TP-1502 model, 185 ± 0.0001 gram hassasiyetli ve 0.01 gram okunabilirlik özelliklerine sahip hassas terazi Şekil 5.4’de kullanıldı.



Şekil 5.4. Testlerde kullanılan hassas terazi

5.5. Manyetik Karıştırıcı

Test yakıtlarının hacimsel olarak ve katkı maddeleriyle birlikte homojen karışımını sağlamak amacıyla CREWORKS 30L Dijital Ultrasonik Cleaner, 600W Isıtıcılı Dijital Zamanlayıcı LED manyetik karıştırıcının haznesi suyla dolduruldu ve etrafına buz blokları eklenerek 30 dakika boyunca karıştırma işlemi yapıldı ve Şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Ultrasonik Karıştırıcı

5.5. Deneyde Kullanılan Yakıtlar

Bu araştırmada, deneylerde kullanılmak üzere Batman Yeniköy Mahallesi Güney Çevre Yolu Geçitsan Akaryakıt istasyonundan dizel yakıt, ITS Caleb Brett Deniz Survey A.Ş. İskenderun Laboratuvarından aspir biyodizel, MgO nanopartikül de Dicle Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümünde tedarik edilmiştir. Biyodizel ve dizel yakıtlar belirli oranlarda karıştırılıp uygun miktarda MgO nanopartikül eklenerek, test yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Test yakıtları, hacimsel içeriklerine göre adlandırılmıştır.



Şekil 5.6. Kullanılan test yakıtlar

1000 ml’lik dizel ve aspir biyodizel yakıt karışımları hazırlanmış, ardından B35 ve B65 karışımlarına sırasıyla 60ppm ve 120ppm MgO nanopartikülleri ilave edilmiştir. Bu işlemler sonucunda B35+120ppm MgO, B35+60ppm MgO, B65+120ppm MgO ve B65+60ppm MgO türünde yakıtlar hazırlanmıştır. Karışım oranları ise Tablo 5.3'te gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Test yakıtları ve fiziksel oranları

B35	%35 Aspir Biyodizel + % 65 Dizel yakıtı
B65	%65 Aspir Biyodizel + % 35 Dizel yakıtı
B35+120ppm MgO	%35 Aspir Biyodizel + % 65 Dizel + 120ppm (MgO)
B35+60ppm MgO	%35 Aspir Biyodizel + % 65 Dizel + 60ppm (MgO)
B65+120ppm MgO	%65 Aspir Biyodizel + % 35 Dizel + 120ppm (MgO)
B65+60ppm MgO	%65 Aspir Biyodizel + % 35 Dizel + 60ppm (MgO)

Dicle Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Teknolojileri Bölümünde tedarik edilen MgO nanopartikül katkısının özellikleri Tablo 5.4.’de gösterilmiştir.

Tablo 5.4. Metal MgO nanopartikül maddenin özellikleri (Çılğın ve ark., 2024)

Özellikler	Değer
Safılık	≥ (%) 99.5
Şekli	Çok yüzeyli
Renklilik	Ak
Yoğunluk (kütle) (g/cm ³)	0.2
Yoğunluk (öz) (g/cm ³)	3.6
Tane ölçüsü (ortalama) (nm)	20 - 50
Yüzey alanının özgülüğü (m ² /g)	> 65

Metal MgO nanopartikül katkı maddesi yüksek saflığı, küçük boyutları ve geniş yüzey alanı sayesinde enerji uygulamalarında verimliliği artırmak ve çevresel etkileri azaltmak için kullanılmaktadır.

ITS Caleb Brett Deniz Survey A.Ş. İskenderun Laboratuvarından tedarik edilen aspir biyodizelin özellikleri Tablo 5.5.'de gösterilmiştir.

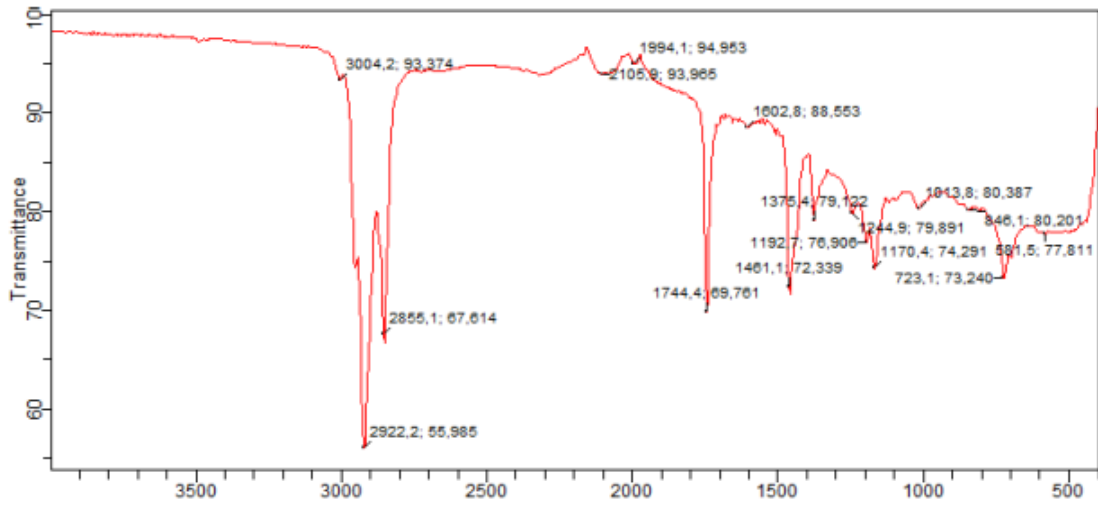
Tablo 5.5. Saf aspir biyodizelin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Özellik	Birim	Sonuç	Özellik	Birim	Sonuç
Yoğunluk	kg/m ³	883.8	İyot Sayısı / 100 g	g I ₂ /100g	63
Viskozite	mm ² /s	4.397	Mono Gliserit Miktarı	% wt	0.10
Toplam Kirlilik	mg/kg	1.0	Di Gliserit Miktarı	% wt	0.04
Oksidasyon Kararlılığı	Saat	11.0	Tri Gliserit Miktarı	% wt	0.01
Parlama Noktası	°C	175.0	Serbest Gliserit Miktarı	% wt	0.00
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası	°C	-6	Toplam Gliserit Miktarı	% wt	0.14
Metanol	% (m/m)	0.00	Ester	% (m/m)	97.6
Su	% (m/m)	0.020	Linolenik Asit Metil Esteri	% (m/m)	9.0
Sülfatlanmış Kül	% (m/m)	0.002	Çoklu Doymamış Metil Esterler	% (m/m)	0.1
Kükürt	mg/kg	<1.9	Asit Sayısı	mg KOH/g	0.25
Fosfor	mg/kg	<1.0	Bakır Şerit Korozyonu	derece	1a
Metaller (Na, K)	mg/kg	2	Setan Sayısı	-	51.1
Metaller (Ca, Mg)	mg/kg	1			

Aspir bitkisinden elde edilen yağın metanol veya etanol ile transesterifikasyonu sonucu üretilen yenilenebilir bir biyoyakıttır. Aspir biyodizel, çevre dostu, enerji

verimli, düşük emisyonlu bir yakıt olup, sürdürülebilir enerji sistemlerinin önemli bir bileşenidir. Fosil dizel yakıtına ekonomik ve çevresel açıdan güçlü bir alternatiftir.

B35+120ppm MgO Yakıtın FTIR Analizi, Dicle Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde yapıldı. Nanopartikül katkılı biyodizellerde kimyasal yapı, oksidasyon kararlılığı ve katkı maddelerinin etkilerini anlamak için kritik bir yöntemdir. Bu analizle, nanopartiküllerin biyodizelin performansını artırıp artırmadığı ve stabilitesini nasıl etkilediği konusunda doğrudan bilgi sağlanmaktadır.



Şekil 5.7. B35+120ppm MgO Yakıtın FTIR Analizi

Şekil 5.7’de görülen B35+120ppm MgO Yakıtın ekstraktının ATR-FTIR’ı 3004, 2922, 2855, 2105, 1744, 1602, 1461, 1375, 1244, 1013 ve 581 cm⁻¹’de absorpsiyon bantlarını göstermektedir.

3004 cm⁻¹’de ki pikin Olefinik HC=CH gerilimi: doymamış lipiler, kolesterol esterler olabileceği düşünülebilir. Nanopartiküller, biyodizelin yapısal bileşenlerinde önemli bir değişikliğe neden olmamış ve alifatik hidrokarbon yapısı korunmuş görünüyor.

2922 ve 2855 cm⁻¹’de ki önemli pik noktaları CH₃ veya CH₂ ye bağlı başlıca lipid ve az oranda protein, karbonhidrat, nükleik asit gerilme pik noktaları olarak ifade edilebilir. 2105 cm⁻¹’deki pikler (-C≡N veya -C≡C-) çekme titreşimine karşılık gelmektedir.

1744 cm⁻¹’de ve 1602 de yer alan piklerin amin (C=N) gruplarının varlığına veya Ester Karbonil C=O gerilimi: trigliserit ve kolesterol esterlerine işaret edebilir (İpek ve ark., 2023; Sadeghi ve Gholamhoseinpoor, 2015). Biyodizelin ester içeriği bu bölgede

belirgin görülmektedir. Metal MgO nanopartikül madde, biyodizelin ester içeriğini koruyarak motor veriminin artırılmasına yardımcı olabilmektedir.

1461–1244 cm^{-1} 'deki pikler aromatik halkada bulunan amin gruplarının C–N gerilme bandından kaynaklanır. 1375 deki pikin COO- simetrik gerilimi: yağ asitleri, 1013 cm^{-1} 'deki belirgin zirve proteinlerden gelen -C-O bağının gerilme titreşimiyle de ilişkilendirilebilir (Sadeghi ve Gholamhoseinpoor, 2015; Gabriela ve ark., 2017).

Metal MgO nanopartikülleri, bu bileşenlerin miktarını veya yapısını değiştirmemiştir. Aynı zamanda bu bileşiklerin karışımdaki homojenliğini artırdığı düşünülebilir bu da Metal MgO nanopartikülün biyodizelin temel kimyasal yapısına müdahale etmediğini göstermektedir.

Tablo 5.6. Test yakıtlarının analiz sonuçları

Yakıt	Yoğunluk	Viskozite	FP	Donma Noktası	Setan İndeksi
	g/cm^3	mm^2/s	$^{\circ}\text{C}$	$^{\circ}\text{C}$	
B35	0.856	3.3946	70	-1.5	50.40
B65	0.865	3.8482	82	-0.8	53.76
B35+ 60ppm MgO	0.854	3.3798	70	-0.8	51.00
B35+ 120ppm MgO	0.851	3.4051	70	-0.4	54.07
B65+ 60ppm MgO	0.865	3.8424	80	0.6	52.74
B65+120ppm MgO	0.865	3.8236	80	0.3	51.95

Metal MgO nanopartikül madenin aspir biyodizelin yoğunluk ve parlama noktası üzerinde minimal etkiler gözlemlenirken, setan indeksi parametresini önemli ölçüde iyileştirmiştir. B35+120ppm MgO yakıtında viskozite biraz artmıştır ancak bu değişiklik motor performansını olumsuz etkilemeyecek seviyededir.

Tablo 5.7. Test yakıtlarının distilasyon sonuçları

Damıtma	B35	B65	B35+60ppm MgO	B35+120ppm MgO	B65+60ppm MgO	B65+120ppm MgO
IBP	163.30	172.20	165.40	169.00	174.50	174.30
5%	205.60	239.90	204.60	210.20	235.80	232.60
10%	226.00	269.10	224.60	231.50	265.50	260.80
15%	242.10	285.90	239.40	245.90	283.70	278.90
20%	254.60	298.10	251.60	258.30	295.10	291.50
30%	274.50	313.30	272.50	280.50	309.40	307.70
40%	292.00	322.50	289.90	296.50	318.20	317.00
50%	305.80	328.30	304.00	310.50	324.10	323.20
60%	316.00	332.20	314.80	321.30	327.90	327.20
70%	323.70	335.10	323.10	328.60	330.60	330.00
80%	329.40	337.60	329.00	334.20	333.30	332.40
85%	332.00	339.00	332.00	336.90	334.90	333.80
90%	334.90	340.90	335.30	340.20	337.60	336.00
95%	338.30	343.90	339.80	344.90	343.70	339.70
FBI	350.30	351.10	351.80	354.70	351.80	342.60

MgO katkılı biyodizellerin distilasyon eğilimi, saf biyodizel yakıtlara çok benzemekle birlikte, bazı küçük değişiklikler gözlemlenmektedir. MgO nanopartikülleri, biyodizelin distilasyon özelliklerini değiştirmiş, ancak bu değişiklikler genellikle küçük ve genellikle kaynama noktalarının hafifçe artması şeklindedir.

Biyodizel türleri (B35 ve B65) arasında kaynama noktaları açısından belirgin farklar görülmekte, ancak MgO nanopartikül eklemesi, distilasyon davranışını çok büyük ölçüde değiştirmemiştir.

6. DENEYSEL ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

6.1. Silindir Gaz Basıncı ve Net Isı Salınımı

Test yakıtlarının sabit 1550 dev/dk hızında ve 0.3 bar OEB, 1.5 bar OEB, 3 bar OEB ile 4.5 bar OEB yük seviyelerinde elde edilen silindir gaz basıncı değerlerinin krank mili açısına göre değişimleri, bar cinsinden ve net ısı salınımları J/KMA cinsinden Şekil 6.1, 6.2, 6.3 ve 6.4'te gösterilmiştir. Şekillerde dizel yakıt, dizel + aspir biyodizel ve 60, 120ppm MgO karışımlarının 4 farklı yük değerinde silindir içi basınç ve net ısı salınım değerleri gösterilmektedir.

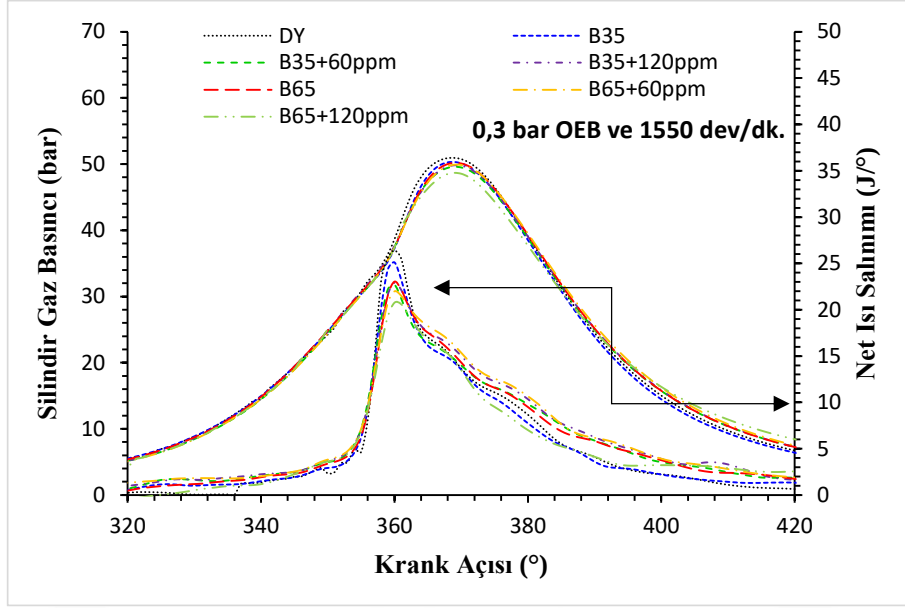
0.3 bar OEB yükünde en yüksek silindir içi basınç değeri 50.76 bar ile DY kullanılan karışımında; en düşüğe 48.55 bar ile 120ppm MgO ilaveli B65 karışımında Şekil 6.1 de tespit edilmektedir. Silindir gaz basıncı açısından, en yüksek (DY) ve en düşük (B65+120ppm) yakıtlar arasındaki fark %3.85 olarak görülmektedir.

1.5 bar OEB anında en yüksek silindir içi basınç değeri 54.43 bar ile 120ppm MgO ilaveli B35 karışımında; en düşüğe 47.07 bar ile B35 karışımında Şekil 6.2 de görülmektedir. Silindir gaz basıncı açısından, en yüksek (B35+120ppm), en düşük (B35) yakıtlar arasındaki fark %15.64 olarak görülmektedir. Burada Metal MgO nanopartikül madenin yanmaya olumlu bir etkisinin olduğu söylenebilir.

3 bar OEB anında en yüksek silindir içi basınç değeri 59.61 bar ile B35 karışımında; en düşüğe 53.19 bar ile 60ppm MgO ilaveli B65 karışımında Şekil 6.3 de gösterilmektedir. Silindir gaz basıncı açısından, en yüksek (B35), en düşük (B65+60ppm) yakıtlar arasındaki fark %12.07 olarak görülmektedir.

4.5 bar OEB anında en yüksek silindir içi basınç değeri 61.14 bar ile B35 karışımında; en düşüğe 53.95 bar ile 120ppm MgO ilaveli B65 karışımında Şekil 6.4 de gösterilmektedir. Silindir gaz basıncı açısından, en yüksek (B35), en düşük (B65+120ppm) yakıtlar arasındaki fark %13.96 olarak görülmektedir.

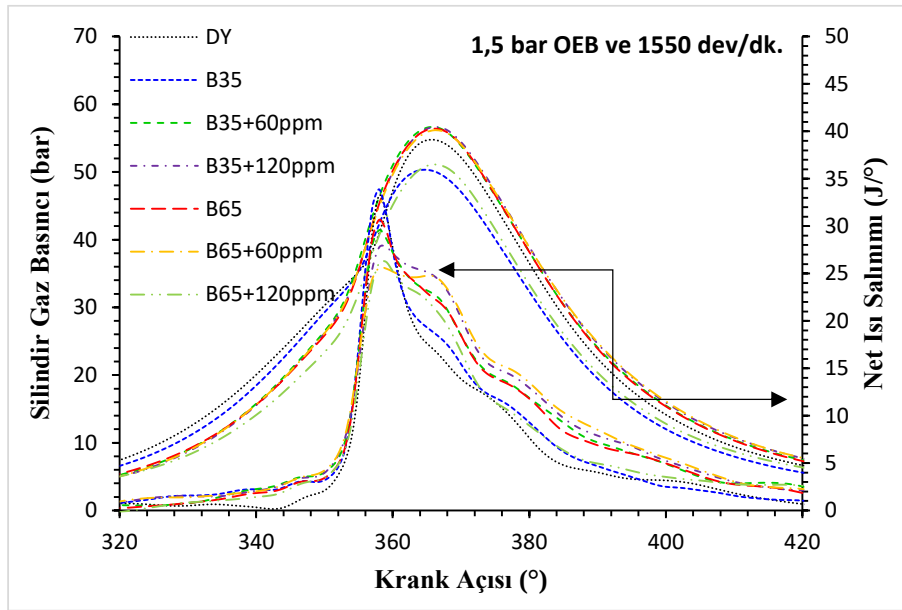
Yük miktarı arttıkça bütün test yakıtları için silindir gaz basınçları artmış olup B65+120ppm yakıtın 1.5 bar ve 3 bar OEB'de yanmayı iyileştirdiği görülmektedir. Deviren ve ark. (2023) yaptığı çalışmasında benzer sonuçlar tespit edilmiştir. 4.5 bar OEB de ise B35+120ppm yakıtında yanmaya pozitif bir katkı yaptığı görülmektedir.



Şekil 6.1. 0.3 OEB yüküne göre silindir gaz basıncı ve net ısı salınım hızının değişimi

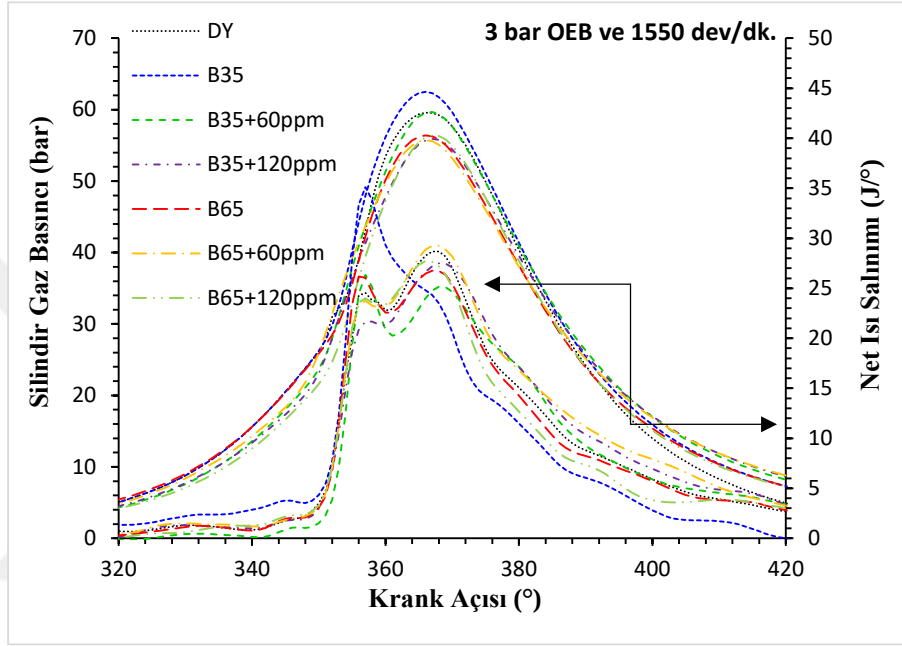
0.3 bar OEB parametresinde yapılan analizde, 360° KMA açısında net ısı salınımı değerleri, sırasıyla DY, B35, B65, B35+120ppm, B35+60ppm, B65+60ppm ve B65+120ppm yakıtlar için en yüksek 26.39 J/° ve en düşük 20.75 J/° olarak tespit edilmiştir. Bu veriler Şekil 6.1'de verilmiştir. Yakıtlar arasında ölçülen net ısı salınımı en yüksek (DY), en düşük (B65+120ppm) farkı %27.19 olarak görülmektedir.

En yüksek (DY) ve en düşük (B65+120ppm) yakıtlar arasındaki net ısı salınımı farkı %27.19'tür.



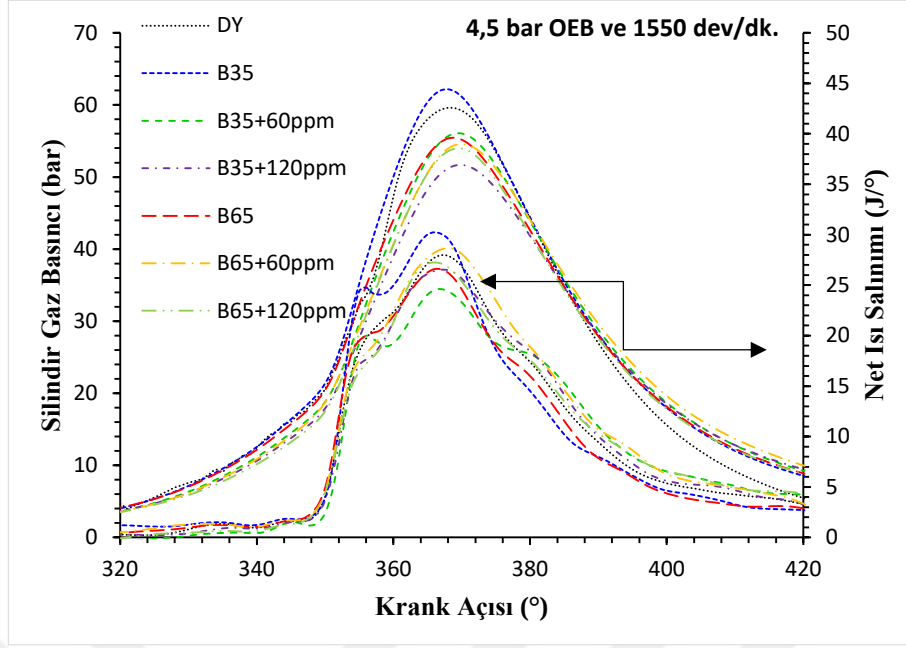
Şekil 6.2. 1.5 bar OEB yüküne göre silindir gaz basıncı ve net ısı salınım hızının değişimi

1.5 bar OEB parametresinde yapılan analizde, 360° KMA açısında net ısı salınımı değerleri en yüksek DY, B35, B65, B35 +60ppm, B35+120ppm, B65+120ppm, B65+60ppm yakıtlar için sırasıyla en yüksek 27.72 J/° en düşük 25.20 J/° olarak tespit edilmiştir. Bu veriler Şekil 6.2'de verilmiştir. Yakıtlar arasındaki net ısı salınımı farkı %10.00 olarak belirlenmiş olup en yüksek (DY), en düşük (B65+60ppm) olarak görülmektedir.



Şekil 6.3. 3 bar OEB yüküne göre silindir gaz basıncı ve net ısı salınım hızının değişimi

3 bar OEB parametresinde yapılan analizde, 360° KMA açısından net ısı salınımı değerleri en yüksek B35, B65+120ppm, B65+60ppm, DY, B65, B35+120ppm, B35+60ppm yakıtlar için en yüksek 29.30 J/° en düşük 20.87 J/° olarak tespit edilmiş ve Şekil 6.3'de verilmiştir. Yakıtlar arasında net ısı salınımı en yüksek (B35), en düşük (B35+60ppm) farkı %40.39 olarak görülmektedir.



Şekil 6.4. 4.5 bar OEB yüküne göre silindir gaz basıncı ve net ısı salınım hızının değişimi

4.5 bar OEB parametresinde yapılan analizde, 360° KMA açısından net ısı salınımı değerleri en yüksek B35, B65+60ppm, DY, B65, B35+120ppm, B65+120ppm, B35+60ppm yakıtlar için en yüksek 24.97 J/° en düşük 19.24 J/° olarak tespit edilmiştir. Bu veriler Şekil 6.4'te verilmiştir. Yakıtlar arasındaki net ısı salınımı en yüksek (B35), en düşük (B35+60ppm) farkı %29.78 olarak görülmektedir.

MgO katkılı yakıtların yanma üzerindeki etkisi genellikle olumlu iken fakat katkı maddesi oranı arttıkça net ısı salınımında düşüşler tespit edilmiştir. B65+120ppm ve B35+60ppm katkılı yakıtlar, birçok durumda en düşük net ısı salınımı değerlerini vermiştir. Genel olarak; DY yakıtının düşük OEB yüklerinde, B35 yakıtının ise yüksek OEB yüklerinde daha verimli olduğunu göstermektedir. Motor yükü arttıkça yakıtların yanma özellikleri arasındaki farklılıklar daha belirgin hale geldiği görülmektedir.

6.2. Ortalama Gaz Sıcaklığı ve Basınç Artış Oranı

Test edilen yedi farklı yakıt türünün 1550 devir/dak sabit hızda ve 0.3 bar, 1.5 bar, 3 bar ve 4.5 bar OEB parametrelerinde ortalama gaz sıcaklıklarının krank mili açısına göre Kelvin cinsinden değişimleri ve basınç artış oranı ise dp/dø cinsinden Şekil 6.5, 6.6, 6.7 ve 6.8'de verilmiştir.

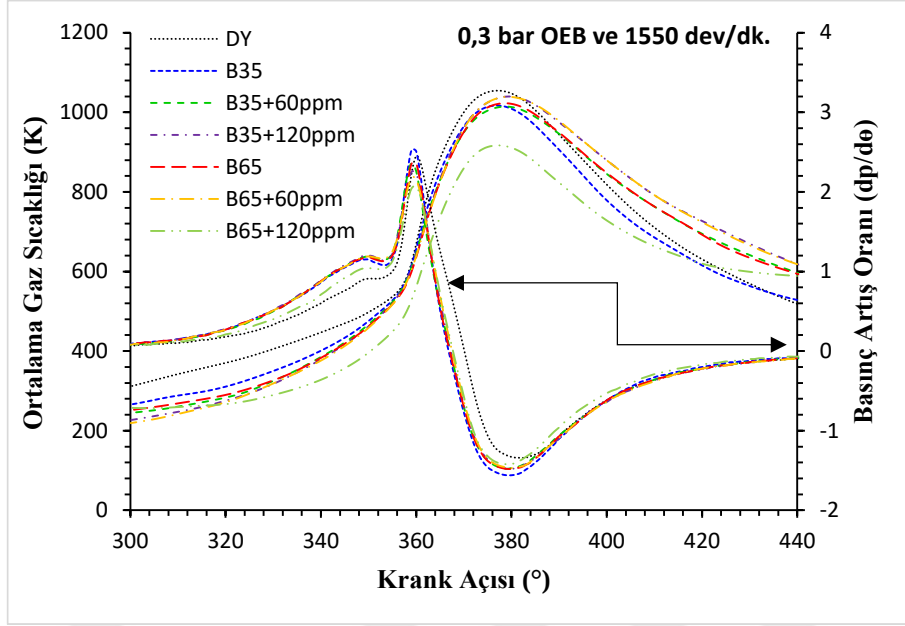
0.3 bar OEB parametresine göre yapılan incelemede, 377° KMA açısında ortalama gaz sıcaklığı değerleri sırasıyla en yüksekten en düşüğe doğru DY, B35+120ppm, B65+60ppm, B65, B35, B35+60ppm ve B65+120ppm yakıtlar olarak sıralanmıştır. Bu sonuçlar Şekil 6.5'te yer almaktadır. En yüksek (DY) ve en düşük (B65+120ppm) yakıtlar arasındaki ortalama gaz sıcaklığı farkı %15.02 olarak hesaplanmıştır.

1.5 bar OEB parametresinde yapılan incelemede, 377° KMA açısında ortalama gaz sıcaklığı değerleri sırasıyla en yüksekten en düşüğe doğru DY, B35+60ppm, B65+60ppm, B35+120ppm, B65, B65+120ppm ve B35 yakıtlar olarak belirlenmiştir. En yüksek (DY) ile en düşük (B35) yakıtlar arasındaki ortalama gaz sıcaklığı farkı %5.26 olarak hesaplanmıştır.

3 bar OEB parametresine göre yapılan değerlendirmede, 377° KMA açısında ortalama gaz sıcaklığı değerleri sırasıyla en yüksekten en düşüğe doğru B35, B65+60ppm, B35+60ppm, B65, DY, B35+120ppm ve B65+120ppm yakıtlar olarak sıralanmıştır. En yüksek (B35) ile en düşük (B65+120ppm) yakıtlar arasındaki ortalama gaz sıcaklığı farkı %10.06 olarak hesaplanmıştır.

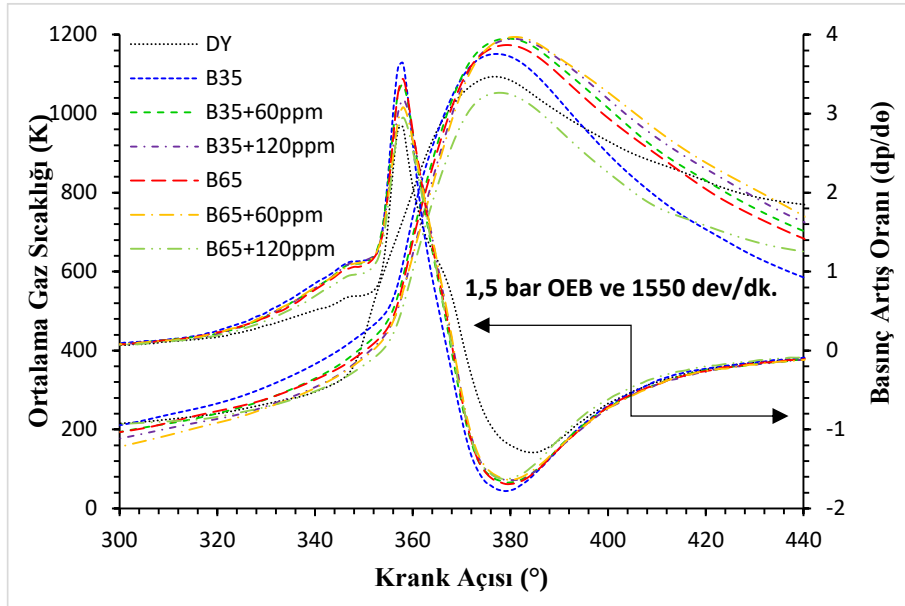
4.5 bar OEB parametresine göre yapılan değerlendirmede, 377° KMA açısında ortalama gaz sıcaklığı değerleri en yüksekten en düşüğe doğru sırasıyla B35, B65+60ppm, B65, B35+60ppm, DY, B35+120ppm ve B65+120ppm yakıtlar olarak sıralanmıştır. En yüksek (B35) ve en düşük (B65+120ppm) yakıtlar arasındaki ortalama gaz sıcaklığı farkı %11.68 olarak ölçülmüştür.

Düşük yüklerde (0.3 ve 1.5 bar), DY yakıtı en yüksek ortalama gaz sıcaklığına sahipken, yüksek yüklerde ise (3 ve 4.5 bar) B35 yakıtının ortalama gaz sıcaklığı görülmektedir. MgO katkılı B65+120ppm yakıtı, her yük seviyesinde en düşük sıcaklık değerlerine sahip olmuş, bu da katkı maddelerinin muhtemelen gaz sıcaklığını düşürücü bir etkisi olduğunu belirtilebilir. Yük arttıkça yakıtlar arasındaki sıcaklık farkı biraz azalsa da, en yüksek ve en düşük yakıtlar arasındaki farkın her yük seviyesinde belirgin olduğu görülmektedir. DY, düşük yüklerde, B35 ise yüksek yüklerde motor performansı açısından öne çıkmıştır.



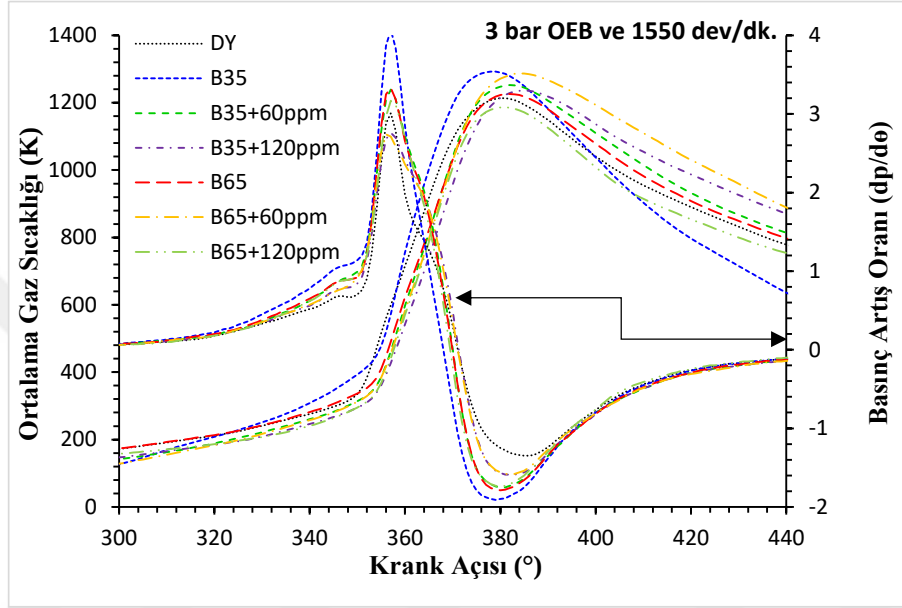
Şekil 6.5. 0.3 bar OEB parametresine göre ortalama gaz sıcaklığı ve basınç artış oranının değişimi

0.3 bar OEB parametresine göre yapılan değerlendirmede, 359° KMA açısında basınç artış oranı değerleri sırasıyla en yüksekte en düşüğe doğru B35, B35+60ppm, B65, B35+120ppm, DY, B65+60ppm ve B65+120ppm yakıtlar olarak sıralanmıştır. Bu veriler Şekil 6.5'te yer almaktadır. En yüksek (B35) ile en düşük (B65+120ppm) yakıtlar arasındaki basınç artış oranı farkı %23.53 olarak görülmektedir.



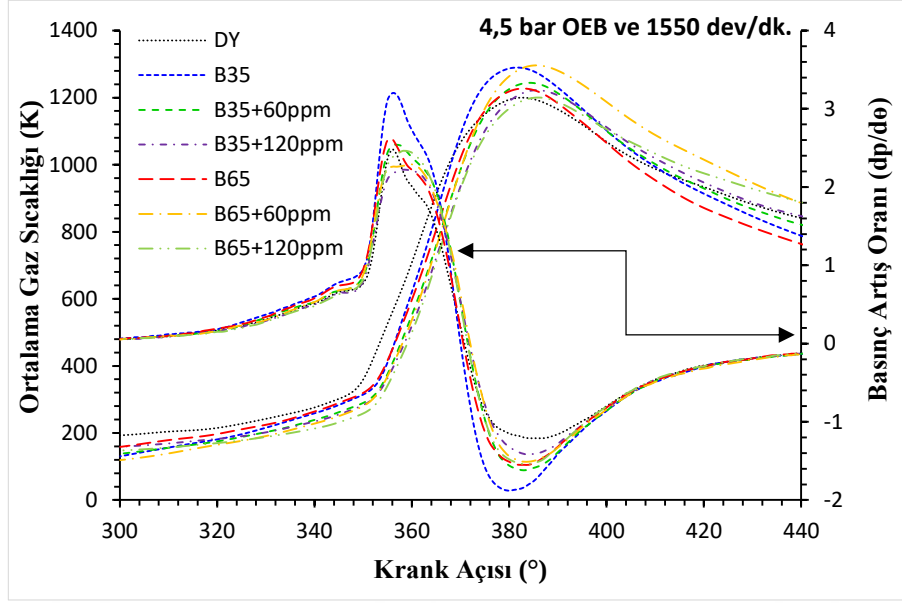
Şekil 6.6. 1.5 bar OEB parametresine göre ortalama gaz sıcaklığı ve basınç artış oranının değişimi

1.5 bar OEB parametresinde yapılan incelemede, 359° KMA açısında basınç artış oranı değerleri sırasıyla en yüksekten en düşüğe doğru B35, B65, B35+60ppm, B35+120ppm, B65+60ppm, B65+120ppm ve DY yakıtlar olarak belirlenmiştir. Şekil 6.6'da bu veriler sunulmaktadır. En yüksek (B35) ve en düşük (DY) yakıtlar arasındaki basınç artış oranı farkı %30.49 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.7. 3 bar OEB parametresine göre ortalama gaz sıcaklığı ve basınç artış oranının değişimi

3 bar OEB parametresine göre yapılan değerlendirmede, 359° KMA açısında basınç artış oranı değerleri en yüksekten en düşüğe doğru sırasıyla B35, B65, B35+60ppm, B65, B65+120ppm, B35+120ppm, B65+60ppm ve DY yakıtlar olarak sıralanmıştır. Bu veriler Şekil 6.7'de gösterilmektedir. En yüksek (B35) ile en düşük (DY) yakıtlar arasındaki basınç artış oranı farkı %43.22 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.8. 4.5 bar OEB parametresine göre ortalama gaz sıcaklığı ve basınç artış oranının değişimi

4.5 bar OEB parametresine göre yapılan analizde, 359° KMA açısında basınç artış oranı değerleri en yüksekten en düşüğe doğru sırasıyla B35, B65+120ppm, B35+60ppm, B65, B65+60ppm, B65+120ppm ve DY yakıtlar olarak sıralanmıştır. Şekil 6.8'de bu veriler sunulmaktadır. En yüksek (B35) ile en düşük (DY) yakıtlar arasındaki basınç artış oranı farkı %36.84 olarak hesaplanmıştır.

B35 yakıtı, her yük seviyesinde en yüksek basınç artış oranına sahip olup, yüksek yanma verimliliği ve güçlü basınç üretme potansiyelini ortaya koymuştur. DY yakıtı ise en düşük basınç artış oranını göstererek yavaş ve kontrollü bir yanma sağlama potansiyeli sunmuştur. MgO katkılı B35 ve B65 yakıtlarının, katkı oranı arttıkça basınç artış oranında düşüş eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Bu, katkı maddelerinin yanma özelliklerini olumsuz etkileyebileceği görülmektedir.

Sonuç olarak, B35 yakıtı yüksek performans gerektiren koşullarda, DY yakıtı ise yavaş yanma ve düşük basınç artışı gerektiren durumlarda tercih edilebilir. Motor yükü arttıkça yakıtlar arasındaki farkların daha belirgin hale geldiği görülmektedir.

6.3. Kümülatif Isı Salınımı ve Kütlesel Yanma Oranı

1550 dev/dak sabit devirde ve farklı OEB motor parametrelerinde, test yakıtlarının kümülatif ısı salınımı değerlerinin krank mili açısına göre değişimleri KJ cinsinden Şekil 6.9, Şekil 6.10, Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de gösterilmiştir.

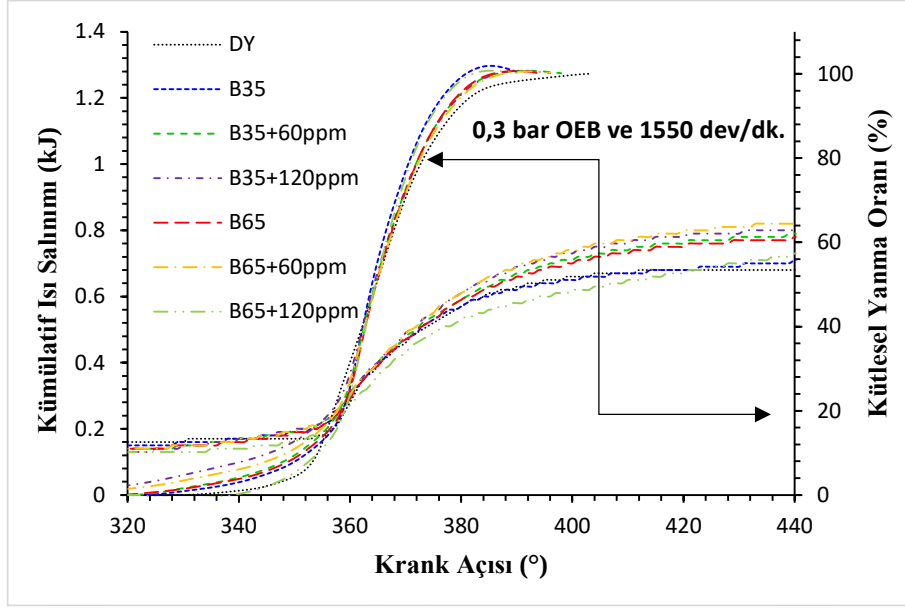
0.3 bar OEB koşullarına göre değerlendirildiğinde, kümülatif ısı salınımı 412 KMA açısında değerleri sırasıyla en yüksek B65+60ppm, B35+120ppm, B35+60ppm, B65, DY, B35 ve B65+120ppm yakıtları için sırasıyla 0.78, 0.77, 0.75, 0.74, 0.68, 0.67 ve 0.65 kJ olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar Şekil 6.9'da yer almaktadır. Yakıtlar arasındaki kümülatif ısı salınımı en yüksek (B65+60ppm), en düşük (B65+120ppm) farkı %16.67'dir.

1.5 bar OEB koşullarına göre değerlendirildiğinde, kümülatif ısı salınımı değerleri 412 KMA açısında en yüksekten en düşüğe sıralandığında DY, B65+60ppm ve B35+120ppm eşit olarak, ardından B35+60ppm, B65, B35 ve B65+120ppm yakıtları için sırasıyla 11.54, 0.94, 0.94, 0.91, 0.89, 0.80 ve 0.78 kJ olarak ölçülmüştür. Bu veriler Şekil 6.10'da sunulmuştur. Yakıtlar arasındaki kümülatif ısı salınımı en yüksek (DY), en düşük (B65+120ppm) farkı %93.23'tür.

3 bar OEB koşulları altında değerlendirildiğinde, açısında kümülatif ısı salınımı değerleri 412 KMA en yüksekten en düşüğe doğru sıralandığında; B65+60ppm, B35+120ppm, B35+60ppm, DY, B65, B35 ve B65+120ppm yakıtları için sırasıyla 1.10, 1.04, 1.02, 0.99, 0.98, 0.94 ve 0.93 kJ olarak ölçülmüştür. Bu veriler Şekil 6.11'de gösterilmektedir. Yakıtlar arasındaki kümülatif ısı salınımı en yüksek (B65+60ppm), en düşük (B65+120ppm) farkı %15.45'tir.

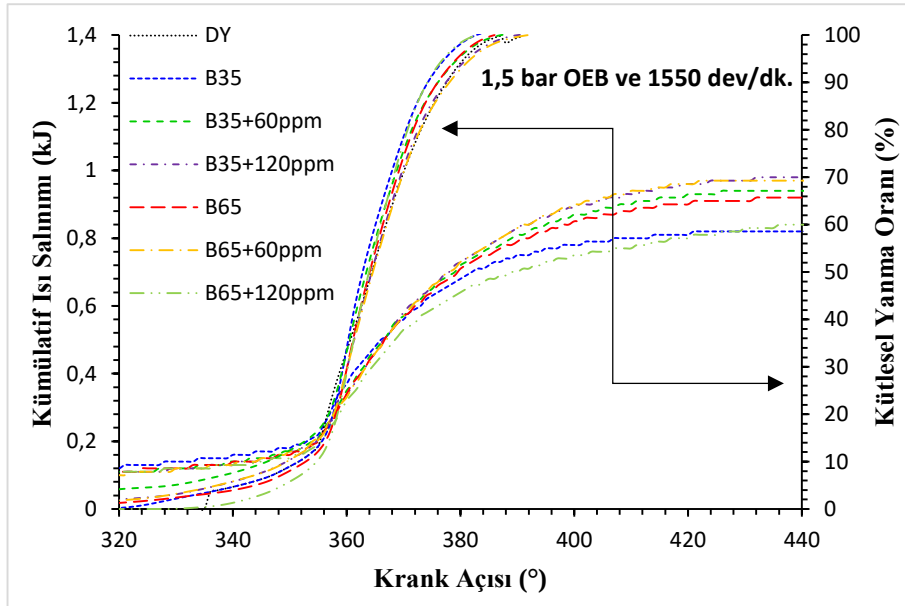
4.5 bar OEB parametresine göre incelendiğinde kümülatif ısı salınımı değerleri 412 KMA'da sırasıyla en yüksek B65+60ppm, B35=B35+60ppm, DY=B35+120ppm=B65+120ppm, B65 yakıtları için sırasıyla 1.09, 1.03=1.03, 1.02=1.02=1.02, 0.98 kJ olduğu Şekil 6.12 de görülmektedir. Yakıtlar arasında ki kümülatif ısı salınımı en yüksek (B65+60ppm), en düşük (B65) farkı %10.09'dur.

B65+60ppm yakıtının en yüksek kümülatif ısı salınımı değerlerini gösterdiğini, özellikle düşük ve yüksek yüklerde verimli bir performans sergilediğini ortaya koymuştur. DY yakıtı, orta yük koşullarında yüksek ısı salınımı sağlarken, yüksek yüklerde daha düşük performans göstermiştir. B65+120ppm yakıtı ise genel olarak en düşük ısı salınımı değerlerine sahip olmuştur. Motor yükü arttıkça, yakıtlar arasındaki kümülatif ısı salınımı farklarının azaldığı ve yüksek yüklerde değerlerin birbirine daha yakın hale geldiği görülmektedir.



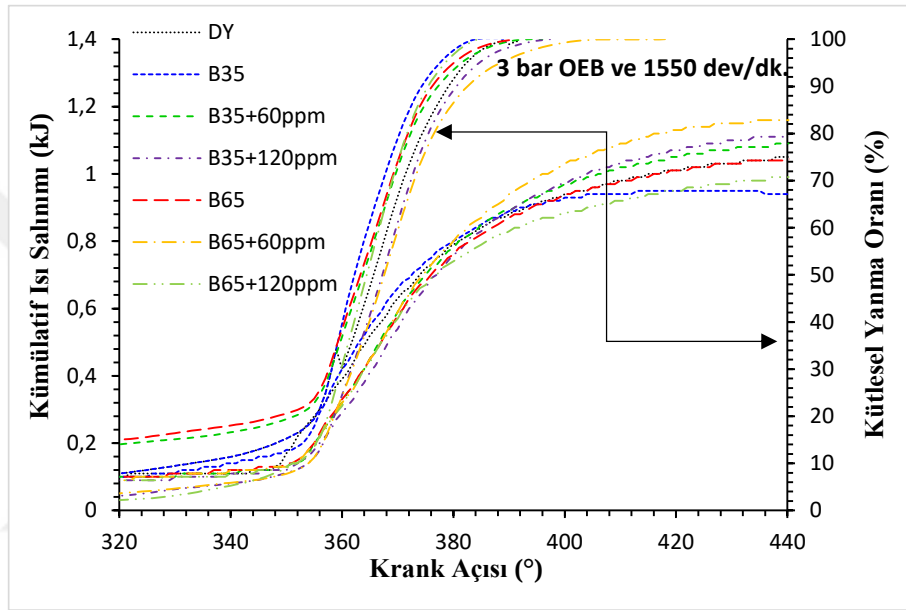
Şekil 6.9. 0.3 bar OEB parametresine göre kümülatif ısı salınımı ve kütleli yanma oranının değişimi

0.3 bar OEB koşullarında değerlendirildiğinde, kütleli yanma oranı değerleri 382 KMA açısında sırasıyla en yüksekte en düşüğe doğru; B35, B65+120ppm, B65, B35+60ppm, B35+120ppm, B65+60ppm ve DY yakıtları için sırasıyla % 100.88, % 99.97, % 97.83, % 97.48, % 97.26, % 96.79 ve % 94.81 olarak tespit edilmiştir. Bu veriler Şekil 6.9'da gösterilmektedir. Yakıtlar arasındaki kütleli yanma oranı en yüksek (B35) ve en düşük (DY) farkı %6.02'dir.



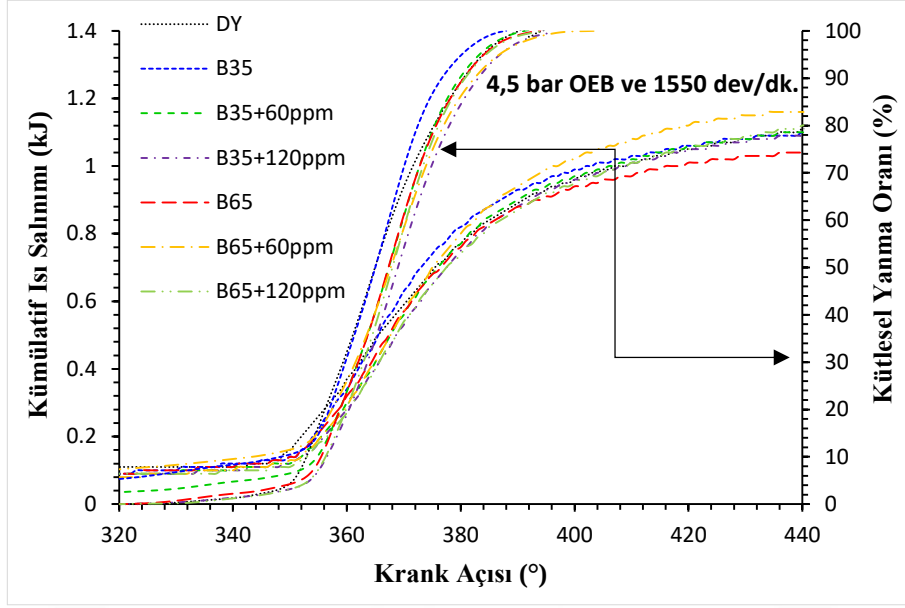
Şekil 6.10. 1.5 bar OEB parametresine göre kümülatif ısı salınımı ve kütleli yanma oranının değişimi

1.5 bar OEB koşulunda değerlendirildiğinde, kütleli yanma oranı değeri 382 KMA açısında sırasıyla en yüksekten en düşüğe doğru; B65+120ppm, B35, B65, B35+60ppm, DY, B35+120ppm ve B65+60ppm yakıtları için sırasıyla 99.63, 99.60, 97.77, 97.46, 96.60, 95.78 ve 95.16 % olarak ölçülmüştür. Bu veriler Şekil 6.10'da gösterilmektedir. En yüksek (B65+120ppm) ve en düşük (B65+60ppm) yakıtlar arasındaki kütleli yanma oranı farkı %4.49'dur.



Şekil 6.11. 3 bar OEB parametresine göre kümülatif ısı salınımı ve kütleli yanma oranının değişimi

3 bar OEB koşulunda değerlendirildiğinde, kütleli yanma oranı değişimi 382 KMA'da en yüksek B35, B65+120ppm, B65, B35+60ppm, DY, B35+120ppm, B65+60ppm, yakıtlar için sırasıyla % 99.17, % 98.61, % 96.66, % 95.47, % 94.52, % 92.05, % 89.33 olarak ölçülmüştür. Bu veriler Şekil 6.11'de gösterilmektedir. Yakıtlar arasında ki kütleli yanma oranı en yüksek (B35), en düşük (B65+60ppm) farkı %9.92'dir.



Şekil 6.12. 4.5 bar OEB parametresine göre kümülatif ısı salınımı ve kütleli yanma oranının değişimi

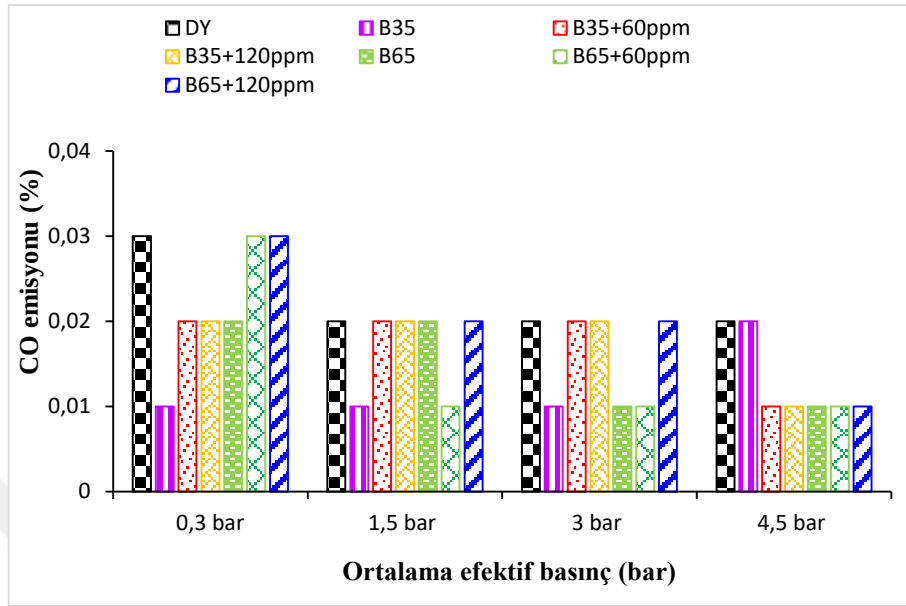
4.5 bar OEB koşulunda değerlendirildiğinde, kütleli yanma oranı değişimi 382 KMA'da en yüksek B35, B35+60ppm, DY, B65, B65+120ppm, B65+60ppm, B35+120ppm yakıtlar için sırasıyla 96.88, 93.37, 92.41, 92.32, 91.92, 89.42, 88.22 % olarak ölçülmüştür. Bu veriler Şekil 6.12'de gösterilmektedir. Yakıtlar arasında ki kütleli yanma oranı en yüksek (B35), en düşük (B35+120ppm) farkı %8.94'tür.

B35 yakıtı tüm yük koşullarında en yüksek kütleli yanma oranlarına sahip olup, yüksek verimlilik gösterdiği için tercih edilebilir. DY yakıtı ise en düşük performansı sergileyerek, düşük verimliliği ile öne çıkmaktadır. B65+120ppm yakıtı, orta yük koşullarında iyi bir performans sergilerken, yüksek yüklerde verimliliği düşmektedir. B65+60ppm yakıtı ise genellikle düşük kütleli yanma oranlarıyla daha düşük verimlilik göstermektedir. Sonuç olarak, yük seviyesi arttıkça yakıtlar arasındaki verimlilik farkları belirginleştiği görülmektedir.

6.4. Karbonmonoksit (CO) Emisyonlarının İncelenmesi

Yanma sırasında oluşan ürünlerde karbon monoksit (CO) bulunması, ortamda yeterli miktarda oksijen bulunmamasından ileri gelir. Hava ve yakıt karışımında hava oranının eksik olması, yanma tepkimesinde yeterli oksijen bulunmamasıyla sonuçlanır ve bu da yakıt karbonunun tamamen karbondioksit dönüşmesini engelleyerek karbon monoksit (CO) oluşumuna yol açar. Ek olarak, karbon monoksit (CO) gazı solunduğunda, zehirlenme ve boğulmaya yol açabilir, vücudun oksijen alımını engeller

(Heywood, 1988; Ergeneman ve ark., 1997). Gerçekleştirilen testlerde yakıtların Şekil 6.13'te verilen CO emisyon değişimleri incelendiğinde;



Şekil 6.13. Test yakıtlarının OEB'ye göre CO emisyon değişimleri

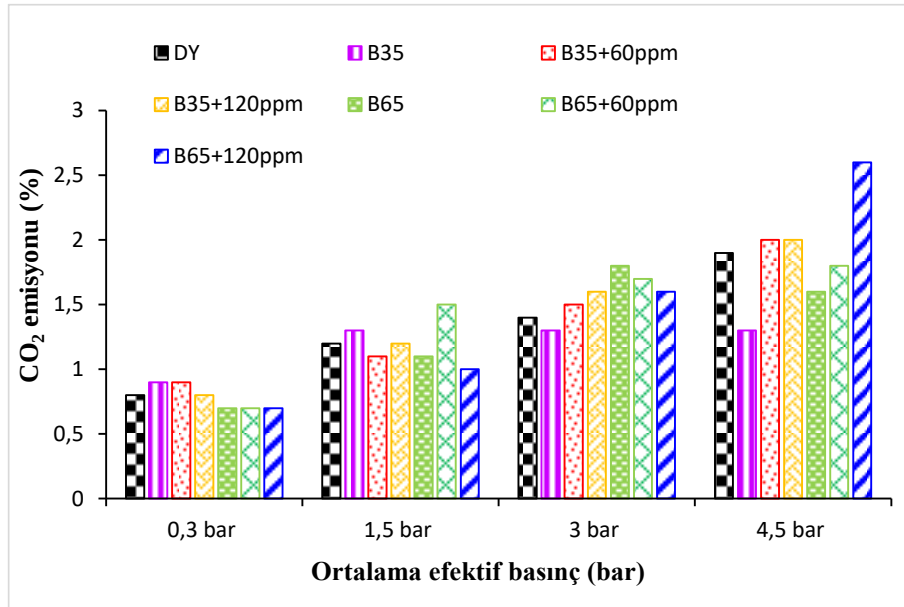
- ✓ CO emisyon oranı 0.3 OEB yükünde incelendiğinde, DY, B65+60ppm ve B65+120ppm yakıtlar % 0.03 ile en yüksek CO emisyon oranına, B35 yakıtı ise % 0.01 en düşük değere sahiptir. Biyodizel içerisindeki oksijen varlığı sayesinde (Silitonga, 2013) CO emisyonları düşük çıkmıştır.
- ✓ CO emisyon oranı 1.5 OEB yükünde incelendiğinde, DY, B35+60ppm, B35+120ppm, B65 ve B65+120ppm yakıtlar % 0.02 ile en yüksek CO emisyon oranına; B35 ve B65+60ppm % 0.01 en düşük değere sahiptir.
- ✓ CO emisyon oranı 3 OEB yükünde incelendiğinde, DY, B35+60ppm, B35+120ppm ve B65+120ppm emisyon değeri % 0.02 ile en yüksek CO emisyon oranına; B35, B65 ve B65+60ppm emisyon değerleri % 0.01 ile en düşük değere sahiptir.
- ✓ CO emisyon oranı 4.5 OEB yükünde incelendiğinde; DY ve B35 emisyon değerleri % 0.02 ile en yüksek CO emisyon oranına; B35+60ppm, B35+120ppm, B65+120ppm, B65 ve B65+60ppm emisyon değeri % 0.01 ile en düşük CO değere sahiptir.

B35 yakıtı, her dört yük koşullarında en düşük CO emisyon değerlerine sahip olup, çevre dostu bir seçenek olarak öne çıkmaktadır. 0.3 bar OEB yükünde B35 %0.01

ile en düşük emisyonu gösterirken, diğer yakıtlar (DY ve B65+60ppm gibi) %0.03 ile daha yüksek emisyon üretmektedir. 1.5 bar OEB yükünde B35 ve B65+60ppm %0.01 ile en düşük emisyonu sağlarken, DY ve B65+120ppm %0.02 ile daha yüksek emisyon göstermektedir. 3 bar ve 4.5 bar OEB yüklerinde de B35 en düşük emisyonu üretirken, DY ve B65 gibi yakıtlar daha yüksek emisyon oranları görülmektedir. Genel olarak, B35 yakıtı çevre dostu ve daha temiz yanma sağlayan bir yakıt karışımıdır ve aspir biyodizel yakıtındaki oksijen miktarı (Aydın, 2010) da CO emisyonlarını azaltmada etkisini göstermiştir.

6.5. Karbondioksit (CO₂) Emisyonlarının İncelenmesi

Karbon bileşenleri içeren yakıtların oksijen ile birleşip yanma odasında tamamen yanması sonucunda karbondioksit oluşur (Şahin, 2021). CO emisyonları, yanma odasında O₂ ile tepkimeye girmesiyle ve sıcaklığa bağlı olarak reaksiyon sonucunda CO₂'ye dönüşür. Genellikle zayıf karışımla karbon temelli yakıtların çalışması, karışımın türbülanslı bir şekilde yanması sayesinde yanma odasında alevin tüm bölgelerde etkili olarak CO emisyonlarını CO₂'ye çevirecektir (Sütcü, 2021). Gerçekleştirilen testlerde yakıtların Şekil 6.14'te verilen CO₂ emisyon değişimleri değerlendirildiğinde;



Şekil 6.14. Test yakıtlarının OEB'ye göre CO₂ emisyon değişimleri

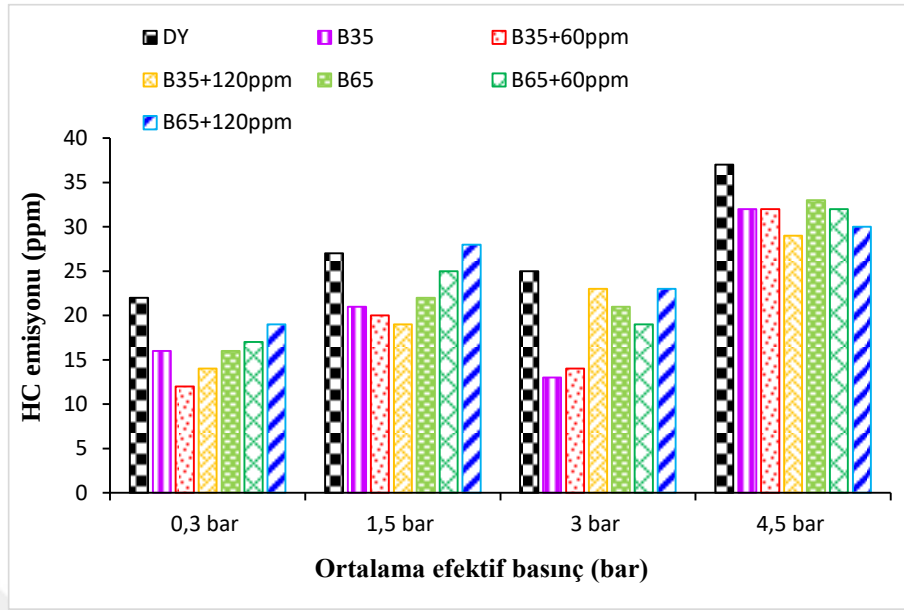
- ✓ Yakıtların CO₂ emisyon miktarları 0.3 OEB koşullarında B35 ve B35+120ppm yakıtının emisyon miktarları % 0.09 ile en yüksek; % 0.07 ile en düşük B65 yakıtının, B65+60ppm yakıtı ve B65+120ppm yakıtının CO₂ emisyon miktarları görülmektedir.
- ✓ CO₂ emisyon oranları 1.5 OEB koşullarında B65+60ppm emisyon oranı %1.5 ile en yüksek; B65+120ppm % 1.00 ile en düşük CO₂ emisyon oranları görülmektedir.
- ✓ Yakıtların CO₂ emisyon oranları 3 OEB koşullarında B65 emisyon oranı % 1.8 ile en yüksek; B35 % 1.3 ile en düşük CO₂ emisyon oranları görülmektedir.
- ✓ Yakıtların CO₂ emisyon oranları 4.5 OEB koşullarında B65+120ppm emisyon oranı % 2.6 ile en yüksek; B35 %1.3 ile en düşük CO₂ emisyon oranları görülmektedir.

Grafik değerlendirildiğinde, yük seviyesinin yükselmesiyle birlikte bütün test yakıtların CO₂ emisyon miktarlarında bir artış gözlemlenmiştir. 0.3 OEB ile 4.5 OEB koşullarında yakıt emisyonları incelendiğinde, yük artışı ile birlikte CO₂ emisyonları en az %0.9'dan %1.3'e yükselen B35 yakıt türünde görülmüştür. En fazla artış gösteren CO₂ emisyon değerleri ise 4.5 bar OEB'de B65+120ppm yakıt türünde gözlemlenmiştir. Bu yük ve yakıt türünde daha fazla CO emisyonu CO₂'ye dönüşmüştür. Bu durum emisyon değerlerinin yük ile doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir.

B35 yakıtı düşük CO₂ emisyon oranları ile çevre dostu bir seçenek olarak görülmektedir. B65 ve türevleri (özellikle B65+60ppm ve B65+120ppm), diğer yakıtlara göre daha yüksek CO₂ emisyonlarına sahip olmaktadır. B65+120ppm özellikle yüksek yük koşullarında, en yüksek CO₂ emisyonunu üretirken, B35 her durumda daha düşük emisyon değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

6.6. Hidrokarbon (HC) Emisyonlarının İncelenmesi

HC emisyonları, yakıtın eksik yanması ve yanma odası duvarları çevresinde alevin sönmesi sonucunda meydana gelir (Karthikeyan ve ark., 2016). HC emisyonlarının ortaya çıkmasında düşük silindir basıncı diğer bir etkidir. Oksijen açısından zengin yakıt karışımları, HC emisyonlarını azaltmada etkili olmaktadır (Kalaimurugan ve ark., 2020). Test yakıtlarının Şekil 6.15'da verilen HC emisyon değişimleri değerlendirildiğinde;



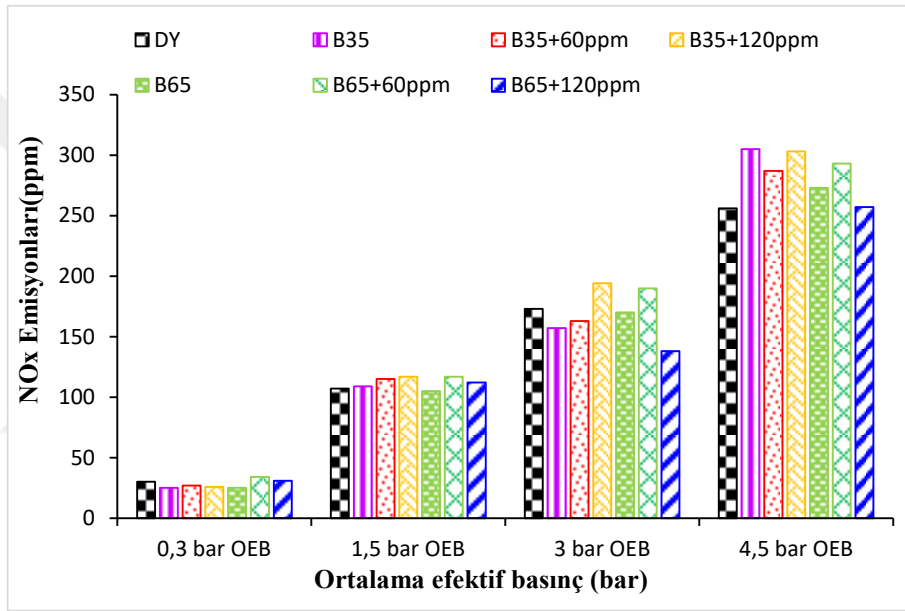
Şekil 6.15. Test yakıtlarının OEB'ye göre HC emisyon değişimleri

- ✓ HC emisyon oranı 0.3 OEB koşullarında DY 22 ppm ile en yüksek; B35+60ppm emisyon miktarı 12 ppm ile %83.33 fark ile en düşük HC emisyon oranı görülmektedir.
- ✓ Yakıtların HC emisyon miktarı 1.5 OEB koşullarında B65+120ppm emisyon oranı 28 ppm ile en yüksek; B35+120ppm değeri 19 ppm %47.37 fark ile en düşük HC emisyon oranı görülmektedir.
- ✓ Yakıtların HC emisyon miktarı 3 OEB koşullarında DY emisyon oranı 25 ppm ile en yüksek; B35 değerleri 13 ppm %92.31 fark ile en düşük HC emisyon oranı görülmektedir.
- ✓ Yakıtların HC emisyon miktarı 4.5 OEB koşullarında DY emisyon oranı 37 ppm ile en yüksek; B35+120ppm değeri 29 ppm %27.59 fark ile en düşük HC emisyon oranı görülmektedir.

Şekil 6.15 grafiği değerlendirildiğinde, parametrenin yükselmesiyle silindir içi ısının yeterli seviyeye ulaşamaması ve bu yüzden yanma verimliliğinin azalması, HC emisyonlarının yükselmesine neden olmuştur. 0.3 OEB, 1.5 OEB, 3 OEB ve 4.5 OEB parametrelerinde ölçülen tüm yakıt emisyon değerleri, DY yakıtı her dört yük koşulunda da en yüksek HC emisyonlarına sahip olup, çevresel etkisi en fazla olan yakıt olarak görülmektedir. B65+60ppm yakıtı ise, her yük koşulunda en düşük HC emisyonlarına sahip olan yakıtlar arasında yer almaktadır.

6.7. Azotoksit (NO_x) Emisyonlarının İncelenmesi

NO_x emisyonu havadaki azotun yüksek sıcaklıklarda oksijenle reaksiyona girmesi sonucu oluşur. NO_x gaz emisyonunu yanma reaksiyon süresi, silindir içindeki gaz sıcaklığı ve oksijen miktarı gibi faktörler etkiler (Heywood, 1988). Genel olarak, NO_x emisyonunu azaltmak için silindir içindeki yanma sırasında oluşan sıcaklığın düşürülmesi gerekmektedir (Zhou ve ark., 2014). Gerçekleştirilen testlerde yakıtların NO_x emisyon değişimleri değerlendirildiğinde;



Şekil 6.16. Test yakıtlarının OEB'ye göre NO_x emisyon değişimleri

- ✓ NO_x emisyon miktarı 0.3 OEB koşullarında B65+60ppm emisyon miktarı 34 ppm ile en yüksek; B35 ve B65 emisyon miktarı 25 ppm %36.00 fark ile en düşük NO_x emisyon oranı görülmektedir.
- ✓ Yakıtların NO_x emisyon miktarı 1.5 OEB koşullarında B35+120ppm ve B65+60ppm emisyon miktarı 117 ppm ile en yüksek; B65 emisyon miktarı 105 ppm % 11.43 fark ile en düşük NO_x emisyon oranı görülmektedir.
- ✓ Yakıtların NO_x emisyon miktarı 3 OEB koşullarında B35+120ppm emisyon oranı 194 ppm ile en yüksek; B65+120ppm emisyon oranı 138 ppm %40.58 fark ile en düşük NO_x emisyon oranı görülmektedir.

- ✓ Yakıtların NO_x emisyon miktarı 4.5 OEB koşullarında B35 ppm emisyon oranı 305 ppm ile en yüksek; DY ppm emisyon miktarı 256 ppm %19.14 fark ile en düşük NO_x emisyon miktarı görülmektedir.

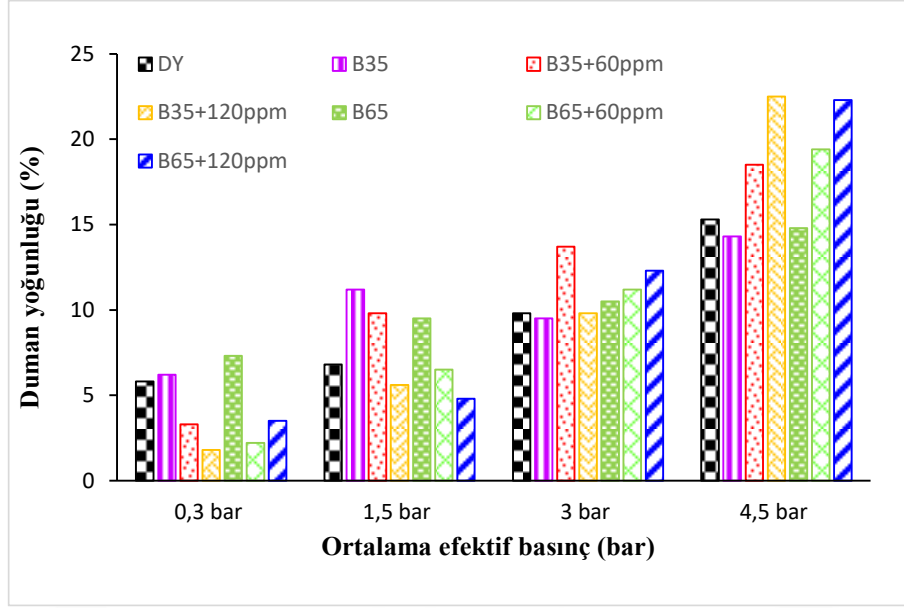
Tüm yakıt türleri incelendiğinde, düşük yüklerde minimum seviyelerde olan emisyon değerlerinin, motor parametresinin artmasıyla birlikte NO_x emisyon değerlerinde de artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Özellikle B35 ve B65 test yakıtları, daha düşük NO_x emisyon oranları vermiştir. Dizel yakıtının, biyodizel ve nanopartikül katkılı yakıt karışımlarına göre daha az emisyon salınımı yapması, silindir içi sıcaklığın artmasına ve dolayısıyla NO_x emisyonlarının yükselmesine neden olduğu görülmektedir (Uyar 2024).

Bu sonuçlar, farklı yakıt türleri ve OEB koşullarının NO_x emisyonları üzerinde önemli değişikliklere yol açtığını ve bu faktörlerin çevresel etkiler açısından dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. B65+120ppm yakıtının bütün yük koşullarında tüm test yakıtları içerisinde en düşük NO_x emisyon miktarının açığa çıkması ve aynı zamanda yanma grafiklerinde de genel olarak olumlu sonuçlar vermesi ile metal MgO nanopartikülün olumlu bir etkisi olduğu söylenebilir.

6.8. Duman Koyuluğu İncelenmesi

Bütün test yakıtların duman koyuluğu değişimleri Şekil 6.17 verilmiştir. Şekildeki veriler değerlendirildiğinde;

- ✓ Yakıtların duman koyuluğu 0.3 OEB koşullarında B65 emisyon miktarı ile % 7.3 en yüksek; B35+120ppm emisyon miktarı ile % 1.8 en düşük duman koyuluğu görülmektedir. En yüksek ile en düşük duman koyuluğu arasındaki fark % 305.56 olarak görülmektedir.
- ✓ Yakıtların duman koyuluğu 1.5 OEB koşullarında B35 emisyon değeri ile % 11.2 en yüksek; B65+120ppm emisyon değerleri ile % 4.8 en düşük duman koyuluğuna sahiptir. En yüksek ile en düşük duman koyuluğu arasındaki fark % 133.33 olarak görülmektedir.



Şekil 6.17. Test yakıtlarının OEB'ye göre duman yoğunluğunun değişimleri

- ✓ Yakıtların duman yoğunluğu 1.5 OEB koşullarında B35 emisyon değeri ile % 11.2 en yüksek; B65+120ppm emisyon değerleri ile % 4.8 en düşük duman yoğunluğuna sahiptir. En yüksek ile en düşük duman yoğunluğu arasındaki fark % 133.33 olarak görülmektedir.
- ✓ Yakıtların duman yoğunluğu 3 OEB koşullarında B35+60ppm emisyon oranı ile % 13.7 en yüksek; B35 emisyon oranı ile % 9.5 en düşük duman yoğunluğu görülmektedir. En yüksek ile en düşük duman yoğunluğu arasındaki fark % 44.21 olarak görülmektedir.
- ✓ Yakıtların duman yoğunluğu 4.5 OEB koşullarında B35+120ppm emisyon oranı ile % 22.5 en yüksek; B35 emisyon oranı ile % 14.3 en düşük duman yoğunluğuna sahiptir. En yüksek ile en düşük duman yoğunluğu arasındaki fark % 57.34 olarak görülmektedir.

Yük arttıkça, duman yoğunluğu genellikle yükselmektedir. En büyük farklar 0.3 bar OEB ve 1.5 bar OEB koşullarında görülürken, daha yüksek OEB koşullarında farklar daha küçük kalmaktadır. Duman yoğunluğu yük artışı ile B35+120ppm düşük kademedede yaklaşık %1.8 gibi düşük seviyelerde olurken yüksek yükte B35+120ppm ile %22.5 oranında duman yoğunluğunda en yüksek artış gerçekleştiği görülmektedir. Yük kademesindeki değişikliklere bağlı olarak duman yoğunluğundaki artış en belirgin şekilde B35+120ppm karışımında gözlenirken, B65 yakıtında en düşük artış görülmüştür.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Sonuçlar

Bu çalışmada metal MgO nanopartikül katkı maddesi aspir biyodizel katkısı olarak, petrol bazlı dizel yakıtına belirli oranlarda karıştırılarak bir dizel deney motorunda test edilmiş olup yanma ve emisyon parametrelerindeki değişimler incelenmiştir. Elde edilen bulgular aşağıda verilmiştir.

Farklı yük ve yakıt karışımları için ölçülen silindir içi basınç değerleri, hangi yakıt karışımının daha yüksek ya da düşük basınç oluşturduğunu gösterir ve bu farklar yüzde olarak belirtilmiştir. Bu sonuçlar, yanma verimliliğinin yakıt türüne ve katkı maddelerine göre nasıl değiştiğini anlamak için önemlidir. 4.5 bar OEB en yüksek silindir içi basınç değeri ile 61.14 bar B35 karışımı, 1.5 bar OEB en düşük silindir içi basınç değeri 47.07 bar B35 karışımın da görülmüştür.

Farklı yük ve yakıt karışımlarının motorun net ısı salınım hızı üzerindeki etkilerini net bir şekilde göstermektedir. 3 bar OEB B35 yakıtı ile en yüksek net ısı salınımı 29.30 J/°, 4.5 bar OEB B35+60ppm MgO nanopartikül karışımı ile en düşük net ısı salınımı 19.24 J/° olduğu görülmüştür. Özellikle DY genellikle en yüksek net ısı salınımı değerlerine sahipken, MgO ilaveleri net ısı salınımını belirgin bir şekilde azaltmaktadır.

DY yakıtı 0.3 ve 1.5 bar OEB’de daha yüksek ortalama gaz sıcaklıkları vermiş olup bu da yanmanın daha verimli olduğu anlamına gelebilir. B35 yakıtı da 3 ve 4.5 bar OEB yüksek basınçlarda en yüksek ortalama gaz sıcaklığı sağlıyor, bu da yüksek basınçlı çalışma koşullarında verimliliği artırabilir.

B65+60ppm yakıtı genellikle yüksek kümülatif ısı salınımı sağladığı gözlemlenmiştir. Bu da muhtemelen yanma verimliliğini artırabilmektedir. B65+120ppm yakıtı genellikle en düşük kümülatif ısı salınımına sahip, bu da daha düşük yanma verimliliği anlamına gelebilmektedir.

En yüksek CO₂ emisyon değeri 4.5 bar OEB parametresinde B65+120ppm yakıtında %2.6, en düşük CO₂ emisyon değeri: 0.3 ve 1.5 bar OEB parametrelerinde B35 yakıtında %0.07 olarak gözlemlenmiştir. Yükün artmasıyla birlikte CO₂ emisyonlarında genel bir artış gözlemlenmiştir. Özellikle, B65+120ppm yakıtında en fazla artış

görülmüştür, bu da daha fazla hava alınmasıyla yanmanın iyileşmesi ve CO emisyonlarının CO₂'ye dönüşmesiyle ilişkilendirilmiştir.

Yapılan deneyde en yüksek HC emisyon değeri 4.5 bar OEB parametresinde DY yakıtında 37 ppm, en düşük HC emisyon değeri 0.3, 3 ve 4.5 bar OEB parametrelerindeki tüm yakıtlarda DY yakıtından düşük gözlemlenmiştir. Farklı yakıt çeşitleri değerlendirildiğinde, OEB yük parametresinin yükselmesiyle silindir içi ısının yeterli seviyeye çıkmaması ve buna bağlı olarak yanma etkinliğinin yeterince artmaması, HC emisyonlarının artışına neden olduğu görülmektedir.

Deney sonuçlarına göre; en yüksek NO_x emisyon değeri 4.5 bar OEB parametresinde B35 yakıtında 305 ppm, en düşük NO_x emisyon değeri 0.3 ve 1.5 bar OEB parametrelerinde B35 ve B65 yakıtlarında 25 ppm, düşük yüklerde minimum seviyelerde olan NO_x emisyonları, yük parametresinin artmasıyla artış göstermiştir. Özellikle, 0.3 OEB ve 4.5 OEB parametrelerindeki dizel yakıtlarının emisyon değerlerinde belirgin bir artış gözlemlenmiştir. B65+120ppm yakıtının her dört yük şartlarında tüm test yakıtları içerisinde en düşük NO_x emisyon miktarının açığa çıkması ve aynı zamanda yanma grafiklerinde de genel olarak olumlu sonuçlar vermesi ile metal MgO nanopartikülün olumlu bir etkisi olduğu söylenebilir.

Duman yoğunluğunun azalmasında en önemli faktör yakıt karışımlarının oksijen içeriğidir. Deney sonuçlarına göre; en yüksek duman koyuluğu 4.5 bar OEB parametresinde B35+120ppm yakıtında %22.5, en düşük duman koyuluğu 0.3 bar OEB parametresinde B35+120ppm yakıtında %1.8 olarak gözlemlenmiştir. Yük artışıyla birlikte, B35+120ppm yakıtında duman koyuluğundaki artış %1.8'den %22.5'e kadar yük artışı ile beraber çıkmıştır. Bu değişimde B65 yakıtında en az artış görülmüştür.

Genel olarak, aspir biyodizel katkısı olarak kullanılan metal MgO nano malzeme hem yanma hem de emisyonlar açısından olumlu sonuçların olduğu söylenebilir.

7.2 Öneriler

Metal MgO nanopartiküllerin biyodizel yakıtları ile olan kimyasal tepkimenin olup olmadığı ile ilgili çalışmalar yapılabilir. Aynı zamanda kütleli olarak daha yüksek miktarda metal MgO nanopartiküllerin biyodizel yakıtlara olan etkisini de bir dizel jeneratörlü motorun farklı çalışma koşulları altında incelenebilir. Gerçekleştirilen deneylerde, metal MgO nanopartiküllerin yakıt firtresini tıkatma riski olabileceğinden bu duruma dikkat edilmesi önerilebilir.

KAYNAKLAR

- Aalam C.S., Saravanan C.G., Anand B.P. 2016, Impact of high fuel injection pressure on the characteristics of CRDIdiesel engine powered by mahua methyl ester blend, *Applied Thermal Engineering* 106, 702–711.
- Acaroğlu, M., Aydoğan H., Özçelik A. E., "Yakıtlar ve Yanma", Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık, Genişletilmiş ve Güncellenmiş 2. Basım, Ankara, 164-274 (2018).
- Acaroğlu, M., Aydoğan, H., Özçelik, A. E., 2018, Yakıtlar ve yanma, *Nobel Yayınevi*, Ankara, 235-236.
- Akbal, O., 2013, Ağır Ticari Taşıt Dizel Motoru SCR Sisteminin Sıcaklık Modellenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Allhoff, F., Lin, P. ve Moore, D. (2017). Nanoteknoloji Nedir Ve Neden Önemlidir? Bilimden Etiğe (1 b.). (Ö. Özgür, Çev.) Ankara: Gökçe Ofset Matbaacılık Yay.San.Ltd.Şti.
- Anonim. (2024) Nanografi Türkiye web sitesi
<https://shop.nanografi.com.tr/blogrifi/nanopartikuller-ozellikleri-ve-uygulama- alanlari/> [Ziyaret Tarihi: 15 Mayıs 2024].
- AraklıEğitim Sürücü Kursu, Motorların Çalışma Prensipleri,
<http://www.arakliegitimsurucukursu.com/Yayinlar/motorlari-calisma- prensipleri-159> [Ziyaret Tarihi: 27 Mart 2024].
- Arı, F. ve Yılmaz, V. 2023, Türkiye’de ve Dünya’da Enerji Kaynaklarının Genel Görünümü ve Alternatif Enerji Kaynaklarının Önemi, *Dicle Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, Sayı 34, ss.498, ss. 506.
- 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 Managment*, 148: 935-943 (2017).
- Atmanlı, A., 2013. “Dizel Motorunda Dizel Yakıtı-Alkol-Bitkisel Yağ Karışımları Kullanımının Motor Karakteristiklerine Etkilerinin İncelenmesi” Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Avrupa Birliği web sitesi Official Journal of the European Union, Directive 2003/30/EC of the European Parliament and of the Council of 8 May 2003, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32003L0030> [Ziyaret Tarihi: 15 Mayıs 2024].
- Aydın, S., 2010, Aspir Yağından Biyo-Yakıt Üretimi ve Bir Dizel Motorunda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fırat, 4-6.

- Aydın, S. (2020). Comprehensive analysis of combustion, performance and emissions of power generator diesel engine fueled with different source of biodiesel blends. *Energy*, 205. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118074>
- Balamurugan, K., Tamilvanan, A., Anbarasu, M., Akil, M.S. ve Srihari, S., Nano copper additive for reducing NOx emission in soya bean biodiesel-fuelled CI engine, *Journal of Biofuels*, 4, 1, 1-8, (2013).
- Behçet, R., Aydın, S., ve Çakmak, A., 2012, Bitkisel ve Hayvansal Atık Yağlardan Üretilen Biyodizellerin Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Yakıt Olarak Kullanılması, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* , 55-62.
- Behrens, A., Giljum, S., Kovanda, J., and Niza, S., 2007, The material basis of the global economy: Worldwide patterns of natural resource extraction and their implications for sustainable resource use policies. *Ecological Economics*, 64(2), 444-453. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.02.034>
- Beyaz, M., Aydın, S., & Şener, R. (2023). Influence of ethyl proxitol on cold filter plugging point, combustion, emissions characteristics of biodiesel blends in CI engines. *Petroleum Science and Technology*. <https://doi.org/10.1080/10916466.2023.2292783>
- Bibin, C., Gopinath, S., Aravindrah, R., Devaraj, A., Krishnan, S. G., ve Jeevaanathan, 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).
- 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).
- Channappagoudra M., 2021, Influence of the aluminium oxide (Al₂O₃) nanoparticle additive with biodiesel on the modified diesel engine performance, *International Journal of Ambient Energy*, VOL. 42, NO. 15, 1776–1784.
- Chen A. F., Adzmia M. A., Adam A., Othman M. F., Kamaruzzaman M. K., Mrwana A. G., 2018, Combustion characteristics, engine performances and emissions of a diesel engine using nanoparticle-diesel fuel blends with aluminium oxide, carbon nanotubes and silicon oxide, *Energy Conversion and Management* 171, 461–477
- Çanakçı, M., 2007, Petrol dizel yakıtları ve biyodizel ile çalışan turboşarjlı bir DI sıkıştırma ateşlemeli motorun yanma özellikleri. *Biyokaynak teknolojisi*, 98 (6), 1167-1175.
- Çelik, M. B., 1994. Metanol-Benzın Karışımlarının Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara

- Çelik, M., 2015, Biyodizel Yakıt özelliklerinin motor performansı ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin incelenmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 14-15.
- Çılğın, E., 2015, 3. Nesil biyoyakıt teknolojisi alglerin bir dizel motorunda performans ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 5(3), 33-41.
- Çılğın, E., Deviren H. 2024, Dizel Motorda Yakıt Katkı Maddesi Olarak Nanopartiküllerin Kullanımının Araştırılması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt 40, Sayı 1.
- Dreizin, E.L., Metal-based reactive nano materials, *Progress in Energy and Combustion Science*, 35, 141-167, (2009).
- Deviren, H., Çılğın, E., & Aydın, S. (2023). Study on using nano magnesium oxide (MNMgO) nanoparticles as fuel additives in terebinth oil biodiesel blends in a research diesel engine. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 45(4), 12181–12200.
- Elkelawy, M., Etaiw, S., E-d., H., Ayad, M., I., Marie, H., Dawood, M., Panchal, H. Bastawissi, H., A.-E., 2021, An enhancement in the diesel engine performance, combustion, and emission attributes fueled by diesel-biodiesel and 3D silver thiocyanate nanoparticles additive fuel blends, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, Volume 124, Pages 369-380, ISSN 1876-1070, <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2021.02.019>.
- El-Seesy, A. I., ve Hassan, H., “Investigation of effect of adding graphene oxide, graphene nanoplatelet, and multiwalled carbon nanotube additives with n-butanol Jatropa methyl ester on a diesel engine performance”, *Renewable Energy*, 132:558-574 (2019).
- Ergen, G., “Ön ısıtma uygulanarak kullanılan biyodizel yakıtının motor performans ve emisyonlarına etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya (2006)
- Ergeneman, M., Mutlu, M., Kutlar, O. A., Arslan, H., 1997, Taşıtlardan kaynaklanan egzoz kirleticileri, *Birsan Yayınevi*, İstanbul, 4-15.
- European Commission, CO₂ emission performance standards for cars and van, https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/co2-emission-performance-standards-cars-and-vans_en [Ziyaret Tarihi: 19 Mart 2024].
- Gabriela, Á. M., Gabriela, M. D. O. V., Luis, A. M., Reinaldo, P. R., Michael, H. M., Rodolfo, G. P., & Roberto, V. B. J. (2017). Biosynthesis of silver nanoparticles using mint leaf extract (*Mentha piperita*) and their antibacterial activity. *Advanced Science, Engineering and Medicine*, 9(11), 914-923.
- Gökçe, İ., 2022, Tek silindirli dizel bir motorda susam yağı-dizel yakıt karışımlarına grafenoksit (C₁₄₀H₄₂O₂₀) ilavesinin performans ve emisyon parametrelerine

- etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Aydın Üniversitesi*, İstanbul, 14.
- Gümüş, A., S., 2012, Nano Yakıtların Dizel Motor Performans ve Egzoz Emisyonu Üzerine Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun, ss. 2.
- Gürkan, Y., “Etanol katkılı kanola biyodizelinin bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin deneysel araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ (2019).
- Hazar, H., Temizer, İ., Gür, F., 2011, Bir dizel motorunun motor performansı ve motor parçaları üzerinde katkı maddelerinin etkisinin incelenmesi, *In 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)* (77-83).
- Heywood, J. B., 1988, Internal combustion engine fundamentals. McGraw-Hill Education.
- İpek, P., Yıldız, R., Baran, M. F., Hatipoğlu, A., Baran, A., Sufianov, A., & Beylerli, O. (2023). Green Synthesis of Silver Nanoparticles Derived from Papaver rhoeas L. Leaf Extract: Cytotoxic and Antimicrobial Properties. *Molecules*, 28(17), 6424.
- İlkılıç, C., & Yücesu, H. S. 2005, Investigation of the effect of sunflower oil methyl ester on the performance of a diesel engine. *Energy Sources*, 27(13), 1225-1234.
- 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).
- Karabektaş, M., Ergen, G., 2007. Soya yağı metil esterinin motor performans karakteristikleri ve NOx emisyonları üzerindeki etkisinin incelenmesi, *SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi*, 11, 1, 21-26.
- 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).
- Keskin, A., 2005, Tall yağı esaslı biyodizel ve yakıt katkı maddesi üretimi ve bunların dizel motor performansı üzerindeki etkileri, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Keskin, A., Gürü, M., Altıparmak, D., 2007, Biodiesel production from tall oil with synthesized Mn and Ni based additives, *Effects of The Additives on Fuel Consumption and Emissions*, 86, 7–8, 1139-1143.
- Khond, V.W. ve Kriplani, V.M., Effect of nano fluid additives on performances and emissions of emulsified diesel and biodiesel fueled stationary CI engine: A comprehensive review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1338-1348, (2016).

- 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).
- Mühendishane.org, Carnot çevrimiyle üretilen iş miktarı ve çevrimin verimi – Mühendishane, <https://muhendishane.org/kutuphane/termodinamik/carnot-cevrimi-verimi/> [Ziyaret Tarihi: 27 Mart 2024].
- Nişancı, S., 2007, Biyodizel yakıt karışımlarının performans ve emisyon üzerine etkilerinin deneysel araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 4-26.
- Orman, R. Ç., 2019, Atık madeni yağların dizel motorlarda yakıt olarak kullanılması ve katkı maddesi ile geliştirilmesi, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 94-106.
- Önder, İ., 2001, “Yeni Dünya Düzeni ve Enerji Politikaları”, Türkiye Üçüncü Enerji Sempozyumu, TMMOB, Ankara, ss.8-18.
- Özdemir, M., 2011, Bir dizel motorda biyodizel ve etanol kullanımının motor performansına ve emisyonlara etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Özdemir, Z.Ö., ve Mutlubaş, H., “Biyodizel üretim yöntemleri ve çevresel etkileri”, Kırklareli University Journal of Engineering and Science, 2: 129-143 (2016).
- Öztürk, H. (2023), " Dizel-Biyodizel Yakıt Karışımına Yüksek Molekül Ağırlıklı Alkol İlavesinin Motor Performans, Yanma Ve Emisyon Karakteristiklerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muş Alparslan Üniversitesi, Muş, 10.
- Prabu, A. 2018, Nanoparticles as additive in biodiesel on the working characteristics of a DI diesel engine, *Ain Shams Engineering Journal*, Volume 9, Issue 4, Pages 2343-2349, ISSN 2090-4479, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2017.04.004>.
- Qi, D. H., Chen, H., Geng, L. M., Bian, Y. Z., Ren, X. C., "Performance and combustion characteristics of biodiesel–diesel–methanol blend fuelled engine", *Applied Energy*, 87 (5): 1679-1686 (2010).
- Rastogi P.M., Sharma A.,Kumar N.,2021, Effect of CuO nanoparticles concentration on the performance and emission characteristics of the diesel engine running on jojoba (*Simmondsia Chinensis*) biodiesel, *Fuel*, Volume 286, Part 1, 119358.
- Sadeghi, B., & Gholamhoseinpoor, F. (2015). A study on the stability and green synthesis of silver nanoparticles using *Ziziphora tenuior* (Zt) extract at room temperature. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 134, 310-315.
- Safgönül, B., Ergeneman M., Arslan, E., Soruşbay, C., 1995, İçten yanmalı motorlar, *Birsen Yayınevi Ltd. Şti*, İstanbul.

- Sarıkoç. S., 2019. “Biyodizel-Bütanol-Dizel Karışımlarına Hidrojen ve Titanyum Dioksit İlavesinin Performans ve Emisyon Parametrelerine Etkilerinin Araştırılması”, Doktora Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Sayın, C., 2004, Oktan sayısı ve LPG karışımının buji ateşlemeli bir motorun performans ve emisyonuna etkisinin deneysel incelenmesi, Doktora tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Senthilraja, S., Karthikeyan, M. ve Gangadevi, R., Nanofluid applications in future automobiles: comprehensive review of existing data, Nano-MicroLetters, 2, 4, 306-310, (2010).
- 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).
- Sezer İ., 2018, Nano materyal içerikli katkıların yakıt özelliklerine ve motor performansına etkileri, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20(2), 569-590,.
- Sezer, İ., 2018, “Nano materyal içerikli katkıların yakıt özelliklerine ve motor performansına etkileri”, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 20(2), 569-590.
- Sundus, F., Fazal, M. A., Masjuki, H. H., 2017, Tribology with biodiesel, a study on enhancing biodiesel stability and its fuel properties, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 70, 399-412.
- Sütcü, D., 2021, Potasyum permanganat ($KMnO_4$) katkılı atık bitkisel yağlardan elde edilen biyoyakıt ile dizel yakıt karışımlarının bir araştırma motorunda kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Batman, 64-65.
- 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).
- Şahin, S., 2021, Motorin ve aspir biyodizel karışımlarına ilave edilen bazı katkı maddelerinin yakıt özellikleri, motor performansı ve emisyon değerlerine etkilerinin belirlenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 124-137.
- Silitonga AS, Masjuki HH, Mahlia TMI, Ong HC, Chong WT, Boosroh MH. Overview properties of biodiesel diesel blends from edible and non-edible feedstock. Renew Sustain Energy Rev. 2013; 22:346–60.
- Temizer, İ., 2010, Bir dizel motorunun performans ve emisyonları üzerine katkı maddelerinin etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat, 61-63.

- 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).
- Uluengin, M. B., 2017, Sizde evinizde biyodizel üretebilirsiniz, *Birsen Yayınları*, İstanbul,11.
- Uyar M. M., 2024, Nanopartikül katkılı biyodizel yakıtlar üreterek bir dizel güç santralinde etkili parametrelerin incelenmesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 332s, Elazığ.
- Uyumaz A., 2009, Pamuk Yağı Esaslı Biyodizel ile Çalışan Bir Dizel Motorunda Yakıt Püskürtme Avansının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkileri, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 137s, Ankara.
- Üstün, S., 2021, Investigation of engine performance and emission characteristics of organic-based manganese addition into waste fusel oil-diesel mixture, journal of the faculty of engineering and architecture of *Gazi University*, 36: 1515-1529.
- Venu H., Madhavan V., 2016, Effect of Al₂O₃nanoparticles in biodiesel-diesel-ethanol blends atvarious injection strategies: Performance, combustion and emission characteristics, *Fuel*, Volume 186, (2016), 176-189.
- Yenioğlu, V. Koca., 2009, Biyodizel sentezi ve biyodizel katkı maddelerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- 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).
- Yıldız, M. M., “Ketencik biyodizelinin ve eurodiesel karışımlarının taşıt performansına ve emisyonlarına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya (2021).
- Yogaraj D., Mohamed Iqbal S., Gokulakrishna R., and Meikandan M., 2018, Performance test and emission characteristics of diesel engine with alternate fuel blends and nano additives, *International Journal of Ambient Energy*, DOI: 10.1080/01430750.2018.1562978.
- Zhou, J. H., Cheung, C. S., & Leung, C. W. 2014. Combustion, performance, regulated and unregulated emissions of a diesel engine with hydrogen addition. *Applied energy*, 126, 1-12.