



**DİZEL/NANO PARÇACIK (MgO)
KARIŞIMLARININ DİZEL MOTOR
PARAMETRELERİNE ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

**2024
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Azime KILIÇ

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Samet USLU**

**DİZEL/NANO PARÇACIK KARIŞIMLARININ (MgO) DİZEL MOTOR
PARAMETRELERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Azime KILIÇ

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Samet USLU**

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

**KARABÜK
Ocak 2024**

Azime KILIÇ tarafından hazırlanan “DİZEL/NANO PARÇACIK (MgO) KARIŞIMLARININ DİZEL MOTOR PARAMETRELERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Samet USLU

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 15/01/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Samet USLU (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Süleyman ŞİMŞEK (İAÜ)

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

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

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

Azime KILIÇ

ÖZET

Yüksek Lisans

DİZEL/NANO PARÇACIK (MgO) KARIŞIMLARININ DİZEL MOTOR PARAMETRELERİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Azime KILIÇ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Samet USLU

Ocak 2024, 95 sayfa

İçten yanmalı motorlu araçların emisyonlarından kaynaklanan çevresel sorunların başında gelen hava kirliliğinin artmasına paralel olarak, kullanılan enerji kaynaklarının hızla tükenme riski, son dönemde uygulanan zorunlu emisyon sınırlamaları araştırmacıları alternatif yakıtlar üzerinde yoğunlaşmaya yöneltmiştir. Günümüzde teknolojik gelişmeler, dizel yakıtının egzoz emisyonu ve performans parametrelerinin iyileştirilmesine yöneliktir. Bu bağlamda, geniş bir kullanım alanına sahip olması nedeniyle katkı maddelerine olan ilgi artmaktadır. Oksijen içeren katkı maddeleri, yanma süreçlerinde iyileştirici etkiler göstererek emisyonları azaltmaktadır. Bu iyileşme, belirli durumlarda özgül yakıt tüketiminde de azalmaya neden olmaktadır.

Bu çalışmada, standart dizel yakıtı ile magnezyum oksit (MgO) nanoparçacık karışımlarının performans ve emisyonlara etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Motor performansı açısından özgül yakıt tüketimi (ÖYT) incelenmiştir. Egzoz

emisyonlarında ise karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC), karbondioksit (CO₂), azot oksit (NO_x) ve is değişkenlerinin analizi yapılmıştır. Deney yakıtları; dizel yakıt içerisine MgO nano parçacığının 20ppm, 40ppm ve 60ppm miktarlarında katılması ile elde edilmiştir. Deneyler; hava soğutmalı, dört zamanlı, tek silindirli bir dizel motor kullanılarak sabit motor hızında (3000 d/dk) ve 6 farklı motor yüklerinde (500 – 1000 – 1500 – 2000 – 2500 – 3000 Watt) gerçekleştirilmiştir. Deneylerde elde edilen motor performans sonuçlara göre, ÖYT değerleri karışımdaki MgO oranının artışına bağlı olarak düşük motor yüklerinde daha yüksek değerlerde, orta ve yüksek motor yüklerinde ise minimum değerlere doğru azalma şeklinde görölmektedir. D100MgO60 ppm yakıtında %1,75 azalma ile en düşük ÖYT elde edilmiştir. Deneylerde elde edilen egzoz emisyonlarında ise CO ve HC emisyon değerlerinde olumlu etkiler görölmüş olup tüm yüklerde dizel yakıtına göre azalmalar mevcuttur. MgO katkılı yakıtlarda CO₂ emisyon değeri dizel yakıtına göre tüm yüklerde artış göstermiştir. NO_x emisyonlarında ise farklı yüklerde incelenen D100MgO20 yakıtında D100 yakıtına göre %0,81 ile küçük bir oranda azalma edilmiştir. Ancak, çoğunlukla artan MgO miktarı ve silindir içi sıcaklıkla beraber artış elde edilmiştir.

Sonuç olarak, yapılan çalışmada MgO nanoparçacıklarının dizel motorlarda alternatif yakıt katkısı olarak kullanılmasının, emisyon azaltma potansiyeli taşıdığı ve ÖYT'yi düşürebileceği görölmüştür. Bu bağlamda, alternatif yakıt katkı maddelerinin kullanımıyla ilgili gelecekte yapılacak araştırmalara yön verebileceği ve daha verimli, çevre dostu motor sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayabileceği öngörölmüştür.

Anahtar Sözcükler :Nano parçacık, MgO, egzoz emisyonları, motor performansı

Bilim Kodu :91413

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF DIESEL/NANO PARTICLE (MgO) MIXTURES ON DIESEL ENGINE PARAMETERS

Azime KILIÇ

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Samet USLU

January 2024, 95 pages

In parallel with the increase in air pollution, which is one of the main environmental problems caused by the emissions of internal combustion engine vehicles, the risk of rapid depletion of the energy sources used and the mandatory emission restrictions implemented recently have led researchers to focus on alternative fuels. Today, technological developments are aimed at improving the exhaust emission and performance parameters of diesel fuel. In this context, the interest in additives is increasing because it has a wide range of uses. Additives containing oxygen reduce emissions by showing optimizing effects in combustion processes. This improvement also leads to a decrease in specific fuel consumption in certain situations. Additives containing oxygen reduce emissions by showing optimizing effects in combustion processes. This improvement also leads to a decrease in specific fuel consumption in certain situations. In this study, the effects of standard diesel fuel and magnesium oxide (MgO) nanoparticle mixtures on performance and emissions were experimentally

examined. Specific fuel consumption (SCF) was examined in terms of engine performance. In exhaust emissions, carbon monoxide (CO), hydrocarbon (HC), carbon dioxide (CO₂), nitrogen oxide (NO_x) and smoke variables were analysed. Test fuels were obtained by adding MgO nano particles into diesel fuel in amounts of 20ppm, 40ppm and 60ppm. Experiments were carried out using an air-cooled, four-stroke, single-cylinder diesel engine at constant engine speed (3000 rpm) and 6 different engine loads (500 - 1000 - 1500 - 2000 - 2500 - 3000 Watt). According to the engine performance results obtained in the experiments, SFC values appear to be higher at low engine loads, depending on the increase in the MgO ratio in the mixture, and decrease towards minimum values at medium and high engine loads. The lowest SCF was obtained with a 1.75% reduction in D100MgO60 fuel. In the exhaust emissions obtained in the experiments, positive effects were observed in CO and HC emission values, and there are continuous reductions compared to diesel fuel at all loads. The CO₂ emission value of MgO added fuels increased at all loads compared to diesel fuel. As for NO_x emissions, there was a small decrease of 0.81% in D100MgO20 fuel compared to D100 fuel, which was examined at different loads. However, an increase was mostly obtained with increasing MgO amount and in-cylinder temperature.

As a result, the study showed that the use of MgO nanoparticles as an alternative fuel additive in diesel engines has the potential to reduce emissions and can reduce specific fuel consumption. In this context, it is envisaged that it may guide future research on the use of alternative fuel additives and contribute to the development of more efficient, environmentally friendly engine systems.

Key Word : Nanoparticles, MgO, exhaust emissions, engine performance

Science Code : 91413

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren Hocam ve Tez Danışmanım Sayın Doç. Dr. Samet USLU' ya, Motor performans ve emisyon deneylerinin yapılması aşamasında yardımlarını esirgemeyen, fikir ve görüşleriyle bana katkıda bulunan Sayın Arş. Gör. Gürşah GÜRÜF' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Beni bugünlere getiren, eğitim hayatım boyunca desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme, sevgisi ve çok değerli dostluğu ile kendini bana daima yakın hissettiren, tez çalışmam ile ilgili önerilerini esirgemeyen kadim dostum Tuğba KAYA' ya, akademik kariyerin önemini her seferinde vurgulayan, kariyerim konusunda birçok toleransı sağlayan patronum Sayın Av. Haluk AVCI' ya, tez yazım sürecinde yaşadığım sorunlara çözüm getiren, tezimi tamamlayabilmem adına bütün imkanları ve koşulları sağlayan yetkilim Sayın Cem TORUN' a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	5
LİTERATÜR TARAMASI.....	5
BÖLÜM 3	17
DİZEL MOTORLARDA YANMA VE EMİSYONLAR	17
3.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA	17
3.1.1. Tutuşma Gecikmesi	18
3.1.2. Kontrolsüz Yanma.....	19
3.1.3. Kontrollü Yanma	19
3.1.4. Art Yanma (Gecikmiş Yanma).....	20
3.2. DİZEL MOTORLARDA EMİSYONLAR	20
3.2.1. Karbon Monoksit (CO) Emisyonları	22
3.2.2. Hidrokarbon (HC) Emisyonları	23
3.2.3 Azot Oksit (NO _x) Emisyonları	24
3.2.4. Partikül Madde ve İs Emisyonları	27

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4	28
DİZEL MOTOR YAKITLARININ ÖZELLİKLERİ	28
4.1. SETAN SAYISI (Tutuşma Kabiliyeti).....	30
4.2. VİSKOZİTE	31
4.3. YOĞUNLUK	33
4.4. AKMA NOKTASI	33
4.5. ISIL DEĞER	33
4.6. A.P.I. GRAVİTESİ	34
4.7. ÖZGÜL AĞIRLIK	34
4.8. UÇUCULUK (DİSTİLASYON).....	35
4.9. PARLAMA VE ALEVLENME NOKTASI	35
4.10. ANİLİN NOKTASI.....	36
4.11. DİZEL ENDEKSİ	36
4.12. KOROZOTİF ETKİSİ.....	36
4.13. YANMA ARTIKLARI	37
BÖLÜM 5	38
NANOPARÇACIKLAR.....	38
5.1. NANOPARÇACIKLARIN BOYUTU	38
5.2. NANOPARÇACIKLARIN ŞEKLİ VE YAPISI	39
5.3. NANOPARÇACIKLARIN SINIFLANDIRILMASI	40
5.3.1. Yakıt ve Yanma Kalitesini İyileştiriciler.....	41
5.3.2. Malzemesine Göre Nanoparçacıklar.....	43
5.4. FARKLI NANOPARÇACIK TÜRLERİ VE ÖZELLİKLERİ.....	45
5.4.1. Grafen – Grafen Oksit Nanoparçacıkları.....	45
5.4.2. Bor- Bor Oksit (B_2O_3) Nanoparçacıkları.....	46
5.4.3. Titanyum Dioksit (TiO_2) Nanoparçacıkları	47
5.4.4. Bakır-Bakır Oksit (CuO) Nanoparçacıkları.....	48
5.4.5. Alüminyum- Alüminyum Oksit (Al_2O_3) Nanoparçacıkları.....	49
5.4.6 Magnezyum-Magnezyum Oksit (MgO) Nanoparçacıkları.....	49
BÖLÜM 6	52
MATERYAL VE METOT	52

	<u>Sayfa</u>
6.1. MATERYAL.....	52
6.1.1 Uygulama Alanı.....	52
6.1.2. Deney Motorunun Genel Özellikleri	53
6.2. DENEYLERDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI.....	55
6.2.1. Yükleme Ünitesi	55
6.2.2. Egzoz Gaz Analizörü ve İs Emisyonu Ölçüm Cihazı.....	55
6.2.3. Laptop ve Kamera.....	58
6.2.4. Yakıt Tüketim Ölçme Düzeneği.....	59
6.2.5. Deney Yakıtları.....	60
6.2.5.1 MgO Katkı Maddesi	61
6.3. METOT	62
6.3.1. Deneylerin Yapılışı.....	62
BÖLÜM 7	66
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	66
7.1. MOTOR PERFORMANSI.....	66
7.1.1. Özgül Yakıt Tüketimi	66
7.2. EGZOZ EMİSYONLARI	68
7.2.1. CO Emisyonları	69
7.2.2. HC Emisyonları	70
7.2.3. CO ₂ Emisyonları.....	71
7.2.4. NO _x Emisyonları.....	72
7.2.5. İs Emisyonları.....	74
BÖLÜM 8	76
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	76
KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	95

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Dizel Yakıt Enjeksiyon Sistemi ve Yakıt Karışımının Oluşumu.....	17
Şekil 3.2. Dizel Motorlarda Yanma Diyagramı	18
Şekil 3.3. Dizel Motor Egzoz Emisyonlarının Konsantrasyonları.	21
Şekil 3.4. Bir Dizel Motorda Egzoz Emisyon Oranı	22
Şekil 5.1. Nanoparçacıkların Fiziksel Niteliklerine Göre Sınıflandırılması.....	40
Şekil 5.2. Tribolojik Çalışmalar İçin Nanopartiküllerin Sınıflandırılması.....	41
Şekil 5.3. Grafitin Diğer Formları	46
Şekil 6.1. Deney Alanının Genel Görünümü	52
Şekil 6.2. Deneyde Kullanılan Motor Ve Jeneratör	53
Şekil 6.3. Motor Yükleme Ünitesi.....	55
Şekil 6.4. Egzoz Gaz Analiz Ölçüm Ünitesi	56
Şekil 6.5. TT T-ECHNI-C A930C Dijital Multimetre	57
Şekil 6.6. Ölçüm Probenin Egzoz Borusuna Yerleşiminin Gösterilmesi.....	57
Şekil 6.7. İş Emisyon Cihazı	58
Şekil 6.8. Dizüstü Bilgisayar Ve Kamerası	59
Şekil 6.9. Yakıt Tüketimi Ölçümünde Kullanılan Elektronik Terazî.....	59
Şekil 6.10. Dizel Yakıt İle Dizel-MgO Katkılı Yakıt Karışımları	60
Şekil 6.11. MgO'ın SEM Görüntüsü Ve Fiziksel Görünümü	61
Şekil 6.12. MgO Katkı Maddesinin Kütleli Olarak Görünümü	63
Şekil 6.13. Hassas Terazi	63
Şekil 6.14. Dizel Yakıtta MgO Katkı Maddesinin Eklenmesi	64
Şekil 6.15. Deney Yakıtlarının Ultrasonik Karıştırıcıda Karıştırılması	64
Şekil 7.1. ÖYT'nin Farklı Yüklere Bağlı Olarak Değişimi	68
Şekil 7.2. CO Emisyonunun Farklı Yüklere Bağlı Olarak Değişimi	70
Şekil 7.3. HC Emisyonunun Farklı Yüklere Bağlı Olarak Değişimi	71
Şekil 7.4. CO ₂ Emisyonunun Farklı Yüklere Bağlı Olarak Değişimi	72
Şekil 7.5. NO _x Emisyonunun Farklı Yüklere Bağlı Olarak Değişimi	73
Şekil 7.6. İş Emisyonunun Farklı Yüklere Bağlı Olarak Değişimi.	75

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1. MgO'in Fiziksel Özellikleri	50
Çizelge 6.1. Deney Düzenegini Oluşturan Elementler	53
Çizelge 6.2. Deneyde Kullanılan Motora Ait Teknik Özellikler	54
Çizelge 6.3. Deneyde Kullanılan Jeneratöre Ait Teknik Özellikler.....	54
Çizelge 6.4. Egzoz Gaz Analiz Cihazı Teknik Özellikleri.....	56
Çizelge 6.5. Deney Yakıtlarının Özellikleri.....	60
Çizelge 6.6. Magnezyum Oksit Nano Parçacığı Özellikleri	61
Çizelge 6.7. Deney Yakıtlarının İsimlendirilmesi.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbon dioksit
HC	: Hidrokarbon
SO _x	: Kükürt oksitler
NO _x	: Azot oksitler
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
TiO ₂	: Titanyum oksit
Cu ₂ O	: Bakır (I) oksit
CuO	: Bakır (II) oksit
SiO ₂	: Silikon dioksit
CeO ₂	: Seryum oksit
SO ₂	: Kükürt dioksit
Fe ₂ O ₃	: Demir oksit
MnO ₂	: Mangan dioksit
MgO	: Magnezyum oksit
MoO ₂	: Molibden dioksit
MoO ₃	: Molibden trioksit
GO	: Grafen oksit
ZNO	: Çinko oksit
C ₄ H ₉ OH	: Bütanol
C ₁₆ H ₃₄	: Heksadekan
H ₂ SO ₄	: Sülfirik asit

KISALTMALAR

D100	: Saf Dizel Yakıtı
D100MgO20	: 20 Ppm MgO İçeren Dizel Yakıtı
D100MgO40	: 40 Ppm MgO İçeren Dizel Yakıtı
D100MgO60	: 60 Ppm MgO İçeren Dizel Yakıtı
PM	: Partikül Maddeler
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
ÖYT	: Özgül Yakıt Tüketimi
FÖYT	: Fren Özgül Yakıt Tüketimi
FTV	: Fren Termal Verimliliği
HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
THC	: Toplam Hidrokarbon Seviyesi
HP	: Beygir Gücü
SG	: Spesifik Gravite
CNT	: Karbon Nanotüpler
EGR	: Egzoz Gaz Resirkülasyonu
TS	: Türk Standardı
ISO	:International Organization for Standardization (Uluslararası Standardizasyon Örgütü)
API	: American Petroleum Institute (Amerikan Petrol Enstitüsü)
THC	: Tetrahidrokannabinol (Hint Keneviri)
TEM	: Transmission Electron Microscopy (Geçirimli Elektron Mikroskobu)
SG	: Spesifik Gravite
Ppm	: Milyonda Bir Parça

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji, modern toplumun temel ihtiyaçlarını karşılamak ve yaşam standardını yükseltmek için vazgeçilmez bir kaynaktır. Ekonomik büyümenin ve sosyal refahın temel taşı olması ile birlikte endüstriyel faaliyetlerin sürdürülmesi, ticaretin gelişimi ve teknolojik ilerlemenin gerçekleşmesi için enerji kaynakları önemli bir role sahiptir. Enerji, insanoğlunun ulaşım konusunda da yaşam kalitesinin yükseltilmesinde kritik bir etkiye sahiptir. Ulaşım araçları, insanların günlük yaşamını kolaylaştırarak seyahat özgürlüğünü ve erişilebilirliği artırmaktadır. Modern dünyada enerji talebi sürekli bir artış göstermekte olup, bu talebin karşılanması için farklı enerji kaynaklarına olan ihtiyaç önemli bir konudur. Fosil kaynaklar ve yenilenebilir kaynaklar, enerji arzında kilit rol oynamaktadır.

Enerji ihtiyacının sürekli artması, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin enerji kaynaklarına olan bağımlılığını artırmıştır. Fosil kaynaklar, mevcut enerji talebinin büyük bir bölümünü karşılamakta olup, petrol, doğal gaz ve kömür gibi kaynaklar en yaygın olarak kullanılanlar arasında yer almaktadır. Bunun yanı sıra, yenilenebilir kaynaklar da giderek önem kazanmaktadır ve hidrojen, güneş, rüzgâr, biokütle gibi kaynaklar enerji arzına katkı sağlamaktadır [1]. Enerji ihtiyacının büyük bir bölümünün fosil kaynaklardan karşılanması, çevresel sorunları ve iklim değişikliği gibi endişeleri de beraberinde getirmektedir. Fosil yakıtların yanması sonucu açığa çıkan sera gazları, küresel ısınmanın hızlanmasına neden olmaktadır. Ayrıca, fosil kaynakların kullanımı ekosistemlere zarar verdiğinden biyolojik çeşitlilik kaybına yol açmakta ve çevre kirliliğini artırmaktadır. Ayrıca; küresel nüfusun sürekli artması ve sanayileşme sürecinin hızlanması, fosil kaynaklara olan bağımlılığın artmasına ve bu kaynakların tükenme riskinin artmasına yol açmaktadır [2].

Sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan talebin artırılması ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin daha geniş çapta benimsenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu şekilde gelecek nesillere yönelik enerji güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik sağlanabilecektir. Enerji kaynaklarının sürdürülebilirliğini artırmak ve çevresel etkileri azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesi, enerji verimliliğinin artırılması ve alternatif enerji teknolojilerinin teşvik edilmesi gerekmektedir. Bu yöntemler, enerji ihtiyacının dengeli bir şekilde karşılanmasına katkı sağlayarak, sürdürülebilir bir gelecek için önemli bir adımdır [3]. Günümüzde, gelişen teknolojiyle birlikte enerji ihtiyaçlarımızın karşılanmasında klasik enerji kaynaklarının yetersiz kalacağı da bir gerçektir. Bu durum, özellikle otomotiv sektörünün hem ülkemizde hem de küresel ekonomideki önemli konumunu göz önüne getirdiğimizde daha da belirgin hale gelmektedir. Ulaşım sektöründe kullanılan araçların çoğunluğu hala petrol kökenli yakıtlara bağımlıdır ve bu durum enerji stratejilerimizi ve ekonomik dengelerimizi etkilemektedir.

Akademik araştırmalar, enerji kaynaklarının sınırlı olduğunu ve petrol rezervlerinin yeterliliği konusunda endişeler olduğunu ortaya koymaktadır. Petrolün tükenebilir bir kaynak olması ve artan talebe karşın arzın sınırlı olması, petrol fiyatlarının sürekli bir artış eğilimi göstermesine neden olmaktadır. Bu durum, enerji sektöründe petrol kullanımına dayalı olan ulaşım sektörünü büyük ölçüde etkileyerek dünya ekonomisinde ciddi bir sorun kaynağı haline gelmektedir. Özellikle ulaşım sektöründe yaygın olarak kullanılan petrol kökenli yakıtların azalması ekonomik dengelerin sarsılmasına yol açmaktadır. Bunun yanında ülkelerin enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla verimliliğin artırılmasını sağlamak, kaynak çeşitliliğinin ve sürekliliğinin sağlanması ile birlikte çevre bilincinin korunması da önem taşımaktadır [4,5].

Dizel motorlar, birçok sektörde, özellikle tarım, karayolu taşımacılığı ve sanayi gibi alanlarda elektrik jeneratörleri için güç kaynağı olarak tercih edilir. Bu motorlar, yüksek ısı verimleri, dayanıklılıkları, yakıt ekonomisi ve sağlamlıkları sayesinde avantaj sağlarlar. Karayolu taşıtlarında dizel motorlar, uzun mesafeli taşımacılık ve ağır yük taşıma gibi zorlu görevler için tercih edilir. Bu motorlar, yüksek tork ve güç üretme kapasiteleri sayesinde taşıtların daha etkili bir şekilde hareket etmesini sağlar. Yakıt ekonomisi açısından da avantajlıdır, çünkü dizel yakıt daha yüksek enerji

yoğunluğuna sahiptir ve daha az yakıt tüketimi gerektirir. Ancak, dizel yakıt kullanan araçlarda bazı dezavantajlar da bulunmaktadır. Yanma süreci sonucunda PM, NO_x, HC, CO, CO₂, toksik maddeler oluşur ve tehlikeli olmaktadır [6]. Dizel motorlarının emisyonları ve yakıt tüketimi, çevresel etkileri azaltmak amacıyla aktif olarak araştırılan bir konudur. Bu motorların yaydığı zararlı emisyonlar ve yüksek yakıt tüketimi, çevre kirliliğini ve küresel ısınma sorununu tetikleyerek artırmaktadır. Dizel motordan kaynaklanan kirleticiler arasında HC, CO, NO_x ve SO_x gibi önemli bileşikler yer almaktadır. Bu kirleticiler, hava kalitesini olumsuz etkileyerek çeşitli bulaşıcı hastalıklara ve asit yağmurlarına yol açabilmektedir. Bu nedenle, fosil yakıtların yerine geçebilecek veya dizel yakıtla birlikte kullanılacak alternatif yakıt çözümleri üzerinde yoğun bir şekilde çalışmalar yürütülmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen yakıtlar, biyodizel gibi alternatif yakıtlar ve hidrojen gibi temiz enerji kaynakları, dizel motorlardan kaynaklı emisyonları ve yakıt tüketimini azaltma potansiyeline sahiptir. Bu alternatif yakıtların kullanımı, çevresel etkilerin azaltılması ve enerji verimliliğinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır [7]. Biyodizel, enerji sektöründe önemli bir alternatif yakıt olarak kabul edilmektedir. Bitkisel yağlar ve hayvansal yağlar gibi çeşitli kaynaklardan üretilen biyodizel, dizel motorlarında herhangi bir büyük değişiklik yapmadan kullanılabilir, bu da mevcut araç ve ekipmanlara kolayca entegre edilmesini sağlamaktadır [8,9]. Biyodizel, yaşam döngüsü açısından geleneksel dizel yakıtı göre çeşitli avantajlar sunmaktadır. Biyodizel, doğrudan yakıtla karıştırılarak setan sayısı iyileştirilip, CO, CO₂, HC ve duman emisyonlarının azaltılması üzerinde olumlu etkisi bulunmaktadır [10]. Avantajlarının yanı sıra biyodizeldeki oksijen içeriği, NO_x emisyonunu artıran bir etkiye sahip olduğundan dezavantajları da bulunmaktadır. Bununla birlikte, biyodizelin düşük ısıtma değeri, motor performansında azalmaya neden olabilir. Bu olumsuzluklar, enjektör basıncı ve süresi, sıkıştırma oranı, yanma odası tasarımı gibi faktörlerle giderilebilmektedir. Ancak, bu tür iyileştirmelerin zaman alıcı ve maliyetli olması, araştırmacıları biyodizel yakıtlarına ek olarak katkı maddeleri kullanma yönünde yönlendirmiştir [11,12].

Yakıt katkı maddeleri, yakıt özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik yapılan çalışmaların başında gelmektedir. Yakıt katkı maddeleri, yakıtın yanma verimini

artırarak hava kirliliğine yol açan kirletici emisyon değerlerinin azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu katkılar, yakıtın yanması sırasında oluşan kalıntıları temizleyerek motorun daha temiz çalışmasını sağlamaktadır. Mevcut dizel motor yapısında egzoz emisyonları büyük oranda azaltılmasına rağmen alınan bu önlemlerin günümüz teknolojisinin standartlarını karşılamasında yetersiz kalacağı bilinmektedir. Bu nedenle ek çözümler bulunulması kaçınılmazdır. Yakıt katkılarının kullanılması diğer yöntemlere nazaran daha basit ve etkili bir yöntem olduğu için yeni yöntem olarak nano yakıt katkılarının kullanımı araştırmacılar tarafından rağbet görmektedir. Yapılan çalışmalarda nano yakıt katkılarının aynı zamanda yakıt özelliklerini geliştirdiği ve motor performansını artırdığı da belirlenmiştir [6,10].

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Günümüz dünyasında, artan nüfusla birlikte enerjiye olan talep hızla arttığından, enerji kaynakları arasında öncelikli olarak sınıflandırılan fosil kaynaklı yakıtlara olan erişilebilirliğin azalması ile enerji maliyetleri de artmaktadır. Bu durum, emisyon standartlarının giderek daha sıkı tedbirlerle ilerlemesine neden olmaktadır [13].

Dizel motorların ekolojik ve uzun vadeli sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla alternatif katkı maddeleri ve yakıtlar üzerine yapılan araştırmalar büyük bir önem taşımaktadır. Bu alternatif katkı maddeleri, dizel yakıtın performansını artırmak ve emisyonlarını azaltmak için geliştirilmektedir. Biyodizel, nanopartiküller, su bazlı katkıları ve çeşitli kimyasal katkı maddeleri gibi seçenekler bu alandaki araştırmaların odak noktalarını oluşturmaktadır. Yapılan çalışmalar, alternatif yakıtların dizel motorlar üzerindeki etkisini ve uygulanabilirliğini inceleyerek çevresel avantajları ve potansiyel zorlukları ele almaktadır.

Akay, bu tez çalışmasında transesterifikasyon yöntemi ile geri dönüşümden elde ettiği atık zeytinyağı biyodizelini saf dizel yakıtıyla oranlayıp (%30 biyodizel ve %70 dizel yakıtı) karıştırarak motor performansı ve egzoz emisyonlarını analiz etmiştir. Bu analizler, sabit 2200 d/dk devir hızında çalışan tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda çeşitli motor yükleri altında gerçekleştirilmiştir. İnceleme sonuçlarına göre, biyodizel ile dizel yakıtının karışımı olan B30 (%70 dizel yakıtına %30 atık zeytinyağı biyodizel ilavesi) yakıtının ısı değeri dizel yakıtına kıyasla daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan testler sırasında, 18,75 Nm yük altında (en yüksek yük) CO ve is emisyonlarında %37,5'lik bir düşüş kaydedilmiştir. Ayrıca, CO₂ ve NO_x emisyon değerlerinde ise bu karışımın dizel yakıtına göre daha yüksek oranlara sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgular, B30 yakıtının enerji verimliliği açısından dizel yakıttan daha az olduğunu, ancak alternatif bir yakıt seçeneği olarak kabul edilebilecek

benzer verilere sahip olduğunu işaret etmiştir [14].

Büyükkaya, deneylerinde standart dizel yakıtı ile %5, %20 ve %70 oranlarında kolza yağından elde edilen biyodizel yakıtlarını kullanarak bir dizel motorunun performansını, emisyonlarını ve yanma analizini karşılaştırmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, biyodizel yakıtın dizel yakıtına göre duman yoğunluğunda %60'a kadar bir azalma ve ÖYT değerinde %11'e kadar bir artış gözlemlenmiştir. Ek olarak, Büyükkaya, kolza yağından elde edilen biyodizel yakıtın yanma özelliklerinin dizel yakıtına benzer olduğunu saptamıştır. Büyükkaya, biyodizel yakıtın maksimum tork ve nominal güç koşullarındaki analizlerine dayanarak, dizel yakıtla kıyasla sırasıyla %8,5 ve %8 daha yüksek performans gösterdiğini belirlemiştir [15].

El-Seesy vd. çalışmalarında dizel-alkol yakıt karışımlarında hacimsel olarak %50 oranında n-bütanol, 1-heptanol ve 1-oktanol bulundurarak elde edilen yakıtların motor performansını ve egzoz emisyonlarını, grafen oksit nanoparçacıklarının eklenmesiyle olumlu bir şekilde iyileştirilebileceğini ortaya koymuşlardır. Dizel-alkol karışımlarının, silindir basıncını düşürdüğü, ısı iletim hız oranını azalttığı ve uzun ateşleme zamanı sebebiyle en yüksek silindir basıncı noktasını ertelediği belirlemiştirlerdir. Alkollerin düşük ısıl veriminden dolayı motorun ÖYT'de ortalama %20'lik bir artış olduğu saptanmıştır. 25 mg/L ve 50 mg/L oranlarında grafen oksit nanoparçacık ilavesi, yakıt karışımlarında silindir basıncını ve ısı yayılım oranını %4 oranında artırırken, aynı zamanda tutuşma gecikmesini kısaltmıştır. Grafen oksit nanoparçacıklarının özgül yakıt tüketimini %15, CO emisyonlarını %40, HC emisyonlarını %50 ve is emisyonlarını %20 oranında azalttığı, ancak yanmanın iyileşmesi sonucunda NO_x emisyonlarının %30 oranında arttığı belirtilmiştir. Grafen oksit nanoparçacıklarının kullanılmasıyla, yüksek oranda alkol kullanımının yol açtığı performans düşüşünün azaltılabileceği ve CO, HC ve is emisyonlarının önemli ölçüde azaltılabileceği belirtilmiştir [16].

Tan vd. araştırmalarında, dizel yakıt ile jatropha yağından elde edilen biyodizel karışımlarının farklı oranlardaki kullanımının, egzoz emisyonları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu çerçevede, %5, %10, %20, %50 ve %100 oranlarındaki biyodizel karışımlarının yanma sonucunda ortaya çıkan NO_x, CO, HC, is, formaldehit (CH₂O),

asetaldehit (CH_3CHO), aseton ($(\text{CH}_3)_2\text{CO}$) ve toluen (C_7H_8) maddeleri üzerinde detaylı bir analiz gerçekleştirmiştir. Araştırmanın sonuçlarına göre, biyodizel karışımları ile standart dizel yakıtın düşük ve orta motor yüklerindeki NO_x emisyonları arasında belirgin bir farklılık gözlemlenmemiştir. Düşük motor yüklerinde biyodizel yakıtların CO emisyonunda bir artış tespit etmişlerdir. Bu duruma karşın, biyodizel karışım oranlarının artmasıyla birlikte HC emisyonlarında ve duman yoğunluğunda azalma gözlenmiş, ancak formaldehit emisyonlarında bir artış saptamışlardır. Araştırmacılar, dizel yakıt ile biyodizel karışımlarını karşılaştırdıklarında, B5 (dizel yakıtta %5 oranında jatropha yağından elde edilen biyodizel ilavesi) yakıtının asetaldehit emisyonlarının dizel yakıtla kıyasla daha yüksek olduğunu, ancak B100 (%100 oranında jatropha yağından elde edilen biyodizel) yakıtının asetaldehit emisyonlarının daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir [17].

Shi vd. gerçekleştirdikleri çalışmada, bir dizel motorunda kullanılmak üzere dizel, soya metil esteri ve etanol karışımlarından oluşan yeni bir oksijenli dizel yakıtı geliştirmişlerdir. Elde ettikleri karışımı %5, %20 ve %75 hacim oranlarında olacak şekilde üç farklı konsantrasyonda kullanarak çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar, yaptıkları çalışma sonucunda kullandıkları karışımın, HC, is emisyonlarında dizel yakıtla kıyasla düşüş sağladığını, ancak NO_x emisyonlarında %2 ile %14 arasında yükselişler gözlemlediklerini rapor etmişlerdir [18].

Kaydırak, tez çalışmasında; çeşitli oranlarda biyodizel karışımları hem normal emişli hem de aşırı doldurmalı motorlarda test edilmiştir. Araştırma kapsamında kullanılan biyodizel, transesterifikasyon yöntemiyle pamuk yağı metil esteri kullanılarak sentezlenmiştir. Araştırma kapsamında kullanılan yakıtlar, farklı oranlarda (%10, %20 ve %50) saf dizel yakıt ile karıştırılmıştır. Bununla birlikte, karşılaştırma yapmak amacıyla tamamen saf dizel içeriğine sahip yakıt (B0) kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, aşırı beslemeli motorlar için B0 yakıtının daha etkin bir tercih olduğu gözlemlenirken, standart emişli motorlar için ise B20 (dizel yakıtta %20 oranında biyodizel ilavesi) yakıtının daha avantajlı bir seçenek sunduğu belirtmiştir. Bu duruma ek olarak yapılan analizlerde, B0, B10, B20 ve B50 (saf dizel, saf dizel yakıtla sırasıyla %10, %20 ve %50 biyodizel ilavesi) yakıt türleri arasında maksimum yakıt enerjisi değeri B20 yakıtına ait olduğunu belirlemiştir. Ölçülen efektif güç değerleri sırasıyla

7,48, 7,63, 8 ve 7,61 kW olarak kaydedilmiş ve bu analiz sonucunda en yüksek efektif güç değerinin B20 yakıtına ait olduğunu tespit etmiştir [19].

Radhakrishnan vd. alüminyum oksit (Al_2O_3) nanopartiküllerinin biyodizel-dizel karışımları üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada, motor farklı yükler altında çalıştırılmış ve motor performansı ile egzoz emisyon özellikleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar, Al_2O_3 nanopartiküllerin eklenmesi ile performans açısından ÖYT değeri artarken, fren termik verim değerinin azalması bazı olumsuz etkileri işaret etse de Al_2O_3 nanopartikül katkısının NO_x , CO, HC ve is emisyonlarının azaldığı belirtilmiştir. Bu sonuçlar, Al_2O_3 nanopartiküllerin biyodizel-dizel karışımlarına ilave edilerek motor performansı ve emisyonlarını düzenlemede etkili bir yöntem olarak kullanılabileceğini göstermektedir [20].

Özgür vd. çalışmalarında, oksijen içeren MgO ve SiO_2 nanopartikül katkı maddelerinin biyodizele eklenmesi sonucunda dizel motor performans ve parametrelerine olan etkilerini araştırmışlardır. MgO ve SiO_2 katkı maddeleri 25 ve 50 ppm dozlarında kullanılmıştır. Elde edilen yakıtların özellikleri üzerinde yapılan değerlendirmeler sonucunda, nanopartikül katkı maddelerinin eklenmesi ile NO_x ve CO emisyonlarının azaldığını ve motor performansında hafif bir iyileşmenin söz konusu olduğu vurgulanmıştır [21].

Keskin vd. dizel motor performansı ve emisyonları üzerinde MgO ve MoO_2 metal bazlı yakıt katkı maddelerinin etkisini incelemiştir. Yüksek asitli yağ biyodizeline farklı oranlarda MgO ve MoO_2 katkı maddelerinin eklenmesi ile gerçekleştirilen deney çalışmaları sonucunda katkı maddelerinin biyodizel yakıtın fiziksel özelliklerinde yani alevlenme noktası, akma noktası ve viskozite gibi değerlerini iyileştirdiği bulunmuştur. Ayrıca, bu katkı maddelerinin egzoz emisyonları üzerinde olumlu etkileri olduğu gözlemlenmiştir. CO emisyonu %56,42 oranında, duman yoğunluğu ise %30,43 oranında azalmıştır. Genel olarak, biyodizel yakıtlarıyla düşük NO_x ve CO_2 emisyonları elde edilmiştir [22].

Sajith vd. CeO_2 nanopartikülünün (20-80 ppm) oranlarında biyodizel yakıtına ilavesi ile biyodizel yakıtının özellikleri ve performansı üzerindeki etkileri konusunda

çalışmışlardır. Bu çalışma sonucunda, CeO₂ nanopartiküllerinin eklenmesiyle biyodizelin düşük sıcaklık özelliklerinde önemli bir değişiklik görülmemiştir. Farklı oranlarda (20-80 ppm) eklenen nano katkısı ile yapılan motor testleri ise motor veriminde bir iyileşme gösterdiğini, biyodizelin yanma noktası ve viskozitesinin artarken, HC ve NO_x emisyon değerlerinde önemli bir düşüş gözlemlenmiştir [23].

Örs vd. metal bazlı bir nano partikül olan titanyum dioksit (TiO₂) ve n-bütanol (C₄H₉OH) ile dizel ve atık pişirme yağından elde edilen biyodizel yakıtlarını farklı oranlarda karıştırılarak elde edilen yakıt karışımlarının dizel motor performansı, yanma özellikleri ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini incelemek için çalışmışlardır. Nanopartiküllerin katkısı ile motor torku, motor gücü ve yakıt tüketimi gibi motor performans değerlerinde artış sağlanmıştır. Egzoz emisyon sonuçlarında ise CO, HC ve duman yoğunluğunda azalma görülürken CO₂ ve NO_x emisyonlarında artış meydana gelmiştir [24].

Yogaraj vd. bu çalışmada, jatropha biyodizelinin dizel motorlarında kullanımının incelenmesini ve biyodizel ile gümüş katkılı titanyum dioksit (Ag-TiO₂) içeren bir karışımın etkisinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesini amaçlamışlardır. Yapılan deneylerde, nano katkı maddelerinin kullanımıyla tam yanma sağlanarak, fren özgül yakıt tüketimi ve CO₂ ile HC emisyonları azalmıştır. Bununla birlikte, tüm deney parametrelerinde NO_x emisyonlarının arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan deney sonuçlarıyla birlikte nano katkı maddelerinin genel olarak biyodizellerin performansını ve emisyonlarını iyileştirdiğini ortaya koymuşlardır [25].

Bafghi vd. CeO₂ nano katkısıyla yaptıkları çalışmalarda, saf dizel yakıtı ve saf dizel-biyodizel karışımlarındaki nanopartikül yoğunluğunun artması ile birlikte alevlenme noktasının yükseldiğini tespit etmişlerdir. Farklı oranlar ile elde edilen yakıt karışımlarıyla yapılan deneyler sonucunda minimum alevlenme noktasını %5 biyodizel, %95 dizel ve 5ppm CeO₂ kombinasyonu sağlarken, %100 dizel yakıtta ise maksimum değeri belirlemişlerdir. Karışımdaki viskozite değeri CeO₂ konsantrasyonunun artması ile azalmıştır. Motor gücü, %5 biyodizel, %95 dizel ve 25ppm CeO₂ karışımda 2400 dev/dk hızda maksimum seviyeyi gösterirken, aynı

karışımında elde edilen moment değerlerinde ise minimum seviyeyi dizel yakıt göstermiştir [26].

Selvan vd. çalışmalarında, biyodizel-etanol-CeO₂ katkılarını, 3,7 kW güçte ve 1500 dev/dk hızında su soğutmalı bir dizel motor üzerinde performans parametrelerini test etmişlerdir. ÖYT’de minimum seviye CeO₂-dizel yakıt karışımında, 0,3586 kg/kWh değeri ile sağlanmıştır. Bu durumun temel nedeninin CeO₂’in yanma verimliliğini artırıcı etkisinin olduğunu ifade etmişlerdir. CeO₂ nanopartikül katkısı ile CO emisyonlarında azalma sağlanmış olup minimum değeri ise etanol-biyodizel yakıt karışımında gözlemlediklerini belirtmişlerdir. CeO₂’nin oksijen katkısı ile birlikte yanmanın daha verimli hale gelmesi HC emisyonlarında azalma sağlamaktadır. Minimum HC emisyon değerini CeO₂ nanopartikül katkısı ile 97 ppm olarak kaydetmişlerdir. NO_x emisyonlarında minimum değeri dizel yakıtta 250 ppm olarak belirlemişlerdir. Bu bağlamda, nanopartikül katkısının yanma sıcaklığını yükseltmesinden dolayı NO_x emisyonlarında belirli bir artışa neden olduğunu ifade etmişlerdir [27].

Ranaware vd. yaptıkları çalışmada, CeO₂ nano parçacıkları ve su bazlı ferro sıvısının dizel yakıtına katkı maddesi olarak kullanımının, sıkıştırma ateşlemeli bir motorun performansı ve emisyon özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Ferro sıvı ile yapılan katkının motor performansı üzerinde belirgin bir etkisi olduğu görülmüştür. Fren termal veriminde %12'ye varan bir artış sağlarken, ÖYT’de %11'e kadar bir azalma gözlenmiştir. Egzoz emisyon değerlerine bakıldığında ise NO_x emisyonlarının dizel yakıtta göre daha düşük olduğunu gösterirken, CO emisyonlarının arttığı görülmüştür [28].

Biyodizel, düşük emisyon profili ve çevresel etkileri azaltması nedeniyle çevre dostu bir alternatif olarak kabul edilmektedir. Nanopartiküller, yakıtın yanması sırasında daha iyi bir karışım oluşturarak yanmanın tamamlanma süresini hızlandırıp, yanma verimliliğini artırdığından nanopartikül katkılı biyodizelin dizel yakıtta eklenmesiyle daha yüksek performans ve daha düşük emisyonlar sağlayabilmektedir. Ancak, üretim maliyetleri yüksek olabileceğinden, ticari uygulanabilirliği üzerinde etkili olabilmektedir. Nanopartikül katkılı biyodizel üretimi, yakıt üretim sürecine ek bir

aşama ekleyeceğinden işletme maliyetlerini artırabilir. Nanopartikül katkılı biyodizel üzerine yapılan ve göz ardı edilemeyecek derecede olumlu sonuçlar alınan çalışmalar literatürde fazla olsa da bu tür yeniliklerin uygulanabilirliği ve ekonomik açıdan sürdürülebilirliği göz önünde bulundurulmalıdır.

Çınar ve Akyüz, içten yanmalı dizel motorlar için çevresel korumayı ve yakıt ekonomisini geliştirmeyi hedefleyerek mevcut yakıt teknolojilerinin geliştirilmesini amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda, bakır (I) oksit (Cu_2O) ve Al_2O_3 nano partiküllerinin dizel yakıtına farklı konsantrasyonlarda (50 ve 100 ppm) eklenmesinin motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneyler, büyük hacimli bir motor kullanılarak farklı yük koşullarında gerçekleştirilmiştir ve yükün artmasıyla birlikte nano partiküllerin performans artışına katkıda bulunduğu belirlenmiştir. Maksimum verim değerleri, 100 ppm konsantrasyonda yakıt karışımlarında elde edilmiştir. Ayrıca, 100 ppm Al_2O_3 karışımının CO emisyon değerleri saf dizel yakıtına göre yüksekken, 50 ve 100 ppm Cu_2O ile 50 ppm Al_2O_3 karışım yakıtlarının CO emisyon değerleri saf dizele göre daha düşüktür [29].

Khulief ve Aboul-Fotouh, rafine dizel yakıtına bakır (II) oksit (CuO) nano parçacıklarının eklenmesinin performansa etkisini incelemişlerdir. Deney analizi, dört zamanlı bir motorda iki farklı yük altında CuO nano-dizel karışımı ile yapılmış olup bu çalışmada, farklı oranlarda (100, 200 ve 300 ppm) CuO nano parçacıkları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, saf rafine dizelin yüksek verimlilik, yüksek fren gücü ve düşük egzoz sıcaklığına sahip olduğunu göstermiştir. Özellikle, 300 ppm CuO nano-dizel, diğer konsantrasyonlara ve saf dizel yakıtına göre (en düşük yakıt tüketimi sağlanmış, fren gücü artmış ve besleme gücü yükseldiğinden) daha iyi motor performansı göstermiştir. Ancak, bu yakıt için egzoz sıcaklığı en yüksek seviyededir [30].

Çelik ve arkadaşları, dizel yakıtına organik bazlı bir mangan (Mn) katkı maddesi eklenmesi ile yakıtın yanma, performans ve egzoz emisyon özellikleri incelemişlerdir. Tek silindirli bir dizel motor kullanılarak yapılan deneyler sonucunda, en iyi sonuçlar 12 ppm karışım oranında elde edilmiştir. Bu oranda, D0Mn12 (dizel yakıtına 12 ppm Mn nanoparçacık ilavesi) yakıtının maksimum gücü %12,48 oranında artarken, özgül

yakıt tüketimi %8,17 oranında azalmıştır. D0Mn12 yakıtında CO, toplam HC ve duman emisyonları minimum seviyede bulunurken, NO_x emisyonları maksimum seviyeye ulaşmıştır [31].

Mandal ve Kanagaraj araştırmalarında, dizel yakıtta nanopartikül katkısı kullanılması üzerine çalışmışlardır. CeO₂ katkılarının kütleli olarak %0,02 - %0,10 arasında değişen oranlarda dizel yakıtta ilave edilmesiyle elde edilen yakıt karışımlarının, dizel motor performans ve parametrelerine olan etkilerini değerlendirmişlerdir. %75 motor yükü altında egzoz emisyonlarında en fazla azalma, %0,06 CeO₂ katkı oranı ile elde etmişlerdir. Bu koşullarda ÖYT %10, NO_x %50 ve CO emisyonları %40 oranlarında azalma gösterdiğini kaydetmişlerdir. Motor yapılarına herhangi bir müdahalede bulunulmadan nanopartikül yakıt katkılarının kullanımının, egzoz emisyonlarında azalmaya yönelik etkili bir yol olduğunu vurgulamışlardır [32].

Keskin ve arkadaşları, dizel motorların performansı ve egzoz emisyonları üzerinde etkili olabilecek metal bazlı katkı maddeleri olan mangan dioksit (MnO₂) ve MgO'nun sentezlenmesiyle ilgili bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu katkı maddeleri farklı oranlarda (8µmol/L ve 16µmol/L) dizel yakıtına eklenmiştir. Yapılan deneylerde, katkı maddelerinin ilavesinin yakıtın viskozitesi, alevlenme noktası ve bulutlanma noktası gibi özelliklerinde iyileşmeler sağladığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, test edilen dizel motorlarda tam yükte yapılan testlerde, özgül yakıt tüketiminde %4,16'ya varan bir azalma kaydedilmiştir. Emisyon analizlerinde ise CO₂ emisyonlarında belirgin bir değişiklik olmadığı görülmüştür. Ancak, CO ve duman yoğunluğunda büyük ölçüde azalma gözlenirken, NO_x emisyonlarının arttığı tespit edilmiştir [33].

Metha vd. deneysel bir çalışma kapsamında dizel yakıt katkısı olarak alüminyum (Al), demir (Fe) ve bor (B) nanopartiküllerinin etkilerini incelemişlerdir. Araştırmalarında; Al, Fe ve B nanopartiküllerinin %0,5 oranlarında dizel yakıtta katılmasıyla elde edilen nano karışimli yakıtların stabilitesini güvence altına almak için %0,1 oranında sürfaktan madde kullanmayı tercih etmişlerdir. Nanopartiküllerin dizel yakıtına eklenmesinin, enerji içeriğini yükselttiği ve bununla birlikte yakıtın buharlaşma hızını artırarak ateşleme sürecini hızlandırdığını tespit etmişlerdir. Bu durum, oluşan alevin daha uzun süre devam etmesine olanak tanırken, yakıtın oksijen ile kimyasal

etkileşimini hızlandırarak daha etkili bir yanma süreci sağladıklarını vurgulamışlardır. Tüm bu etkenlerin motor performansını artırdığı ve ÖYT değerinde %7 civarında bir azalma saptamışlardır. CO emisyonlarında %25 ila %40 arasında, HC emisyonlarında %4 ila %8 arasında bir azalma gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte, NO_x emisyon değerlerinde ise %3 ila %5 oranında artış tespit etmişlerdir [34].

Bello vd. yaptıkları araştırmada, grafen oksit (GO) ve TiO₂ nanopartiküllerinin yakıt katkısı olarak kullanılması ile ilgili önemli bulgular ortaya koymuşlardır. Çalışmalarında, DGO100 ppm (dizel yakıtta 100 ppm GO nanopartikül katkısı), DTiO₂100 ppm (dizel yakıtta 100 ppm TiO₂ nanopartikül katkısı), DGO50TiO₂50 ppm (dizel yakıtta 50 ppm GO ve 50 ppm TiO₂ nanopartikül katkısı) şeklinde çeşitli konsantrasyonlar ile edilen karışım yakıtlarını test etmişlerdir. Yüksek motor yükleri altında, nanopartikül katkılı yakıt karışımlarının tamamında silindir basıncının belirgin bir şekilde arttığını gözlemlemişlerdir. GO'nun yüksek sıcaklıklara maruz kalmasıyla meydana gelen termal ayrışma ve kısmi olarak oksijen ile kimyasal tepkimeye girmesi sonucunda CO emisyon değerlerinde artış olduğunu belirtmişlerdir. GO nanopartikülleri, NO_x emisyonlarını azaltma eğilimindeyken, TiO₂ ve GO+TiO₂ nanopartikül katkılı yakıt karışımlarının NO_x emisyonlarında artışa yönelik eğilim gösterdiğini kaydetmişlerdir [35].

Ahmed vd. motor performansı ile egzoz emisyonları arasındaki ilişkiyi inceledikleri çalışmalarında, metalik olmayan grafit (G) nanopartikülleri ile metal esaslı demir oksit (Fe₂O₃) nanopartiküllerinin farklı konsantrasyonlarda (50 mg/L, 100 mg/L ve 150 mg/L) dizel yakıtına katılmasının etkilerini değerlendirmişlerdir. Her iki nanopartikülünde dizel yakıtın viskozite değerinde azalış gösterdiğini, setan sayısını ve kütleli yoğunluğunu yükselttiğini ancak parlama ve akma noktalarının sıcaklıkları üzerinde belirgin bir şekilde etki göstermediğini ifade etmişlerdir. Bu durumlara ek olarak, motor performansını iyileştirdiklerini ve bu iyileşmenin yakıt içerisinde nanopartikül konsantrasyonu ile ilişkili olduğunu gözlemlemişlerdir. G nanopartikülleri ile Fe₂O₃ nanopartikülleri arasında motor momenti, güç ve termik verim bakımından daha iyileştirici sonuçlar elde ettiklerini belirtmişlerdir. Her iki nanopartikülün NO_x emisyonlarını dizel yakıt değerlerine göre artırdığını ve bu artış verimli bir yanma sürecini temsil ettiğinden dolayı ÖYT değerinin azaldığını

belirtmişlerdir. CO emisyon değerlerinde G nanopartikülü %14,2 oranında yükseltirken, Fe₂O₃ nanopartikülünün %9,8 oranında düşürdüğünü test etmişlerdir. Nanopartiküllerin yüksek yoğunluklarda kullanılmasının maliyet açısından verimli olmayabileceğini ancak motor performans ve parametreleri üzerindeki olumlu etkileri göz önüne alındığında, nanoparçacıkların düşük yoğunluklarda kullanımının mümkün olduğunu vurgulamışlardır [36].

Chen vd. 4 zamanlı tek silindirli bir dizel motorda nanopartikül ve dizel yakıt kombinasyonunun, motorun yanma özellikleri, performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deneylelerinde, Al₂O₃, karbon nanotüp (CNT) ve SiO₂ bileşenlerinden oluşan üç farklı nanopartikül türünü kullanan araştırmacılar, bu nanopartikülleri dizel yakıtta farklı konsantrasyonlarda (25, 50 ve 100 ppm) dizel yakıtta ilave ederek yeni yakıt karışımlarını elde etmişlerdir. Bu nano katkılı yakıt karışımlarının analizlerini sabit motor devrinde (1800 dev/dk), farklı motor yükleri altında (tam gaz, 3:4, 1:2 ve 1:4) gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın analizi sonucunda ÖYT değerinde %19,8'lik bir düşüş kaydedilirken, aynı zamanda termal verimlilikte bir artış tespit etmişlerdir. SiO₂ katkılı karışımlar, Al₂O₃ katkılı karışımlara kıyasla daha yüksek ateşleme basıncı, daha az fren yakıt tüketimi ve azalan CO₂ emisyonları için daha olumlu veriler elde etmişlerdir. Ek olarak, CNT'lerin NO_x emisyonlarında yanma sürecini belirgin bir şekilde geliştirmesine katkıda bulunmasıyla birlikte nanoparçacıkların daha kapsamlı araştırılması gerektiği ve bu alanda yapılan araştırmaların daha da ileri götürülmesi gerektiği yönünde çıkarım yapmışlardır [37].

Mei vd. çalışmalarında, demiryolu endüstrisinde kullanılan tek silindirli dizel motorlarda, yakıtın kalitesini artırmak ve emisyonları azaltmak amacıyla dizel yakıtta CNT ve molibden trioksit (MoO₃) nanopartikülleri ilave ederek farklı bileşimli yakıtların etkilerini incelemişlerdir. Araştırma sonuçlarında, CNT ve MoO₃ nanopartikülleri ile zenginleştirilmiş yakıt karışımlarının dizel yakıtta kıyasla yakıt verimliliği, emisyon profili ve yanma kabiliyeti açısından daha etkileyici sonuçlar gösterdiğini ortaya koymuşlardır. Bu nedenle, yanma sürecindeki etkinliği yükseltme ve emisyon düzeylerini azaltma potansiyeli sebebiyle araştırmaların devam etmesinin önemine vurgu yapmışlardır [38].

Saraee vd. yaptıkları deneysel çalışmada, farklı konsantrasyonlarda (10, 20 ve 40 ppm) CeO₂ nano partikül katkısını dizel yakıtına ilave ederek 1300-1900 devir/dakika aralığında araştırmalarını gerçekleştirmişlerdir. Test verilerine göre HC emisyonunda 40 ppm CeO₂ katkısı ile NO_x emisyonlarında ise nanopartikül konsantrasyon değeri yükseldikçe minimum emisyon değeri elde edilmiştir. Ancak NO_x emisyonlarında 20 ppm sonrasında düşüş oranının azaldığını belirtmişlerdir. ÖYT’de ise 20 ppm CeO₂ katkısı ile 1500 dev/dk hızında minimum değeri 0,27 kg/kWh olarak kaydetmişlerdir [39].

Chaichan vd. farklı motor güçlerinde (0-100 kN/m²) ve farklı konsantrasyonlarda (1, 3, 5, 7 ve 10 ppm) Al₂O₃ nanopartikül katkısı ile gerçekleştirdikleri deneylerde 1500 dev/dk motor hızını kullanmışlardır. Deney sonuçları incelendiğinde ise 10 ppm CeO₂ nano katkı oranı, minimum ÖYT değeri sağlarken aynı oranda termik verimde %5,51 değerinde bir artış olduğunu gözlemlemişlerdir [40].

D’silva vd. sabit hızda (1500 dev/dk) çalışan ve 17,5/1 sıkıştırma oranına sahip bir motorda, farklı yükler altında (3 kg, 6 kg, 9 kg ve 12 kg) TiO₂ nanopartikül yakıt katkısı ile dizel yakıtı test etmişlerdir. Nanopartikül katkısı dizel yakıtı ilave edildiğinde parlama noktası ve viskozite değerinde sırasıyla %41,17 ve %6,17’lik bir artış gözlemlemişlerdir. 12 kg yük altında termal verimde %0,9 artış sağlanmış ve bunun kaynağı olarak silindir içindeki nanopartiküllerin, daha dengeli bir hava-yakıt (H/Y) bileşimi oluşturmasına bağlamışlardır. H/Y bileşiminin dengeli olması, yanma sürecini optimize edeceğinden ve aynı gücü elde etmek için motorun daha az yakıt tüketmesine olanak sağlayacağından ÖYT’de azalış eğiliminin olacağını vurgulamışlardır. Test sonuçlarına göre ÖYT değerinde 12 kg yük altında %21,28’lik bir azalma elde etmişlerdir. TiO₂ nanopartikülü yanma sıcaklığını artırdığından dolayı NO_x emisyonları değerlerinde artışın gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Bu artış oranını ise tam yük altında %32,2 olarak belirlemişlerdir. TiO₂ nanopartiküllerinin, bir oksijen deposu gibi rol üstlenerek yanma sürecini geliştirdiğinden dolayı HC ve CO emisyonlarında tam yük altında iken sırasıyla %18,36 ve %25 oranlarında azalış gözlemlemişlerdir [41].

Nanoparçacık katkılı dizel yakıtların performans ve emisyonlar üzerindeki etkilerini inceleyen güncel çalışmalar, bu teknolojinin ekonomik verimlilik ve çevresel sürdürülebilirlik açısından umut vadeden bir alternatif enerji kaynağı olabileceğini ortaya koymaktadır. Özellikle nanoparçacıkların dizel yakıt matrisine entegrasyonu, yakıtın yanma süreçlerini optimize ederek belirgin motor performansı gelişmelerine imkân tanırken aynı zamanda emisyon salınımında olumlu etkiler göstermektedir. Bu araştırmalar, nanoparçacık ilaveli dizel yakıtın çevresel sürdürülebilirlik ve ekonomik verimlilik açısından önemli bir potansiyele sahip olduğunu vurgulayarak, gelecekte güçlü bir alternatif enerji kaynağı olarak değerlendirilmesini desteklemektedir. Bu alandaki araştırmaların devam etmesi ve teknolojinin ticari ölçekte uygulanabilirliğinin artırılması, nanoparçacık katkılı dizel yakıtların gelecekteki enerji seçenekleri arasında önemli bir konum edinmesini ve daha yaygın bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır.

Bu çalışmada, gün geçtikçe artan taşıt sayısının sebep olduğu egzoz emisyonları ve yakıt tüketimindeki artışın azaltılması hedeflenerek, dizel yakıtın özelliklerini geliştirmek için, MgO nanopartikül katkı maddesi dizel yakıtı entegre edilmiştir. Nano parçacığın öne çıkan fiziksel ve kimyasal özelliklerinin, motor parametrelerini değiştirmeye gerek kalmadan iyileştirmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM 3

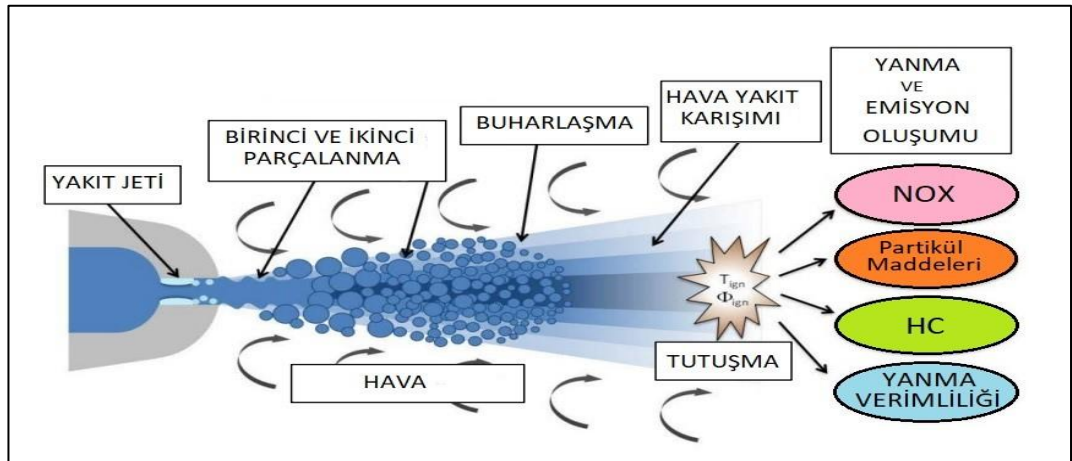
DİZEL MOTORLARDA YANMA VE EMİSYONLAR

3.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA

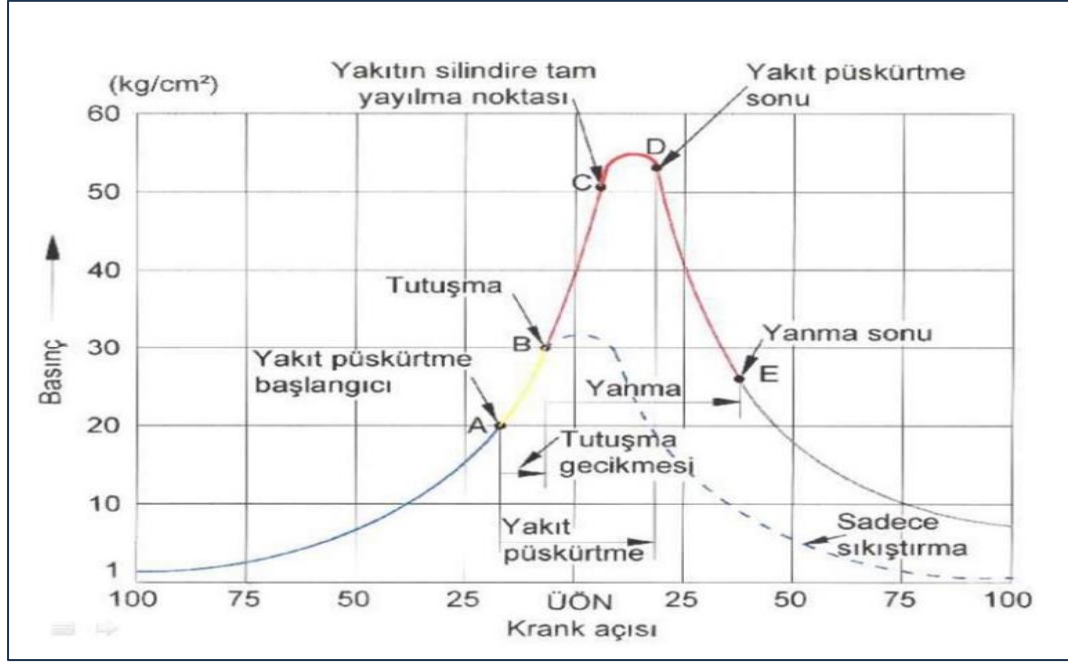
Dizel motorlarda, yakıtın silindir içine püskürtülmesiyle başlayan kimyasal bir süreç olan yanma işlemi, egzoz supabından atılana kadar devam eder. Atomize olan yakıt damlacıkları, silindir içindeki sıcak hava ile karışarak H/Y karışımını oluşturur. Sıkıştırma sonrası oluşan sıcaklık, önceden karışmış yakıt ile bir miktar havanın tutuşmasına neden olur. Yakıtın yanması ile ısı enerjisini üretir ve kinetik enerji olarak kullanılır. Kalan yanmış ürünler de egzoz supabından dışarı atılır [42]. Şekil 3.1’de dizel yakıt enjeksiyon sistemi, yakıt karışımının oluşumu ve tutuşma anı verilmiştir. Dizel motorlarında yanma diyagramı ise Şekil 3.2’de verilmiştir.

Dizel motorda yanma işlemi dört safhada gerçekleşmektedir:

- Tutuşma Gecikmesi
- Kontrolsüz Yanma
- Kontrollü Yanma
- Art (Gecikmiş) Yanma



Şekil 3.1. Dizel yakıt enjeksiyon sistemi, yakıt karışımı oluşumu ve tutuşması [43].



Şekil 3.2. Dizel motorlarda yanma diyagramı [44].

3.1.1. Tutuşma Gecikmesi

Tutuşma gecikmesi, yakıtın silindire püskürtülmeye başladığı andan (A noktası) silindir içerisindeki basıncın ani olarak artmaya başladığı ana (yanmanın başladığı an - B noktası) kadar geçen hazırlık evresidir [45]. Yakıt taneciklerinin buharlaşması hemen gerçekleşmediğinden buharlaşmanın başlaması için tutuşma sıcaklığının artması ve yakıt taneciklerinin oksijenle karışması gerekmektedir. Bu nedenle buharlaşma belli bir zamana ihtiyaç vardır. Silindir içindeki havanın oksijen oranı buhar evresindeki yakıtın reaksiyon hızını etkilediğinden buharlaşma hızı, reaksiyon hızı ile doğru orantılıdır [46,47].

Tutuşma gecikmesi tamamen yok edilemeyeceğinden bu sürenin kısaltılması gerekmektedir. Sıcaklık, basınç ve yakıt özellikleri tutuşma gecikmesi safhasını etkileyen en önemli parametrelerdir. Sıcaklığın artması ve ortam basıncının yükselmesi tutuşma gecikmesini kısaltır. Yakıt özelliklerinde ise setan sayısı tutuşma gecikmesinde en önemli faktördür. Yakıtın setan sayısının düşük olması tutuşma gecikme süresi uzatmaktadır. Gecikme süresi uzadığında, yakıtın çoğunluğu tutuşma olmadan püskürtülecektir. Bu durumda da ani basınç yükselmelerine ve hızlı yanma oluşumuna sebep olacağından motorda “dizel vuruntu” olarak adlandırılan soruna yol

açar. Bu bağlamda, motorda vuruntu olayına sebebiyet vermemek için tutuşma gecikmesi kısaltılmalıdır [46,48].

3.1.2. Kontrolsüz Yanma

Basıncın aniden yükselmeye başladığı andan (B noktası) yanma basıncının maksimuma çıktığı ana (C noktası) kadar olan süreye kontrolsüz yanma safhası denir. Bu aşamada, tutuşma gecikmesi sırasında silindire biriken yakıtın ani şekilde yanması ve basıncın ani şekilde yükselmesi ile ilişkilidir. Ancak, basıncın aşırı hızlı yükselmesi istenmeyen bir durumdur, çünkü bu durumda motorun hareketli parçaları birbirlerine çarpabilir, bu da dizel vuruntusuna neden olabilir. Dizel motorlarda, basınç artış hızının belirli bir aralıkta olması tercih edilir. Genellikle 0.2-0.3 MPa/KMA arasında bir basınç artış hızı ideal kabul edilirken, 0.4-0.5 MPa/KMA basınç artış hızına ulaşıldığında motor sert bir şekilde çalışabilir. Bu nedenle, motorun verimli ve güvenli çalışması için uygun basınç artış hızına dikkat edilmelidir [45,49].

3.1.3. Kontrollü Yanma

Kontrollü yanma, bir içten yanmalı motorun işleyişinde önemli bir süreci temsil etmektedir. Bu süreç, yanma odasındaki atmosferin ve H/Y karışımının dikkatli bir şekilde yönetildiği bir aşamadır. Yanma odasında maksimum yanma basıncının oluşmasıyla başlar (C noktası) ve yanmanın büyük ölçüde tamamlanmasıyla (D noktası) son bulan süreye kontrollü yanma denilmektedir. Yakıtın püskürtülmesiyle beraber oluşan karışımın kontrollü bir şekilde yanması hedeflenir. Ancak bu aşamada kontrol sağlanamaz ise yanma işlemi kontrolsüz bir hal alır ve dolayısıyla silindir içerisindeki basınç ve sıcaklık çok yükselir. Bu ani artış, yakıtın hızla yanmasına sebep olur. Basınç sürekli olarak yükselir ve en yüksek değere ulaşmaya kadar devam eder. Bu durum, motorun parçalarına zarar verebilmektedir. Kontrollü yanma sürecinde hedeflenen nokta, yanmanın üst ölü noktaya (ÜÖN) yakın bir konumda gerçekleşmesi ve sıcaklığın en yüksek olduğu yerde yanmanın tamamlanmasıdır. Sonuç olarak, kontrollü yanma, içten yanmalı motorların verimli çalışmasını sağlayan kritik bir süreçtir. Bu süreç, yakıtın en iyi şekilde kullanılmasını, aşırı basınç ve sıcaklık

artışlarının önlenmesini amaçlar. Motor mühendisliği ve yakıt yönetimi açısından büyük öneme sahiptir [50].

Kontrollü yanma süreci, karışımın oluşma hızıyla yakıtın yanma hızı arasındaki hassas denge üzerine kuruludur. Bu aşamada, karışımın oluşma ve buharlaşma hızı yeterli olmadığı durumlarda, tamamlanma süreci genişleme evrelerinde devam etmektedir. Motorun egzoz sistemine doğru ilerlerken, genişleme aşamasının sonlarına doğru, sıcaklığın azalmasıyla birlikte tüm yakıtın tamamen yanma olasılığı düşmektedir. Egzoz sistemine, ağır moleküllü bileşikler, özellikle hidrokarbonlar ve sülfat molekülleri toplanır. Dolayısıyla, yanmamış yakıt partikülleri ortaya çıkmaktadır. Kontrollü yanma sürecinde, yakıtın tam ve verimli yanması için bu hidrokarbon ve sülfat gibi yanmamış maddelerin oluşumu mümkün olduğunca azaltılmalıdır. Bu, motorun performansı ve egzoz emisyonları üzerinde olumlu bir etki sağlar [51,52].

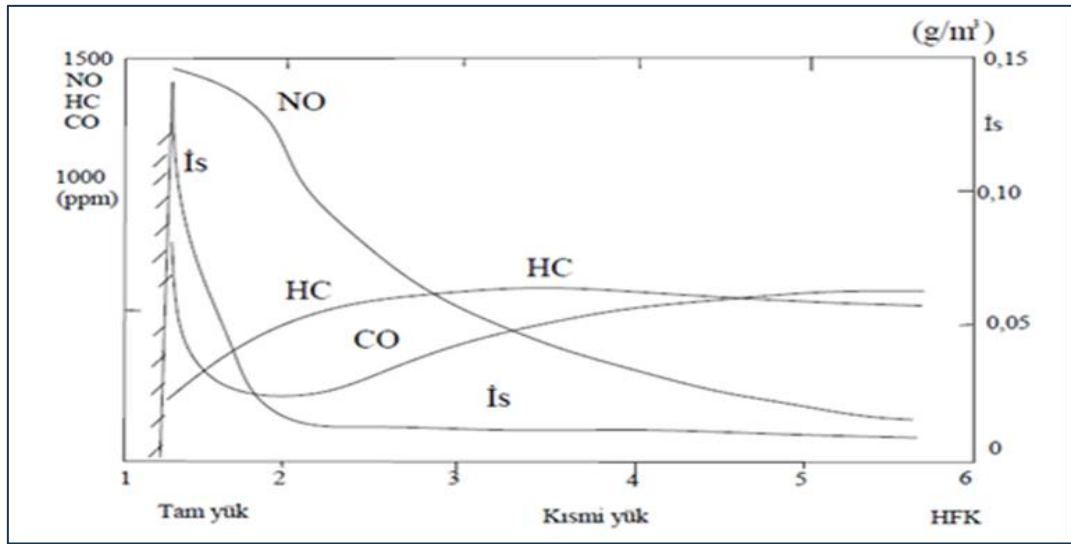
3.1.4. Art Yanma (Gecikmiş Yanma)

Kontrollü yanmanın ardından, egzoz supabının açıldığı ana kadar meydana gelen reaksiyonlar art yanma (geciken yanma) olarak adlandırılmaktadır. Şekil 3.2' de gecikmiş yanma safhası D noktasında başlamakta ve E noktasında sona ermektedir. Püskürtme periyodunun sonlanmasıyla yanma hemen bitmediği için yanma odasında biriken yanmamış veya az yanmış yakıt tanecikleri oksijenle temas ederek yanmaya başlar. Genişleme sonucu silindir basınç ve sıcaklığın azalmasıyla art yanma sona erer. Art yanmanın, motor verimi açısından mümkün olduğunca kısa sürmesi istenir ve egzoz zamanı gelmeden yanmanın tamamlanması gerekir [47,53].

3.2. DİZEL MOTORLARDA EMİSYONLAR

Dünya genelinde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde hava kirliliği, farklı kaynaklar tarafından oluşturulmakta ve endüstriyel faaliyetlerin düzeyine, nüfus yoğunluğuna ve motorlu taşıtların varlığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Araştırmalar, hava kirliliğinin önemli bir kısmının motorlu taşıtlardan kaynaklandığını ve bu emisyonların özellikle sağlığa zararlı kirleticilerin oluşumunda büyük bir paya sahip olduğunu ortaya koymaktadır [54].

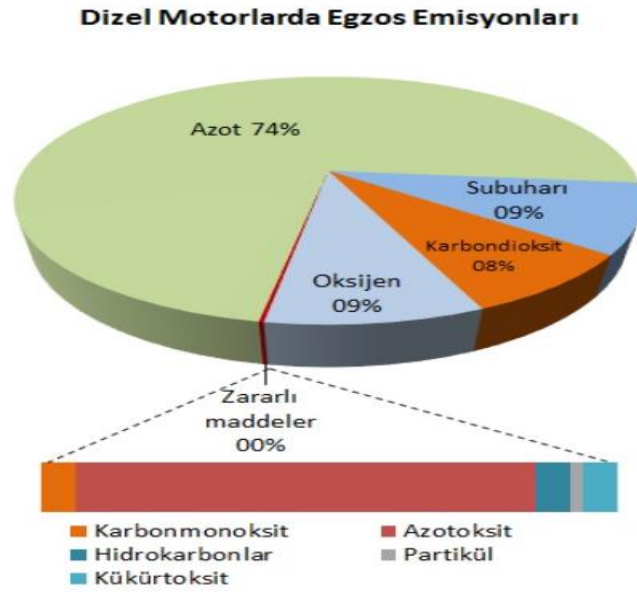
Dizel motorlar çalışma prensipleri gereği karmaşık emisyon profiline sahiptir. Bu emisyonlar, motorun yakıtı yakma süreci sırasında oluşan gaz karışımlarından, yanma eksiklikleri sonucu ortaya çıkan maddelerden ve partikül madde içeren sıvı aerosollerden oluşmaktadır. Şekil 3.3'te dizel motorunun kirletici egzoz emisyonlarının konsantrasyonları görülmektedir. Tam yanma sonucunda atmosfere salınan emisyonlar arasında CO_2 , H_2O , NO_x , SO_2 bulunmaktadır. Tam yanma ürünleri, ideal motor çalışması ve yakıtın en verimli şekilde tüketilmesi durumunda oluşan emisyonlardır. Ancak, yanma sürecinin tamamen verimli olmaması durumunda eksik yanma ürünleri ortaya çıkar. Eksik yanma ürünleri, genellikle yanma odasında yeterli oksijen bulunmaması veya yanma sürecinin yeterince uzun sürmemesi gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır. Bu ürünler arasında ise CO, HC, is bulunmaktadır. Dizel motorların emisyon kontrollerinde özellikle dikkate alınması gereken iki önemli emisyon türü, is ve NO_x emisyonlarıdır [55].



Şekil 3.3. Dizel motorunun kirletici egzoz emisyonlarının konsantrasyonları [56].

Dizel motorlarda oluşan egzoz emisyonları, kullanılan yakıt, yakıt kalitesi, motor tipi, sürüş şartları, emisyon kontrol sistemi varlığı gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterir. Dizel motorlarda PM ve NO_x emisyonları, benzinli motorlara kıyasla önemli ölçüde fazladır. Bu artışın nedeni, dizel motorların fakir hava ile çalışması ve yanma sıcaklıklarının yüksek olmasıdır. Bu durumda NO_x ve PM oluşumunu artırır. Bununla birlikte HC ve CO emisyonları, benzinli motorlara göre

daha düşüktür [57]. Şekil 3.4’ te bir dizel motorda egzoz emisyonlarının oranı gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Bir Dizel Motorda Egzoz Emisyon Oranı [58].

Yakıtta bulunan kükürt miktarından kaynaklanan emisyon ise SO_2 emisyonlarıdır. Yakıt içerisinde bulunan kükürdün, oksijen ile reaksiyona girmesiyle SO_2 oluşur. SO_2 'in H_2O ile reaksiyona girdiğinde ise sülfirik asit (H_2SO_4) oluşur. H_2SO_4 'in egzozda bulunması hem egzoz sistemlerinde hem de çevredeki malzemelerde aşınma ve korozyona neden olmakta ve aynı zamanda, doğada asit yağmurlarına katkıda bulunarak ekolojik dengenin bozulmasına neden olmaktadır [56].

3.2.1. Karbon Monoksit (CO) Emisyonları

CO, tespit edilmesi zor olan, kokusuz ve tatsız olmakla birlikte havadan daha yoğun olması nedeniyle birikme potansiyeli de yüksek olan bir gaz türüdür. CO emisyonlarının temel kaynağı, yanma odasında yetersiz oksijen ve düşük sıcaklık etkisiyle gerçekleşen eksik yanma süreçleridir. Bu etken, CO emisyon seviyelerini artırıcı bir faktördür.

Yanma sürecinin ilerleyen aşamalarında meydana gelen CO emisyonları, farklı reaktif maddelerle reaksiyona girerek CO₂ emisyonlarına dönüşmektedir. Ayrıca, içten yanmalı motor sistemlerinde CO emisyon seviyeleri hava-yakıt karışım oranına bağlı olarak değişkenlik gösterir [59,60].

Yakıt karışımının zenginliği, CO emisyonlarının artmasına neden olan bir faktördür. Bu bağlamda, silindire giren yakıt miktarının artmasıyla emisyon düzeyleri de yükselme eğilimi gösterir. Dizel motorların hava fazlalığı ile çalışması, silindire giren hava miktarının artması sonucunda CO emisyon seviyeleri oldukça düşüktür. Motor yükü, emisyon üzerinde etkili olan bir diğer parametredir. Motor yükü arttıkça, termal enerji üretimi artar ve bu da sıcaklık düzeyini yükseltir. Sıcaklığın bu artışı, CO emisyonunun dönüşüm reaksiyonlarını hızlandırmak için gerekli olan koşulları oluşturulmasıyla emisyon değerlerinde azalma meydana gelmektedir. Motor yüküne bağlı olarak artan hava fazlalık oranının artmasıyla sıcaklık seviyesi de artacaktır. Söz konusu artışlar sonucunda oksijen moleküllerinin yoğunluğu azalır bu da reaksiyonlar için gereken sürenin sınırlı kalacağından bu koşullar CO emisyonlarının artmasına neden olmaktadır [61-63].

3.2.2. Hidrokarbon (HC) Emisyonları

Dizel yakıt, hidrokarbon bileşiklerini içeren bir yakıt türüdür. Dizel motorların HC emisyonları, çoğunlukla yakıtın ayrılmış moleküllerinden veya motorun yağlama yağından oluşur. HC emisyonları, yanma sürecinin başlama gecikmesi evresinde (tutuşma gecikmesi periyodu) meydana gelmektedir. Bunun nedeni, zengin H/Y karışım oranlarının sonucunda veya karışım hazırlığı aşamasında yanamayan yakıt moleküllerinden oluşmaktadır [56]. Bu emisyonun en öncelikli kaynaklarından biri, yanma odasının içerisindeki oksijen konsantrasyonu veya sıcaklık düzeyinin yetersiz olma durumudur. Dizel motorların silindir içindeki yanma odasını çevreleyen boşlukların sıkıştırma safhasında hava-yakıt karışımları ile doldurulması, silindir içerisindeki yakıtın sıvı fazda kalması ve yağ tabaklarının içine yakıtın nüfuz etmesi HC emisyonlarını belirgin şekilde etkileyen faktörler arasında yer almaktadır [55,64].

HC emisyonlarının meydana gelişi, özellikle motorun yük durumuna, yanma odasındaki karakteristik koşullara, hava emiş koşullarının türüne ve yakıt besleme sisteminin niteliklerine bağlıdır. Hidrokarbonların tam olarak yanmaması, yavaş buharlaşma hızı ve yanma işlemi için fazlasıyla zengin olan karışımın birleşiminin bir sonucudur. Yakıtın buharlaşma hızı ve yanma odasındaki yakıt/hava oranının karakteristiği, karışım oluşumunun hızını büyük ölçüde belirleyici bir etkiye sahiptir [65]. Motorun soğuk çalıştığı ilk hareketi sırasında emisyonun en yüksek düzeye ulaştığı andır. Dizel motorlarda HC emisyon miktarı benzin motorlarına göre daha düşüktür. Bunun sebebi dizel motorlarda yanma işlemi, benzin motorlarına kıyasla daha düşük yakıt/hava oranıyla gerçekleşmesidir. Bunun dışında, emisyon seviyelerini etkileyen diğer bir faktör, motor yüküdür. Motorun düşük yük veya rölanti koşullarında çalıştırılması, tam yükte çalıştırıldığında görece daha yüksek seviyelerde HC emisyonu üretme eğilimindedir. Bu durumun nedeni, yük artışıyla orantılı olarak püskürtülen yakıt miktarının artması ve reaksiyon hızının ivme kazanmasıyla sıcaklık artar sonuç olarak HC emisyonu azalır [64].

Emisyon seviyesini etkileyen bir diğer önemli etken ise yakıt püskürtme basıncıdır. Yakıt püskürtme basıncının artması, yakıtın daha etkin bir şekilde atomize olmasını sağlar. Bu şartlar altında, karışım oluşumu en etkili şekilde düzenlenir ve aynı zamanda reaksiyon hızı da artar. Bu da sonuç olarak HC emisyon oluşumunu azaltıcı etki sağlar. Ancak gereken basınç seviyesinin aşılması durumunda, alev sönme bölgeleri aşırı şekilde genişler ve bu da HC emisyonunun oluşumuna neden olan faktörlerdir. Yakıtın püskürtme zamanını ertelemek veya yakıtın önceden püskürtülmesi, emisyon seviyesini yükseltir. Bu durum, tutuşma gecikmesinin artmasına neden olurken aynı zamanda daha fazla yakıtın buharlaşmasına yol açar. Yanma odasının soğuk bölgelerinde meydana gelen ısı kayıpları, bu bölgelere ulaşan alevlerin ani bir şekilde sönmesine yol açar ve bunun sonucunda HC emisyonunun artmasına neden olmaktadır [66-68].

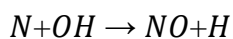
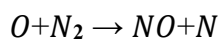
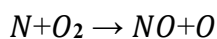
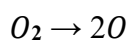
3.2.3 Azot Oksit (NO_x) Emisyonları

Havada, yanma işleminin gerçekleşebilmesi için önemli bir bileşen olarak büyük miktarda azot gazı bulunmaktadır. Yanma sürecinin yüksek sıcaklıklara ulaştığı

anlarda, atmosferde bulunan azot (N₂) molekülleri ve oksijen (O₂) gazının etkileşime girmesi ile azot bileşikleri meydana gelmektedir. O₂' nin N₂ ile farklı moleküler yapılar oluşturarak nitrik oksit (NO), azot dioksit (NO₂), nitro oksit (N₂O), azot trioksit (N₂O₃) gibi çeşitli NO_x emisyonları ortaya çıkar. Tüm bu emisyonlar, ortak bir ad altında toplanarak "Azot oksit" olarak adlandırılmaktadır. Azot oksitlerin oluşumu ve yayılması, çevresel kalite ve insan sağlığı açısından tehlike arz ettiğinden önemli bir konudur [69].

NO ve NO₂ bileşiklerinin sentezlenmesi sonucu NO_x emisyonlarının önemli bir bölümü oluşmaktadır. NO_x emisyonlarının içeriğini %70- %90 aralığında bulunan NO emisyonları oluşturmaktadır. NO_x emisyonlarını belirgin şekilde etkileyen iki temel faktör, hava ile yakıt arasındaki oran ve yanma sürecinde gerçekleşen sıcaklıktır. Ek olarak, yanma süresi ve atmosferdeki oksijen miktarı bu emisyon seviyelerini belirlemede önemli bir rol oynamaktadır. Bu temel faktörlerin yanı sıra, kimyasal tepkime hızları, yakıt püskürtme zamanlaması, yanma odasına alınan dolgunun sıcaklığı, yakıt karakteristikleri ve türbülans gibi diğer parametreler de NO_x emisyonlarını etkileyen faktörler arasında yer almaktadır. Bilimsel araştırmalara göre, genel olarak aniden gerçekleşen yanma fazında NO_x emisyonları meydana gelmektedir. NO emisyonları, yanma sürecinin ilerleyişi sırasında yanma reaksiyonunun bir yan ürünü olarak meydana gelir ve bu noktadan sonra elde edilen NO emisyonlarının bir kısmı, sonrasında NO₂ emisyonlarına dönüşmektedir [46,70].

NO_x emisyonlarının merkezi bileşenlerinden biri olan NO'nun ana kaynağı, atmosferden gelen nitrojen molekülleridir. Bununla birlikte, yakıtlarda da azot içeriği bulunabilmektedir. Özellikle dizel yakıtlar, mevcut durumda seviyeleri düşük olsa da nitrojen içerebilirler. NO'nun oluşumu, genellikle kimyasal denge koşullarına uygun yakıt-hava karışımlarına yakın fakir yanma koşullarında gerçekleşir ve bu Zel'dovich mekanizmasıyla açıklanmaktadır.



Yanma odasındaki belirli sıcaklık ve basınç koşullarında, N₂ ve O₂ molekülleri serbest azot (N) ve oksijen (O) atomlarına ayrışır. Bu ayrılmış atomlar, ardından tekrar birleşerek NO molekülünü oluştururlar [46,71]. Yanma odası sıcaklığı 1800 °C'ye eriştiğinde, O₂ ve N₂ molekülleri ayrışarak O ve N atomlarına dönüşür. Bu aşamadan sonra sıcaklığın etkisiyle NO emisyonunu oluşturmaktadır. Alevlenme sıcaklığı arttıkça, bu emisyonun miktarının arttığı belirtilmiştir. Ayrıca, NO moleküllerinin aşırı oksidasyonu, NO₂ emisyonlarının oluşumuna yol açmaktadır. Oluşan hızlar arasındaki bağlamda, NO'nun formasyon hızı O₂ ve N₂'nin üretim hızlarına göre daha büyüktür [64,72].

NO_x emisyonlarının meydana gelişi, genellikle aniden gerçekleşen yanma aşamasıyla ilişkilidir. Püskürtme avansının artırılması yani zamanının öne alınması, tutuşma gecikmesini artırıcı bir etkiye sahiptir. Yakıt erken püskürtüldüğünde ise sıkıştırma basıncı ve sıcaklık düşük düzeydedir. Tutuşma gecikmesinin artmasıyla, silindire enjekte edilen yakıtın havayla etkileşimi için daha fazla zaman sağlanmaktadır. Ancak bu gecikme durumu, yakıtın ani yanma evresinde büyük oranda hızla yanması ve basıncın artmasıyla sonuçlanarak NO_x emisyonlarında artışa neden olmaktadır [64,73].

Yakıtın setan sayısı, NO_x emisyonlarını belirleme konusunda etkili olan faktörlerden biridir. Setan sayısı artması, enjekte edilen yakıtın buharlaşma sürecini daha etkili bir şekilde gerçekleştirilmesini ve tutuşma aşamasının kolaylaşmasını sağlamaktadır. Bu durum, tutuşma gecikme süresinin azalması demektir. Böylece ani yanma aşaması daha kısa süreceğinden NO_x emisyon miktarı da daha azdır. Diğer taraftan, düşük setan sayısına sahip olan yakıtlar, tutuşma gecikmesini uzatma eğilimindedir. Tutuşma gecikmesinin artması da yakıt birikmesine sebebiyet vermektedir. Ani yanma aşamasına ulaşıldığında fazla yakıtın yanması ile yanma sonunda sıcaklık yükselir. Sıcaklığın artması ise NO_x emisyonlarının oluşmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, yakıtın setan sayısı NO_x emisyonları üzerindeki etkiyi belirleyen kritik bir faktördür [56]. NO_x emisyonlarını azaltmanın en etkili yolu Egzoz Gaz Resirkülasyonu (EGR) veya püskürtülmenin geciktirilmesi yardımı ile silindir basınçlarını azaltmaktır. Ayrıca değişken supap zamanlaması ve harici sistemler (katalitik konvertör gibi) NO_x emisyonlarının azaltılmasında etkili olarak kullanılır [56,74].

3.2.4. Partikül Madde ve İis Emisyonları

Dizel motorlarda, yanmamış yakıt ve yağlama yağından kaynaklanan organik bileşenlerin yanma süreci sonucunda karbon içerikli materyallerin (is) oluştuğu gözlemlenmektedir. Partikül madde (PM) emisyonları, dizel yakıtlarının ana kaynaklarından ve karakteristik özelliklerinden biridir. Bu partikül maddelerin oluşumu nedeniyle siyah duman olarak bilinen emisyonlar meydana gelmektedir. PM'nin kimyasal içeriğini belirlemek oldukça zorlu bir süreçtir [58].

Partikül maddelerin büyük bir bölümü yanmamış yakıtla ilişkilidir. Ancak yağlama yağı ve bazı organik bileşenlerin yanma sürecine katılmasıyla da oluşmaktadır. Bu partikül maddeler, solunabilir boyutta olduğu gibi, çözünemez bir bileşen olarak bilinen kuru kısma da sahiptir. Emisyon ölçümlerinde genellikle bu kuru kısım dikkate alınmaktadır. İis emisyonu, aşırı zengin hava-yakıt oranının yol açtığı bir durum olmakla birlikte eksik yanmanın bir sonucudur. Bu nedenle, partikül madde emisyonları dizel motorların yanma süreçleri ve hava-yakıt oranları ile yakından ilişkili olduğundan çevre ve insan sağlığı açısından önemli bir etkiye sahiptir [46].

BÖLÜM 4

DİZEL MOTOR YAKITLARININ ÖZELLİKLERİ

Dizel yakıt, parafin, nafta ve aromatik hidrokarbon türleri gibi kompleks moleküler bileşenlerin bütünleşmiş bir karışımını içermektedir. Bu bileşenlerin yanı sıra, doğal formda organik kükürt bileşikleri de dizel yakıt kompozisyonunun ayrılmaz birer parçasını oluşturmaktadır [75].

Dizel yakıtın ticari olarak pazarlanan varyasyonları, rafinasyon proseslerinin ve ham petrolün karakteristik özelliklerine bağlı olarak çeşitlilik arz eden nihai özelliklere sahiptir. Dizel motorlarının performansı, yanma verimliliği ve emisyon profilini şekillendiren faktörler; yakıt bileşimi, kompozisyonu, kalitesi ve motorun işletme parametrelerindeki varyasyonlara dayalı olarak farklılık göstermektedir. Bu motorlar, özellikle partikül madde ve NO_x emisyonları üretme eğilimindedir. Bu bağlamda, öncelikli bir hedef olarak özellikle partikül madde (is) emisyonlarının azaltılması kabul edilmektedir [76]. Dizel yakıt, ham petrolün distilasyon prosesi sonucunda elde edilmekte olup, 180 °C ile 370 °C arasında değişen kaynama sıcaklıklarına sahip hidrokarbon bileşenlerinden oluşmaktadır [77]. Bir motordan kaynaklanan emisyon profilleri ile motor performansını etkileyen esas unsuru yakıtın kimyasal bileşimi ve özellikleri oluşturur. Yakıtların C/H oranındaki farklılıklar, emisyon profili üzerinde etkili olup yüksek C/H oranına sahip yakıtların düşük C/H oranına sahip olanlara kıyasla, çift bağlı karbon yapısına sahip yakıtların ise tek bağlı karbon içerenlere göre daha yüksek oranda partikül madde (is) emisyonu üretme potansiyeline sahiptir. Yakıtın içerdiği karbon ve oksijen miktarı ile yoğunluk ve viskozite gibi özellikler, partikül madde emisyonlarını şekillendiren en kritik parametrelerdir [78,79]. Saf hidrojenin (H₂) kullanımıyla elde edilen yakıtın içeriğinde karbon eksikliği nedeniyle is emisyonlarının değeri neredeyse sıfır seviyelerine yaklaşmakta ve bu özelliği ile yakıt seçiminde göz önünde bulundurulması gereken bir avantaj olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca, oksijen bakımından zengin bileşenler içeren yakıtlar

hem is hem de CO emisyonlarını kayda değer ölçüde azaltma potansiyeline sahiptir [80,81].

Dizel yakıtı, genel olarak tek bir terim altında tanımlansa da fiziksel ve kimyasal özellikleri göz önüne alındığında farklı kategorilerle sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma, No. 1-D, No. 2-D, No. 3-D ve No. 4-D şeklinde yapılmaktadır. Sınıflandırmalar arasında, her bir kategori arasında belirgin farklılıklar olsa da, petrol kaynaklı dizel yakıtlar ile son dönemde geliştirilen yeni nesil dizel yakıtlar arasındaki temel ayırım, bir dizel yakıtın alevlenme özelliklerini ve yanma verimliliğini belirlemede önemli bir ölçüt olan daha iyi bir yanma performansı ile daha düşük egzoz emisyonları sağlayan yükseltilmiş setan sayısı ve çevresel etkileri azaltması ile egzoz emisyonlarının kontrol edilmesine katkı sağlayan azaltılmış kükürt miktarıdır [82].

No. 1-D: Petrolün damıtılması sırasında elde edilen özel bir dizel yakıt türüdür. Bu tür dizel yakıtın belirgin özelliği, yüksek bir uçuculuk seviyesine sahip olmasıdır. Bu yakıt türü, özellikle yüksek devir sayısına sahip motorlar için tasarlanmıştır ve genellikle "motorin" olarak anılır.

No.2-D: "Diesel Oil" olarak da bilinen teknik bir terimdir ve bu yakıt türü içeriğinde damıtık ve kriting ürünlerini barındırmasıyla dikkat çeker. Bu tür yakıtın belirgin özelliği, buharlaşma yeteneğinin sınırlı olmasıdır. Bu nedenle, ağır hizmet ve endüstriyel motorlar gibi yüksek güç gerektiren uygulamalarda tercih edilir.

No.3-D: Genellikle orta devirli dizel motorlarda tercih edilen bir yakıt türüdür. Bu tür dizel yakıt, düşük uçuculuk özelliklerine sahip özel bir damıtma ürünüdür. Özellikle orta devirli motorlar için tasarlanmış olan bu yakıt tipi, motorların performansını optimize etmeyi hedefler ve bu motorlarla uyumlu özelliklere sahiptir.

No.4-D: Genellikle "Marine Diesel Oil (Deniz Dizel Yağı)" olarak adlandırılan ve yüksek viskoziteye sahip olan bir tür dizel yakıttır. Bu tür yakıt, yüksek viskoziteye sahip olup, özellikle damıtma ve kriting işlemlerinden elde edilir. Deniz taşımacılığı ve benzeri uygulamalarda yaygın olarak tercih edilen bu yakıt türü, özel viskozite özellikleriyle düşük hızlı motorlarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır [82].

4.1. SETAN SAYISI (Tutuşma Kabiliyeti)

Setan sayısı, dizel motorunun işleyişinde kritik bir rol oynayan önemli bir ölçüttür. Bu ölçüt, yakıtın motor içinde sıkıştırma sonucu ısınan havada kendiliğinden tutuşma kabiliyetini göstermektedir. Bu durum, dizel motorlarının verimliliği ve performansı üzerinde doğrudan etkili olan temel bir faktördür. Setan sayısının artması, dizel motorlarda yakıtın kendi kendine tutuşma eğilimini de artırmaktadır. Bu eğilim doğrultusunda dizel motorlarda sıkıştırma sonucu oluşan yüksek basınç ve sıcaklık koşullarında yakıt buharı-hava karışımının kendiliğinden tutuşabilmesi için tutuşma yeteneğinin benzine kıyasla yüksek olması gereklidir. Yüksek setan sayısı, tutuşma gecikmesi süresini azaltarak yanma odasında biriken yakıtın aniden yanmasından kaynaklanan hızlı basınç artışını engellemektedir. Dolayısıyla, bahsedilen bu faktörler göz önüne alındığında setan sayısının yüksek olması, dizel motorlarda istenilen bir özellik olarak ön plana çıkmaktadır [83]. Tutuşma gecikmesi süresinin azalması, hava ve yakıtın silindir içinde karışmasını gerektiren sürenin kısılmasını da sağlamaktadır. Düşük setan sayısı nedeniyle uzayan tutuşma gecikmesi, özellikle düşük motor yüklerinde silindir içindeki hava/yakıt karışımının yetersiz karışmasından dolayı yanma sürecini tam olarak gerçekleştiremez. Bu durum ise HC emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. Tutuşma gecikmesinin azalması, kontrolsüz yanma evresindeki basınç artış hızı ve silindir içindeki ısının açığa çıkış oranının azalmasına ve yanma sonu sıcaklıklarının düşmesini sağlamaktadır. Bu durum özellikle NO_x emisyonlarının oluşumu açısından önemli bir faktördür. Aynı zamanda, tutuşma gecikmesinin azalması sonucunda silindir içinde maksimum basınç oluşumunu da azalmaktadır [56,84].

Son derece düşük setan sayısına sahip yakıtlarla çalışan motorlarda, tutuşma gecikmesi önemli ölçüde uzar ve bu durum yanma sürecindeki basınç artış hızının belirgin bir şekilde yüksek olmasına yol açmaktadır. Bu durum, setan sayısı düşük olan yakıtlarla çalışan motorlarda özellikle soğuk havalarda motorun ilk çalıştırılmasında zorlanmaya, yanma sürecinde artan gürültüye ve emisyonlarda olumsuz etkiler meydana gelmektedir. Ayrıca, setan sayısı düşük olan yakıt motorun püskürtme zamanlamasını da etkilemektedir. Bu sebeple, motor performansı üzerinde önemli etkilere sahip olan çok yüksek veya çok düşük setan sayısına sahip dizel yakıtların

kullanımı, belirli bir setan sayısı aralığında tutulması gereken önemli bir husustur [65]. Yakıtın fiziki özelliklerinin yanı sıra yakıtın kaynama noktası ve aromatik içeriği ile setan sayısının doğrudan ilişkili olduğu bilinmektedir. Setan sayısı düşük olan yakıtlar genellikle daha yüksek oranda aromatik ve ağır hidrokarbon içeriğine sahiptir ve yakıt yoğunlukları da yüksektir. Yakıt yoğunluğunun yüksek olması, aynı motor çıkış gücü elde etmek için gerekli olan yakıtın hacimsel miktarının azalmasını sağlamaktadır. Bu nedenle, setan sayısının artması ile yakıtın hacimsel tüketimi artmaktadır [83].

Dizel yakıtlarına eklenen nano parçacıklı katkı maddeleri, genellikle setan sayısını artırmaktadır. Bu katkılar, yakıtın yanma sürecini etkiler ve doğrudan yanmayı iyileştirmeye yöneliktir. Akil nitratlar, bazı peroksitler ve eter nitratlar, bu katkı maddeleri arasında yer alır. Özellikle düşük maliyeti ve kolay erişilebilirliği nedeniyle, etil-heksil nitrat gibi bir akil nitrat türü yaygın olarak tercih edilen katkı maddelerinden biridir [36,85,86]. Dizel yakıtlarının setan sayısını düşürmek amacıyla genellikle aromatikler ve sikloalkanlar gibi bileşenler kullanılmaktadır. Ticari olarak kullanılan dizel yakıtların setan sayısı genellikle 40 ile 55 arasında değişmektedir. Yakıtın setan sayısı, ham petrolün bileşimi ve rafine edilme sürecine bağlı olarak değişiklik gösterebilir [46].

4.2. VİSKOZİTE

Sıvıların içindeki moleküller arasındaki sürtünme nedeniyle akışa karşı gösterdikleri direnç yetenekleri viskozite olarak adlandırılmaktadır. Bu çerçevede, yakıtların katman ve atomlarının dizilimlerinde aralarındaki kayma eğilimine karşı gösterdiği zorluk olarak ifade edilebilir. Kısaca; viskozite, sıvıların akışa karşı sergilediği direnç ve içsel sürtünmelerin bir ölçüsüdür [87].

Akışkanların içsel özelliklerini anlamak ve karakterize etmek amacıyla, viskozite kavramı dinamik (mutlak) viskozite ve kinematik viskozite olmak üzere iki temel bileşene ayrılmaktadır. Dinamik viskozite, akışkan bir ortamda meydana gelen kayma gerilmesinin, akışkanın içindeki tabakaların kayma hızına bölünmesiyle tanımlanan temel bir ölçüttür. Bu bağlamda, sıvı katmanların kayma hareketini sürdürebilmesi için oluşturulan Newton kuvveti “dinamik viskozite” olarak adlandırılırken, akışkanın akış

yönüne karşı yerçekimi etkisi altında gösterdiği direnç ise “kinematik viskozite” olarak adlandırılmaktadır. Başka bir deyişle, belirli bir sıcaklıkta dinamik viskozitenin yoğunluğa olan oranını ifade eden kinematik viskozite, özellikle sıvı ve katı yakıtların analizi ve akışkanların karakterizasyonu açısından öne çıkan temel bir parametredir. Birimi ise santistok (cSt) olup $1 \text{ cSt} = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$ ’ ye eşittir [61,88].

Dizel yakıtlı motorların işleyişi açısından, viskozite yanma kalitesi üzerinde önemli bir faktördür. Viskozitenin yüksek düzeyleri, enjeksiyon ve pompalama işlemlerini olumsuz etkileyerek bu mekanizmaların işleyişini kısıtlamaktadır. Bu durum, özellikle yakıt püskürtme aşamasının ardından damlacıkların çapının artmasına yol açar ve böylelikle tutuşma gecikmesini artırmaktadır. Özellikle soğuk hava koşullarında, yakıtın püskürtülmesi zorlu bir süreç haline geldiğinden dizel motorların yanma verimini olumsuz etkileyerek düşürmektedir. Böylelikle, viskozite değerinin artması hidrokarbon ve partikül madde (is) emisyonlarının artışına neden olmaktadır. Viskozite, belli bir eşik değerinin altına indirgenmemelidir. Çünkü son derece düşük viskoziteye sahip bir yakıt, yakıt sistemi içerisinde sızıntıya yol açma potansiyeli taşımaktadır [52,89].

Sıcaklığın viskozite üzerinde büyük ölçüde etkisi olduğundan, viskozite değerlerinin her zaman sıcaklıkla birlikte verilmesi önemli bir unsurdur ve genellikle “Engler Derecesi” olarak adlandırılan bir ölçümle ifade edilir. Bu çerçevede, motor yakıtları için sıklıkla kabul edilen bir standarda göre viskozite değerleri 500°C ‘de değerlendirildiğinde genellikle 1,5-5 Engler Derecesi arasında olmalıdır. Bu aralık yakıtların akışkanlık özelliklerinin uygun düzeyde olmasını sağlamayı hedefler. 5 Engler derecesinin üzerinde viskozite değerine sahip olan yakıtlar, belirli ısıtma yöntemleri kullanılarak viskozitelerin düşürülmesine olanak tanır. Bu yaklaşım, yakıtların daha etkin bir şekilde kullanılmasını mümkün kılmaktadır [90,91].

Araştırmalar, nano ölçekteki partiküllerin dizel yakıtına entegre edilmesi ile viskozite seviyelerinde azalmayı sağlayarak yakıtın atomizasyon süreçlerinde iyileşmenin gerçekleştiğini göstermiştir [86,92]. Fakat, bazı çalışmalarda ise aksine, bu tür partikül katkısının viskozite değerlerinde artışa yol açtığı belirtilmiştir [39].

4.3. YOĞUNLUK

Bir maddenin birim hacimde bulunan kütle miktarına yoğunluk adı verilmektedir. Yakıtların yoğunluğu ise içerdikleri hidrojen-karbon miktarı, yakıtın kimyasal yapısı, yakıtın parçalanma özellikleri ve tutuşma yeteneği hakkında bilgi vermektedir. Dizel motorlardaki enjeksiyon sistemleri, yakıtın yanma odasına hacimsel olarak püskürtülmesi nedeniyle yoğunluğun, yakıtın kütlesini doğrudan etkileyen bir faktördür. Aynı zamanda, yakıt içerisindeki hidrojen moleküllerinin sayısının artması genellikle yoğunluğu azaltmaktadır [89,93]. Yoğunluk ile yakıtların özgül ağırlığı orantılıdır. Yakıtın özgül ağırlığı ile yanma hızı arasındaki bağlantıya bakıldığında, özgül ağırlık azaldıkça tutuşmanın daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir. Setan sayısı, viskozite, aromatik içerik gibi özellikler, dizel yakıtının yoğunluğunu etkileyen karakteristik özelliklerdir. Bu sebeple, yoğunluğa bağlı olarak motor performans verileri ve emisyon değerleri farklılık göstermektedir [94,95].

Yakıtta yüksek yoğunluğun varlığı, silindire püskürtülen yakıtın hava ile eşit bir şekilde karışmasını engelleyerek atomizasyon sürecini zorlaştırmaktır. Bu durum ise hem yanma süreçlerini hem de yanma sonucu oluşan ürünleri etkilemektedir. Yakıtta düşük yoğunluğun olması ise sabit yakıt tüketim miktarını arttırmaktadır [94,95].

4.4. AKMA NOKTASI

Soğuk hava koşullarında motorun ilk çalıştırılması sırasında, yakıtın akış özelliği olan akma noktası kritik bir öneme sahiptir. Yüksek akma noktası, soğuk hava koşullarında yakıtın yoğunluğunun artmasına neden olmaktadır. Bu durum ise yakıtın püskürtme sisteminden geçememesine ve dolayısıyla motorun çalışmamasına yol açabilmektedir. Akma noktasının uygun bir sıcaklık aralığında olması, motorun daha düşük sıcaklıklarda sorunsuz bir şekilde çalışabilmesi için gereklidir [96].

4.5. ISIL DEĞER

Yakıtın birim hacim veya kütlesinden sağlanan enerji miktarına, ısı değeri adı verilir. Ayrıca, bu özellik yakıtın kalorifik değeri olarak da bilinmektedir [96]. Yakıtların ısı

değeri, kJ/kg veya kcal/kg birimleriyle ifade edilmektedir. Bu bağlamda, üst ısıl değer ve alt ısıl değer olmak üzere iki önemli ısıl değer kavramı bulunmaktadır. Birim yakıtın tam yanma reaksiyonu esnasında oluşan suyun buharlaşması sonucunda açığa çıkan enerji alt ısıl değer olarak adlandırılırken, suyun sıvı fazda kaldığı durumda ölçülen enerjiye ise üst ısıl değer denilmektedir. Motor egzoz gazı sıcaklıklarında su, buhar formunda olduğundan ısıl değer hesaplamalarında alt ısıl değer tercih edilmektedir. Isıl değer, yakıtın içerdiği enerjinin bir ölçüsü olduğundan ısıl değer yüksek olması istenmektedir [89,90].

4.6. A.P.I. GRAVİTESİ

Petrol ürünlerinin yoğunluğunu ölçmek için kullanılan birimlerden biri olan API gravitesi, Amerikan Petrol Enstitüsü (API) tarafından geliştirilmiştir. Bu ölçü biriminde suyun yoğunluğu 1 gr/cc olduğu kabul edilerek, suyun API değerinin 10 olarak kabul edilmiştir. Aşağıda verilen denklem ile hesaplanmaktadır.

$$\text{API} = [141,5 / \text{SG}] - 131,5$$

SG (Spesifik Gravite): Petrol yoğunluğunun su yoğunluğuna oranını ifade eder.

Petrol endüstrisinde, API gravitesi arttıkça sıvı yoğunluğu azalmaktadır. Dolayısıyla yüksek API gravitesine sahip petrol ürünleri genellikle daha hafif ve daha değerli birer hammadde olarak değerlendirilmiştir. Yakıtın tutuşma özellikleri ve viskozite değerlerinin belirlediği sınırlar içinde, düşük API gravite değerlerine sahip yakıtlar tercih edilmelidir. Bu tercihin temel nedeni, ekonomik koşullar altında maksimum verimlilikle yüksek özgül ağırlığa sahip yakıt eldesi sağlanmasıdır [56,97].

4.7. ÖZGÜL AĞIRLIK

Özgül ağırlık, sıvı yakıtların yoğunluk değerini ölçen bir parametredir. 15,6°C (60 F) sıcaklığındaki yakıtın yoğunluğunun, aynı sıcaklıkta suyun yoğunluğuna bölünmesiyle elde edilen oran, "özgül ağırlık" olarak adlandırılır ve kısaca birim hacmin ağırlığı olarak ifade edilmektedir. Farklı akaryakıt ve yağları birbirinden hızlı

ve etkili bir şekilde ayırt edebilen özelliklerden biri özgül ağırlıktır. Ham petrolden elde edilen akaryakıtların özgül ağırlıklarının belirlenmesi, bu ürünlerin tanınması ve sınıflandırılması için oldukça kritik bir öneme sahiptir. Genellikle, yüksek özgül ağırlığa sahip olan yakıtlar daha fazla karbon içerir ve bu nedenle daha yüksek ısı enerjisi potansiyeline sahiptir. Ayrıca, özgül ağırlık daha düşük olan yakıtlar genellikle daha kolay tutuşur ve sıcaklık artışı, özgül ağırlığı azaltıcı bir etki göstermektedir [87].

4.8. UÇUCULUK (DİSTİLYASYON)

Yakıtların karakteristik özelliklerinden biri de uçuculuktur. Bir sıvının, sıvı fazdan gaz fazına geçerken belirli bir sıcaklık değerine ulaştığı noktaya uçuculuk noktası denir. Dizel motorlarda kullanılan yakıtların uçuculuğu, etkili bir yanma ve sorunsuz bir motor performansı sağlamak için gereken uygun karışımın elde edilmesini destekleyen önemli bir özelliktir. Distilasyon değeri, yakıtın uçuculuk ölçüsünü belirler ve bu değer azaldıkça yanmanın daha düzenli ve hızlı gerçekleştiği gözlemlenmektedir. Yüksek devirli motorlarda daha fazla güç üretmek ve dumanı azaltmak amacıyla tercih edilen yakıtlar, genellikle düşük uçuculuk değerine sahiptir [98].

4.9. PARLAMA VE ALEVLENME NOKTASI

Yakıtların havayla tutuşabilme kapasitesini belirleyen en düşük buharlaşma sıcaklığı olarak adlandırılan parlama noktası, yakıtların güvenli bir şekilde depolanması ve taşınması için oldukça önemli bir parametredir. Yakıt türlerinin kategorize edilmesinde göz önünde bulundurulacak faktörlerden biri de yakıtın parlayıcı özellik taşıyıp taşımadığıdır. Parlayıcı yakıtlar, hızla buharlaşarak hava ile karışabilen ve tutuşma yeteneğine sahip olan yakıtlardır. Parlama noktası düşük olan yakıtlar, daha kolay tutuşabilme eğiliminde olduklarından dolayı yangın riskini artırabilmektedir. Bu gruptaki yakıtlar arasında normal koşullarda hızlı buharlaşma özelliğine sahip olan benzin ve benzeri yakıtlar bulunmaktadır [99,100].

Yakıtın kolayca yanabilme özelliği, alevlenme noktası ile belirlenir. Parlama noktası esnasında tutuşan buhar fazının yanmaya devam ettiği sıcaklık değerine “alevlenme

noktası” denir. Parlama noktası sıcaklığına göre alevlenme noktası sıcaklığı genellikle daha yüksektir. Böylece bir yakıtın kaynama noktası ne kadar düşük olursa, alevlenme noktası da o kadar düşük olmaktadır. Yakıtların güvenli bir şekilde depolanması ve taşınması için benzin türevi yakıtlara kıyasla, dizel gibi yakıtlar daha yüksek sıcaklık değerlerinde buharlaştığından daha güvenli bir seçenek sunmaktadır [101,102].

4.10. ANİLİN NOKTASI

Anilin, bir tür hidrokarbon bileşimidir. Eşit hacimde motorin ve anilinin karıştırılmasıyla ısıtıldıktan sonra soğutulduğunda bu karışım iki ayrı tabaka halinde ayrılmaya başlar. Bu ayrışma süreci sırasındaki sıcaklık değeri, söz konusu yakıtın "Anilin Noktası" olarak adlandırılır. Anilin, parafinik hidrokarbonları sadece ısıtıldığında eritebilirken, aromatik hidrokarbonları doğrudan eritebilmektedir. Yüksek anilin noktası, düşük aromatik içeriği anlamına gelir ve yüksek setan sayısının olacağını ifade etmektedir [98].

4.11. DİZEL ENDEKSİ

Motorin tutuşma özelliklerini belirlemek için başvurulan bir diğer yöntem, dizel indeksidir. Dizel yakıtların setan sayısını ölçmek zor, pratik olarak maliyetli bir işlem olduğu için yakıt özellikleri genellikle "Dizel İndeksi" ile belirlenmektedir. Dizel indeksi, yakıtın yoğunluğu, aromatik miktarı, anilin noktası ve A.P.I gravitesi gibi çeşitli parametreleri içermektedir. Bu indeks, yakıtın özellikleri hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Yakıtın dizel indeksi arttıkça, genellikle yakıtın parafinik yapısı güçlenir ve tutuşmaya karşı daha duyarlı hale gelmektedir. Dizel indeksi, setan numarasıyla dolaylı olarak ilişkili olan bir tutuşma belirteçidir [47].

4.12. KORUZOTİF ETKİSİ

Dizel yakıtlarındaki yüksek kükürt içeriği hem korozyon hem de partikül oluşumu açısından risk oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra su, tuz ve tortular da yakıtın istenmeyen bileşenlerdir [98].

4.13. YANMA ARTIKLARI

Yanma sürecinin ardından meydana gelen atıklar, genellikle segman yuvalarında ve supap tablası saplarında birikir. Dolayısıyla, dizel yakıtlarının en önemli sorunlarından biri, genellikle önemli miktarda karbon ve kül içermeleridir. Setan sayısı belirli bir seviyeye kadar arttıkça, yanma olayının iyileştirilmesiyle yanma sonucu oluşan artık miktarı azalır. Ancak bu belirli değerin üzerinde, is oluşumunu olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu sebeple, herhangi bir maddenin geleneksel dizel yakıt katkısı olarak kullanılmadan önce bu özellikler göz önünde bulundurulmalıdır [98].

BÖLÜM 5

NANOPARÇACIKLAR

Nanoteknolojinin ilerlemesiyle birlikte geliştirilen nanoparçacıklar, kendilerine özgü özellikleri sayesinde biyomedikal, kozmetik, ilaç, petrokimya, elektronik, otomotiv ve yakıt sistemleri gibi çeşitli endüstrilerde geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır [103].

Nanoparçacıkların olağanüstü özellikleri, nano boyutlarda var olmaları ve çeşitli yüzey morfolojilerinden kaynaklanmaktadır [104]. Daha net bir ifadeyle nanoparçacıkların özel niteliklerinin kaynağı, geniş yüzey/hacim oranı, arttırılmış mekanik dayanıklılık, farklı karakteristiklere sahip yüzey atom yapıları, kuantum boyut etkileri ve parçacığın boyuta bağlı elektronik yapısı gibi faktörlerdir [103,105].

5.1. NANOPARÇACIKLARIN BOYUTU

Nanoparçacıklar, çeşitli geometrik yapılar gösteren ve genellikle 1-100 nanometre (nm) arasında değişen boyutlara sahip partikül dispersiyonları veya katı parçacıklar olarak tanımlanmaktadır. 2.5 nm veya daha küçük boyutlara sahip olan ince partiküller çeşitli endüstriyel uygulamaların yanı sıra geniş bir yanma sürecini de içermektedir. 2,5-10 nm arasında boyutlara sahip olan partiküllere ise kaba partiküller denilmektedir. Bu partiküller, genellikle kırma ve öğütme işlemleri sonucunda ortaya çıkan toz parçacıkları ile yol yüzeylerinden kalkan toz kaynaklarından elde edilmektedir [106,107].

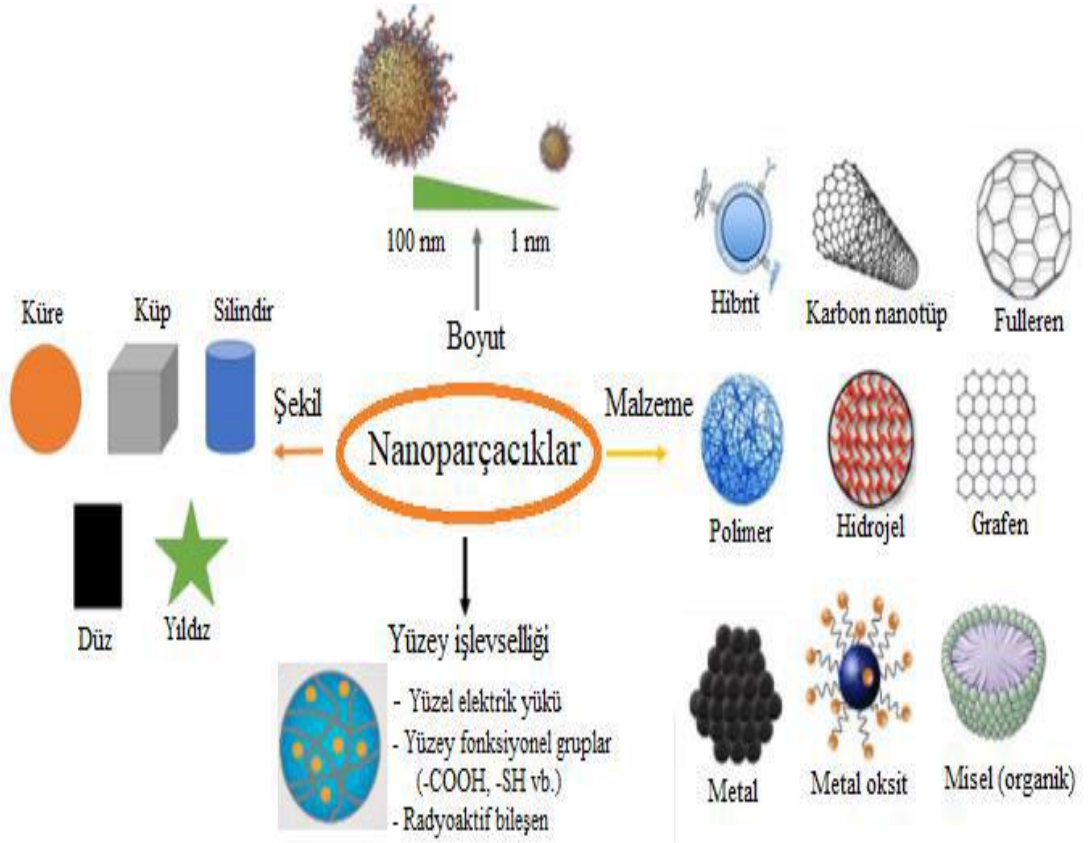
Nanoparçacıkların yağlayıcı madde içindeki boyutu, yağlayıcı maddenin tribolojik performansını belirleyen önemli bir unsurdur. Nanoparçacıkların küçük boyutlarda olması, sürtünme yüzeylerine daha kolay nüfuz edebilmelerini ve bu özellikleri sayesinde sürtünme ve aşınma olaylarının azaltılmasını sağlamaktadır.

Nanoparçacıkların boyutları, sertlikleri üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. 100 nanometre veya daha fazla boyuta sahip nanoparçacıkların sertlikleri, boyutların azalmasıyla birlikte artmaktadır. Nano parçacıkların katkı maddesi olarak kullanılması durumunda bu partiküllerin sertliği, sürtünmeye maruz kalan malzemelerin sertliğini aşarsa, yüzeyler arasında aşınma gerçekleşerek çizikler oluşturur. Bu sebeple, nano partiküllerin boyutsal özellikleri ile sertlikleri arasındaki etkileşim dikkate alınmalıdır. Nano parçacığın boyutu, sürtünme yüzeyindeki boşluklardan daha büyük ise bu durum nano parçacıkların temas bölgesinde birikmesine ve yağlama işlemini olumsuz etkilemesine sebep olabilmektedir. Nano parçacık boyutu küçültülerek, yağlayıcı içerisinde daha homojen bir dağılım elde edilir ve bu olumsuz etkilerin azalması sağlanmaktadır [108,109].

5.2. NANOPARÇACIKLARIN ŞEKLİ VE YAPISI

Nanoparçacıkların morfolojisi ve yapısal özellikleri, tribolojik uygulamalarda büyük bir önem taşımaktadır. Bu parçacıklar, çekirdek-kabuk yapılı, çubuk formunda, silindirik yapıda, spiral şekilli, sandviç yapılı, boşluklu, küresel ya da çok yüzeyli gibi çeşitli morfolojilere sahip olabilmektedirler.

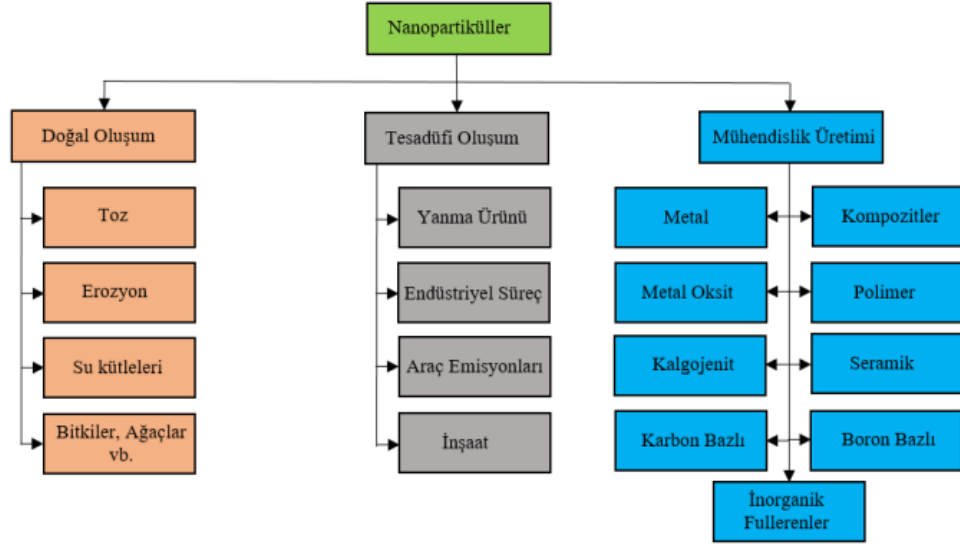
Nanoparçacıkların yüksek yüzey enerjisiye sahip olmaları ve bu yüzey enerjisinin homojen bir şekilde dağıtılabilmesi için çoğunlukla küresel şekil tercih edilmektedir. Küresel nanoparçacıklar, tribolojik uygulamalarda yüzeyler arasında bir bilye gibi hareket edip yuvarlanmayı destekleyerek yüzeylerin birbirine karşı doğrudan temasını önlemektedir. Bunun yanı sıra, küresel nanoparçacıklar aşırı basınç koşullarına karşı direnç gösterir ve yük taşıma kapasiteleri oldukça yüksek olduğundan endüstriyel süreçlerdeki etkinliği artmaktadır. Katmanlı yapıda olan nanoparçacıklar, sürtünme yüzeyleri arasında yağlama filmlerinin oluşumunu teşvik ederek özellikle yüksek yük koşulları altında üstün tribolojik özelliklerin elde edilmesine katkı sağlamaktadır. Bu durum, katmanlı yapıların uygulamalarda etkili bir şekilde kullanılabilmesini, sürtünme ve aşınma gibi olumsuz etkilerin azaltılmasını desteklemektedir [108]. Şekil 5.1’de nanoparçacıkların sınıflandırılması görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 5.1. Nanoparçacıkların fiziksel niteliklerine göre sınıflandırılması [110].

5.3. NANOPARÇACIKLARIN SINIFLANDIRILMASI

Nanoparçacıklar, yapısal özelliklerine, boyutlarına, şekillerine ve bileşenlerine bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. Nanoparçacıkların keşfedilmesiyle birlikte söz konusu bu yapıların çeşitli uygulama sahalarında kullanılmak üzere birçok araştırmaların yapıldığı ve sonucunda çeşitli nanoparçacık yapıları oluşturulmuştur [111]. Tribolojik uygulamalar için nanopartiküller; doğal oluşum süreciyle ortaya çıkan nanopartiküller, tesadüfî oluşum süreciyle ortaya çıkan nanopartiküller ve mühendisler tarafından özel olarak üretilen nanopartiküller olmak üzere üç ana başlık altında Şekil 5.2'deki gibi sınıflandırılmıştır.



Şekil 5.2. Tribolojik Çalışmalar İçin Nanopartiküllerin Sınıflandırılması [108].

5.3.1. Yakıt ve Yanma Kalitesini İyileştiriciler

İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıt katkıları, yakıtın kalitesini artıran, yanma sürecini optimize eden, motor verimliliğini artıran ve egzoz emisyonlarının azalmasına katkıda bulunan maddelerdir. Yakıt kalitesini artırmak amacıyla kullanılan dört farklı türde yakıt katkı maddesi bulunmaktadır. Bu katkılar, metal esaslı katkılar, oksijen içerikli katkılar, antioksidanlar ve setan iyileştiricilerini içermektedir.

- **Oksijen İçerikli Katkı Maddeleri:** Molekül yapılarında en az bir oksijen atomu içeren organik bileşiklerdir. Bu tür katkılar, çeşitli alkoller, eterler, esterler ve karbonatlardan oluşmaktadır. Söz konusu katkı maddeleri yakıtların viskozitesi, parlama noktası, setan sayısı, yoğunluğu ve ısıl değerleri gibi özelliklerini direkt olarak etkilemektedir. Özellikle dizel yakıtların viskozitesi ve yoğunluğu üzerinde belirgin bir etkisi vardır. Bu duruma ek olarak yakıtlardaki oksijen miktarını artırarak yanma süreçlerini kolaylaştırmaktadır.
- **Metal Bazlı Katkı Maddeleri:** Dizel yakıtlar için parlama noktasını artırma eğilimi gösterirken aynı zamanda viskozite ve akma noktasını azaltmaktadır. Ayrıca, yanma süreçlerini iyileştiren katalizör olarak görev yapan bu katkı

maddeleri yapılan araştırmalar sonucunda yakıt tüketimini azaltması ve emisyon değerlerini dūřürmesi gibi olumlu sonuçlar vurgulanmıştır. Yanma performansını artırmak için incelenen temel metal bazlı katkı maddeleri arasında platin (Pt), seryum (Ce), Fe, baryum (Ba), seryum-demir (Ce-Fe), kalsiyum (Ca), platin-seryum (Pt-Ce), Mn ve bakır (Cu) bulunmaktadır. Bu tür katkı maddelerinin olumlu etkileri genellikle kurum oksidasyonunu arttırmaya yönelik olarak iki farklı mekanizma ile ilişkilendirilmiştir. Su molekülleriyle etkileşime girerek hidroksil radikallerinin oluşumuna yol açarlar ve bu radikaller, mevcut kurumu okside etmek için işlev görür. İlk olarak, su molekülleriyle etkileşime girerek hidroksil radikallerinin oluşumunu sağlar ve bu radikaller, mevcut kurumu okside etmesi için işlev görmektedir. İkinci olarak, bu katkı maddeleri, kurumdaki karbon atomlarının oksidasyonu için gereken sıcaklığı azaltarak bir katalizör rolü üstlenirler.

- **Setan Artırıcı Katkı Maddeleri:** Setan sayısı dizel motorlarda, yakıtın ateşleme kalitesini ya da daha spesifik olarak azaltılmış tutuşma gecikmesini en belirleyici şekilde etkileyen faktördür. Setan numarasının dūřük olması çoğunlukla artan yakıt tüketimi, artan emisyonlar ve yüksek motor gürültüsünden soğuk hava koşullarında alıştırma sorunlarına kadar çeşitli belirtilerle kendini gösteren eksik yanma olayı ile ilişkilidir. Bu katkı maddeleri ile tutuşma gecikmesi süresi optimize edilerek yanma süreci daha etkin hale getirilir. Bu sayede, motor performansı artar ve yakıt verimliliği olumlu bir şekilde etkilenmektedir.
- **Antioksidantlar:** Yakıt kararsızlığının dolayısıyla yanma karakteristiklerinin ve görünümünün olumsuz yönde etkilenmesinin başlıca sebebi olan yakıt oksidasyonu, antioksidantların kullanılmasıyla birlikte engellenebilmektedir. Antioksidantlar, dizel yakıtların yanma özelliklerini değiştirerek setan sayısını ve parlama noktasını yükseltirken, kalorifik değerini azaltıcı bir etkiye sahiptirler [112-114].

5.3.2. Malzemesine Göre Nanoparçacıklar

Nanoparçacıklar içerdikleri materyale bağlı olarak karbon esaslı, organik, inorganik ve hibrit (kompozit) şeklinde sınıflandırılmaktadır.

- **Karbon Esaslı Nanoparçacıklar:** Birbirine uzun zincirli bağlar aracılığıyla birleşen karbon atomlarından meydana gelir. Bu parçacıklar genellikle küresel, konik veya bal peteği gibi farklı yapısal özelliklere sahip formlarda bulunmaktadır [115]. Tamamen karbon atomlarından oluşan fullerenler, karbon nano tüpler, grafen, karbon siyahı ve karbon fiberler gibi karbon temelli nano boyutlu yapılar arasında yer alır [116].
- **Organik Nanoparçacıklar:** Biyolojik olarak uyumlu ve çevre dostu olmaları nedeniyle, özellikle tıp ve ilaç sektöründe yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. Bu tür organik nano yapılar arasında en çok bilinen lipozomlar, miseller, ferritin ve dendrimerler bulunmaktadır [117].
- **İnorganik Nanoparçacıklar:** Karbon dışı elementlerden oluşan parçacıklardır. Metalik özellik gösteren ve bunların oksitlerinden oluşan nanoparçacıklar, inorganik nanoparçacıklar kategorisinde yer almaktadır. Metal esaslı nanoparçacıklar, genellikle Al, Cu, Fe, gümüş (Ag), kobalt (Co), altın (Au) ve çinko (Zn) gibi yaygın olarak kullanılan metallerden oluşur ve büyük hacimli metal malzemelerden farklı özelliklere sahiptirler [118]. Metal nanoparçacıklara kıyasla metal oksit nanoparçacıkları genellikle daha yüksek reaktivite ve verimlilik göstermektedir. Örneğin, Fe_2O_3 nanoparçacıkları, metalik Fe nanoparçacıklarına kıyasla daha yüksek reaktivite sergilemektedir. Pratik uygulamalarda, Al_2O_3 , CeO_2 , SiO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3 ve çinko oksit (ZnO) gibi metal oksit nanoparçacıkları en yaygın olarak kullanılan örnekler arasında yer almaktadır [116]. Kimyasal reaksiyonlarda katalizör olarak işlev görebilmesi ve yakıtların termofiziksel özelliklerini iyileştirme potansiyelleri sebebiyle metal oksit nanoparçacıklarının yakıt katkısı olarak kullanılması önemli avantajlar sağlamaktadır [117].

- **Hibrit Nanoparçacıklar:** Birden fazla farklı nano parçacığın kombinasyonu ile oluşturulan ve genellikle çekirdek-kabuk gibi bir yapısal şekle sahip olan nanoparçacıklardır. Bu tür nanoparçacıklar, özellikle tıp ve malzeme bilimi alanlarında önemli uygulama potansiyelleri taşımaktadır [119]. Ayrıca metal nanoparçacıkların oksidasyonunu önlemek, termal özelliklerini artırmak ve yakıt içerisinde nanoparçacıkların stabilitesini güçlendirmek amacıyla metal esaslı nanoparçacıklar genellikle karbonla kaplama yöntemiyle kaplanarak metal-karbon kompozit nanoparçacıklar oluşturulmaktadır [120].

Nanoparçacıkların yakıt katkısı olarak kullanılması, önemli faydaların elde edilmesini mümkün kılmaktadır. Nanoparçacıkların yakıt katkısı olarak kullanılmasının sonucunda meydana gelen etkiler aşağıda maddeler şeklinde verilmiştir.

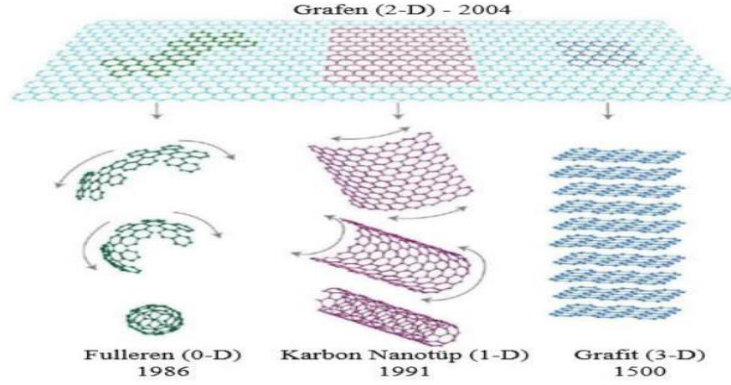
- Yüksek termal iletkenliklere sahip olan nanoparçacıklar, yakıtın ısı iletkenliğini artırır ve yakıt moleküllerinin gazlar arasında daha hızlı ısı transferine olanak sağlayarak, tutuşma gecikmesini azaltır. Aynı zamanda, yanma odasında alev bölgesinden radyasyon aracılığıyla iletilen ısının emilimini sağlayarak yakıt damlacıklarının daha hızlı bir biçimde buharlaşmasına olanak tanır ve buna bağlı olarak yanma hızının yükselmesini destekler [36,121].
- Nanoparçacık bileşimi içerisindeki oksijen, oksijen ilavesi sağlayarak yanma işlemine katkıda bulunur ve bunun sonucunda HC, CO ve is emisyonlarının azaltılmasına yardımcı olur [23].
- Nanoparçacıklar, nano yapıları sayesinde yüksek bir yüzey/hacim oranına sahip olma özelliği göstermektedir. Bu özelliklerle birlikte hava ve yakıt molekülleri için yanma odasında daha geniş temas alanı sağlayarak karışımın homojenliğini artırmaktadır. Homojen bir şekilde karışmış yakıtın yanmasıyla birlikte yanma veriminde artış ve kirlenici egzoz emisyonlarında azalma görülmektedir [121,123].

- Yüksek kimyasal aktivite seviyeleri sayesinde yanma esnasında katalitik reaksiyonlar gerçekleştirerek yanmanın verimliliğini artırmaktadır. Kimyasal tepkimelerin aktivasyon enerjisini azaltarak, yanma olayının daha düşük sıcaklık koşullarda meydana gelmesini sağlar. Nanoparçacıklar, yakıtın ısı iletkenliğini artırarak, yanma odasında gerçekleşen ısı ve madde transferini artırır. Böylece yakıtın tutuşma eğilimini kolaylaştırır [124].
- Nanoparçacıklar, tutuşma süresini azaltarak yanma sürecinin hızını ve verimliliğini artırır. Bu durumda, yakıt tüketimi azalır ve motor performansı yükselir [125].
- Nanoparçacıklar, püskürtme sırasında yakıt damlasının hareket enerjisini artırarak yakıt jetinin daha derinlemesine nüfuz etmesini sağlar ve silindir içinde daha homojen bir hava-yakıt karışımının oluşmasına katkıda bulunur [124].

5.4. FARKLI NANOPARÇACIK TÜRLERİ VE ÖZELLİKLERİ

5.4.1. Grafen – Grafen Oksit Nanoparçacıkları

Nanoteknolojinin vazgeçilmez bileşenlerinden biri olan karbon yapıları, nano ölçekteki temel sistemlerin oluşumunda belirleyici bir rol oynar; bu sistemler arasında nano makineler ve yapılar da bulunmaktadır. Son yıllarda bilimsel açıdan büyük ilgi gören grafen nanoparçacığı, karbon atomlarının oluşturduğu bal peteği yapısına sahip iki boyutlu ve düzlemsel bir malzemedir. Grafen, grafit ve değişen boyutlardaki türevlerinin temel yapı bileşenini oluşturur. Bu iki boyutlu materyal, geleneksel malzemelerin sunmadığı eşsiz sürtünme ve aşınma özelliklerine sahiptir. Genel olarak tanınmış termal, elektriksel, optik ve mekanik özelliklere ek olarak katı veya kolloidal sıvılar içinde bir yağlayıcı madde olarak grafen kullanılabilir. Sıkı bir şekilde düzenlenmiş ve atomik düzeyde pürüzsüz bir yüzeye sahip olması, olağanüstü dayanıklılığı ve etkileyici tribolojik performansı, grafenin temel olumlu özelliklerindedir. Ayrıca, grafenin yüksek düzeyde aşınma direnci, malzeme aşınmasını engelleyici bir etki göstermektedir [126-128]. Şekil 5.3'te grafen yapısı temelinde oluşan fulleren, karbon nanotüp ve grafit yapıları gösterilmektedir.



Şekil 5.3. Grafitin Diğer Formları [128].

GO, grafit yapısının kimyasal yöntemlerle elde edilmesiyle oluşturulan genellikle asitler ve antioksidanlar kullanılarak üretilen bir malzemedir. Grafitin oksidasyonu, grafit tabanlı malzemeleri daha çok üretebilme ve grafitin maliyetini azaltma amacını taşımaktadır. GO, grafit yapısına kıyasla hidrofilik özelliğe sahip olduğundan çözeltilerde kolayca dağılarak homojen bir karışım oluşturma özelliğine sahiptir. Ayrıca şeffaf olması, elektriksel iletkenlik göstermemesi ve mekanik özelliklerinin kalitesi, grafitin oksidasyonu geniş bir uygulama yelpazesi bulmasına olanak sağlamıştır [129].

5.4.2. Bor- Bor Oksit (B_2O_3) Nanoparçacıkları

"B" kimyasal sembolüne, 5 atom numarasına sahip bir element olan bor, 2077 °C sıcaklıkta erimekte ve 3866 °C sıcaklıkta ise kaynamaktadır. Saf halde doğada bulunmayan bir yarı metaldir. Bor farklı metal ve ametaller ile çeşitli niteliklere sahip bileşikler meydana getirir ve doğada farklı bor bileşikleri (mineralleri) halinde varlığıyla kendini göstermektedir. Bor oksit (B_2O_3) nanopartikülünün yoğunluğu yaklaşık 2,46 g/cm³ seviyesindedir. Bu parçacıkların erime noktası sıcaklığı 460 °C iken kaynama noktası sıcaklığı ise 1860 °C'dir. B_2O_3 nanoparçacığının yapılan araştırmalarda yakıt katkısı olarak potansiyel kullanımı incelenmiş olup B_2O_3 bileşiğinin kristal yapısında istikrarlı bir düzene sahip olmayan amorf bir yapıya sahiptir. Bu bileşik, camı halde ve iki farklı kristal yapı formunda bulunmaktadır.

Genellikle borik asidin dehidrasyonu ile elde edilen amorf formdaki B_2O_3 , renksiz ve kokusuz olan, sert ve camımsı bir yapıya sahip katı bir maddedir. B_2O_3 'in diğer kristal formu, daha nadir görülen monoklinik bor oksit olup sert, beyaz ve kokusuz özelliklere sahip kristallerdir. Mikron boyutlu bor oksit partikülleri, plazma tekniği kullanılarak yüksek saflıkta bor nano partikülleri üretilebilir ya da yüksek enerjili ve bilyeli değirmenler kullanılarak nanometre boyutlarına kolaylıkla indirgenebilmektedir. Bu özellikler, B_2O_3 nanoparçacıklarının yanma ve yakıt uygulamaları için öngörülen maddelerden biri olarak değerlendirilmektedir [130-134].

5.4.3. Titanyum Dioksit (TiO_2) Nanoparçacıkları

Dünya kabuğunda bol miktarda bulunan titanyum (Ti), diğer birçok kimyasal element gibi saf formda doğada bulunmaz. Oksijen ve hidrojen gibi bu elementlerle bileşikler halinde bulunmaktadır. TiO_2 , pek çok alanda tercih edilen bir metal oksit türüdür ve çoğunlukla beyaz renkte, kokusuz ve yanıcı olmayan bir toz formunda mevcuttur. TiO_2 'nin fiziksel karakteristikleri, 79,9 g/mol' lük bir moleküler ağırlık, 1843 °C' lik bir erime noktası, 2972 °C' lik bir kaynama noktası ve 4,26 g/cm³'lük bir yoğunluk değeri ile tanımlanmaktadır [135].

TiO_2 , yakıt katkısı olarak kullanıldığında, geniş yüzey alanı-hacim oranı ve daha reaktif bir yüzey sağlama özelliği sayesinde yakıt karışımlarının hızlı oksidasyonuna neden olur. Bu durumda, daha yüksek yanma entalpisi ve artan enerji yoğunluğu sağlamaktadır. TiO_2 ' in etkili atomizasyon, homojen hava-yakıt karışımı oluşturma, yüksek buharlaşma hızı ve alevin istikrarlı bir şekilde sürdürülmesi açısından faydalar sağlamaktadır. Böylece, difüzyon ve ön karıştırma zamanının azalır ve sonuç olarak tutuşma gecikmesi süresinde önemli bir azalma meydana gelmektedir. Tutuşma gecikmesi süresinin azalması, yakıtın daha etkin bir atomizasyon sağlanmasına ve daha geniş reaktif yüzeyine sahip olmasına neden olur. Bu da yanma reaksiyonunun daha erken başlamasına imkân tanır ve silindir içinde daha fazla ısı salınımı ve basınç oluşumu ile sonuçlanmaktadır. TiO_2 nanoparçacığı, daha etkili bir ısı transferi sağlayıp ısı transfer hızını artırarak, katalitik etkiler gösterir ve bu sayede silindir içi yanma verimliliğinin artmasında olumlu bir etkisi bulunmaktadır. Yürütülen araştırmalar, TiO_2 kullanımının HC ve CO emisyonlarını belirgin bir şekilde azaltırken aynı

zamanda fren özgül yakıt tüketiminde bir azalmanın gözlemlendiğini ortaya koymaktadır [136].

5.4.4. Bakır-Bakır Oksit (CuO) Nanoparçacıkları

Bakır, tarihte bilinen en eski metallere biri olarak öne çıkmaktadır. Kimyasal sembolü Cu olan bakır, 29 atom numarasına ve 63,546 g/mol' lük atom kütlesine sahiptir. 1083 °C'lik ergime sıcaklığı ve 2595 °C'lik kaynama noktası ile yüksek dayanıklılık sergilemektedir. Doğal kırmızımsı tonuyla estetik bir görünüme sahip olan bakır, elektrik akımını oldukça verimli bir şekilde iletebilme özelliğine sahiptir. Ayrıca, bakır nanopartikülleri, üstün katalitik, optik ve elektronik özelliklerinden dolayı birçok metal nanopartiküle kıyasla büyük ilgi çekmektedir [137,138].

Yağlayıcı malzemeler endüstrisinde, bakır nanopartiküllerinin katkı maddesi olarak kullanılması, yeni ve gelişmiş yağlayıcıların geliştirilmesi üzerine yoğun araştırmalara konu olmaktadır. Bunun temel sebepleri ise bakır partiküllerinin yağlayıcı içindeki stabilitesi, etkili dağılma kabiliyeti ve ekonomik üretim maliyetleri gibi ana faktörlere dayanmaktadır. Diğer metallerle kıyaslandığında uygun maliyeti, kolay erişilebilirliği ve çeşitli kullanım alanları gibi faydaları, nano boyutlu bakır partiküllerini çekici kılmaktadır [139,140]. CuO ise, atom ağırlığı 79,57 g/mol ve yoğunluğu 6,40 g/cm³ olan bir metal oksit türüdür. Ergime sıcaklığı 1026 °C olan bu bileşik, belirli fiziksel özellikleriyle (geniş ara yüzey alanı, son derece etkin yüzey olağanüstü optik, elektrik, elektronik ve katalitik etkisi) son yıllarda dikkat çekmektedir. Bu özellikler doğrultusunda, bu partiküllerin pratik uygulamalarda en etkili şekilde kullanılabilmesi için CuO nanoparçacıklarının boyutu ve yapısal niteliklerinin dikkatli bir şekilde optimize edilmesi halinde fiziksel ve kimyasal özelliklerinin kontrol edilmesi hedeflenmektedir [141].

Son yıllarda ısı transferini geliştirmeye yönelik çalışmalarda, akışkanların ısı transfer performansını artırmak amacıyla, nanoteknolojiye dayalı olarak akışkanlara nanoparçacıkların eklenmesi gibi yaklaşımlar kullanılmaktadır. CuO nanoparçacıkları üzerinde ısı transfer uygulamaları için yapılan araştırmalar, bu parçacıkların potansiyel olarak etkili bir çözüm sunduğunu göstermektedir. Ayrıca, yapılan araştırmalar CuO'

in verimli bir heterojen katalizör olarak işlev gördüğünü ortaya koymaktadır. Bu nedenle, NO_x ve dizel partikül madde emisyonlarının azaltılmasında kullanım potansiyeline sahip olduğu belirtilmektedir. [142,143].

5.4.5. Alüminyum- Alüminyum Oksit (Al₂O₃) Nanoparçacıkları

Alüminyum, periyodik tabloda "Al" sembolü ile temsil edilen ve 13 atom numarasına sahip hafif bir metaldir. Yoğunluğu yaklaşık olarak 2,70 gr/cm³ olan bu metal, gümüş benzeri bir renge sahiptir. Al, endüstride oksitlerinin yanı sıra asit-baz katalizör destekleri ve bileşenleri gibi çeşitli alanlarda geniş ölçüde kullanılmaktadır. Al, dünya üzerinde O ve Si elementinden sonra yaygın bulunan element olup, saf formda doğada bulunmaz. Genellikle oksit ve silikatlarla çeşitli bileşikler halinde mevcuttur [144]. Al₂O₃'ler Al metalinin yüksek oksidasyon duyarlılığı sonucu meydana gelen ve 2072°C'de erime eğilimi gösteren bileşiklerdir. Bu bileşiklerin yüzey işlem endüstrisinde tercih edilmelerinin temel sebebi, yüksek sertlik değerleri ve uzun ömürlü dayanıklılıklarıdır. Bu oksitler genellikle aşındırıcı özellikleri nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Al₂O₃, geniş çapta kullanılabilen bir inorganik malzeme olmasının yanı sıra termal özellikleri nedeniyle birçok farklı endüstride yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu malzemenin genellikle diğer alternatiflerine göre daha fazla tercih edilmesinin nedenleri, kolay erişilebilir olması, düşük üretim maliyeti ve kolay üretilebilirlik gibi faktörlere dayanmaktadır [145,146].

5.4.6 Magnezyum-Magnezyum Oksit (MgO) Nanoparçacıkları

1808 yılında Humphrey Davy tarafından keşfedilen magnezyum (Mg) elementi, yapısal mühendislik uygulamalarında tercih edilen en hafif metallere biridir. Mg, litosferde (yer kabuğu) oldukça yaygın olarak bulunan bir element olup litosfer bileşiminde %2,7'lik bir oranla bulunurken, okyanuslarda ise %0,13'lük bir kısmını oluşturur. Ayrıca, periyodik tabloda IIA grubunda konumlanmış ve toprak alkali metaller arasında yer almaktadır [147].

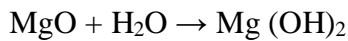
Mg, günümüz teknolojisinde hem metal olarak hem de bileşik formunda önemli bir hammadde olarak değerlendirilmektedir. Mg, bugünün teknolojisinin kritik bir

hammaddesi olarak hem metalik hem de bileşik formunda büyük bir talep görmektedir. Mg'nin yaygın tüketimi, çoğunlukla magnezyumun bileşiklerinin (MgO, MgCl₂, Mg(OH)₂, MgSO₄ vb.) kullanımıyla gerçekleşmektedir. Bu durumun temelinde, dünya tüketiminin büyük bir oranını kapsayan ve magnezya olarak bilinen MgO yer almaktadır. MgO, magnezitin 1600 °C veya daha yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi sonucu elde edilen bir ürün olarak tanımlanır ve refrakter malzemelerin ana bileşenini oluşturur [148]. MgO'nun fiziksel özellikleri Çizelge 5.1' de verilmiştir.

Çizelge 5.1. MgO'nun fiziksel özellikleri

Atom Ağırlığı	Kaynama Noktası	Ergime Noktası	Yoğunluğu
24.312 g/mol	1107°C	650°C	1.74 g/cm
Özgül Isısı	Erime Isısı	Kaynama Isısı	Asit-Baz Özelliği
0.25 cal/g °C	2.14 kcal/atomgram	32.517 kcal/atomgram	Baz

MgO veya magnezya, beyaz higroskopik katı bir mineral olan doğal periklaz olarak bilinir ve magnezyumun bir elde edilmesinde önemli bir kaynak olarak işlev görmektedir. Mg elementinin oksijen ile yüksek birleşme eğilimi sonucunda oluşan MgO'nun 2800°C'ye kadar erimeyerek katı halini koruyabilme özelliğine sahip olması refrakter malzemelerde temel bir özellik oluşturmasında etkilidir. Empirik bir formülle ifade edilen MgO, içinde Mg²⁺ iyonları ile O²⁻ iyonlarının iyonik bağlar aracılığıyla bir arada tutulduğu bir örgü yapısından oluşmaktadır. Bu bileşik, magnezyum hidroksitin su varlığında oluşumuyla ilişkilendirilmiştir. Ancak nemi giderilmesi için tersine dönüştürülebilir [147].



Nano boyutlu MgO, karakteristik yapısı sayesinde olağanüstü optik, elektronik, manyetik, termal, mekanik ve kimyasal özelliklere sahiptir. MgO, endüstride katalizörlerden refrakter malzemelere, boyalardan zehirli atık bertarafına, antibakteriyel malzemelerden süperiletken ürünlere kadar geniş bir uygulama yelpazesine sahip önemli bir malzemedir [149].

Aşağıda, MgO'nun bazı kullanım alanları listelenmiştir:

- Otomotiv yağlama yağlarında, yüksek performans gerektiren motorlar için asitlerin etkin bir şekilde nötralle edilmesine katkı sağlayan bir katkı maddesi olarak,
- İnşaat endüstrisinde; askı taban, izolasyon inşaat blokları ve hafif yapı elemanı olarak,
- Tarım endüstrisinde, ince tarım şeklinde hayvan yemine katılarak: iri taneliler gübre endüstrisinde kok oluşturmayan ince tozlar pastörize tozsuzlaştırma malzemesi olarak,
- Kâğıt endüstrisinde,
- Lastik ve plastik endüstrisinde; stabilizatör madde vulkanizatör madde olarak genel kimya endüstrisinde; magnezyum bileşiklerinin üretimini başlangıç malzemesi olarak kullanılmaktadır [150].

BÖLÜM 6

MATERYAL VE METOT

6.1. MATERYAL

Deneysel uygulamaların yapılmasında kullanılan test yakıtlarına dair veriler, bu yakıtların içten yanmalı motorların performansını ve emisyon etkilerini analiz etmek amacıyla ihtiyaç duyulan materyallere yönelik bilgiler aşağıdaki başlıklar altında verilmiştir.

6.1.1 Uygulama Alanı

Yapılan deneysel çalışmada Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Otomotiv Anabilim Dalı bünyesinde bulunan motor test laboratuvarı kullanılmıştır. Deney düzeneği üç kısımdan oluşmaktadır. Bunlar yük ünitesi, jeneratör ünitesi ve emisyon ölçüm ünitesidir. Şekil 6.1’de deney alanının genel görüntüsü verilmiştir. Çizelge 6.1’de ise deney düzeneğini oluşturan ögeler verilmiştir.



Şekil 6.1. Deney alanının genel görünümü

Çizelge 6.1. Deney düzeneğini oluşturan elementler

1. Laptop	13. Egzoz Gaz Sıcaklığı Ölçer Termokupl
2. Gaz Analizörü	14. Motor Sıcaklığı Ölçer Termokupl
3. İş Ölçer	15. Dizel Motor
4. Bilgisayar	16. Dinamo
5. Kamera (1)	17. Jeneratör
6. Ultrasonik Karıştırıcı	18. Kontrol Ünitesi
7. Yakıt Deposu	19. Yükleme Panosu
8. Ağırlık Ölçeği	20. Devre Kesici
9. Kamera (2)	21. Halojen Lamba (500 W)
10. Veri Kablosu	22. Halojen Lamba (1000 W)
11. Yakıt Sıcaklığı Ölçer Termokupl	23. Duman Ölçer Işını
12. Hava Sıcaklığı Ölçer Termokupl	24. Gaz Analizörü Işını

6.1.2. Deney Motorunun Genel Özellikleri

Motor testleri Şekil 6.2’de gösterilen tek silindirli, dört zamanlı LUTIAN 3GF-ME dizel-jeneratör grubu ile gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3'te test motoru ile jeneratörün temel özellikleri verilmiştir.



Şekil 6.2. Deneyde kullanılan dizel jeneratör.

Çizelge 6.2. Deneyde Kullanılan Motora Ait Teknik Özellikler

PARAMETRELER	MOTOR ÖZELLİKLERİ	
Marka ve Model	LT-178F/FA	
Motor Tipi	Marşlı/Elektrikli, Tek Silindirli, 4 Zamanlı Hava Soğutmalı Dizel Motor	
Yanma Sistemi	Direkt Püskürtmeli	
Çap x Strok	78x62/78x64 mm	
Hacim	296/305 cc	
Motor Devri (d/d)	3000 dev/dk	3600 dev/dk
Maksimum Çıkış	5,7 HP	7 HP
Sürekli Çıkış	5,2 HP	6 HP

Çizelge 6.3. Deneyde Kullanılan Jeneratöre Ait Teknik Özellikler

PARAMETRELER	JENERATÖR ÖZELLİKLERİ
Model	LUTIAN 3GF-ME
Maksimum Çıkış Gücü	3.2 kW
Sürekli Çıkış Gücü	2.9 kW
Voltaj	230 V
Nominal Hız	3000 d/d
Nominal Akım (A)	7.8 / 15.6
Faz	MONOFAZE
Frekans	50 Hz
Güç Faktörü	1 Cos Φ
Boyutlar	695 x 470 x 540
Ağırlık	56 kg
Yakıt Tank Kapasitesi	12,5 L
Yağlama Tank Kapasitesi	0,75 L

6.2. DENEYLERDE KULLANILAN ÖLÇÜM CİHAZLARI

6.2.1. Yükleme Ünitesi

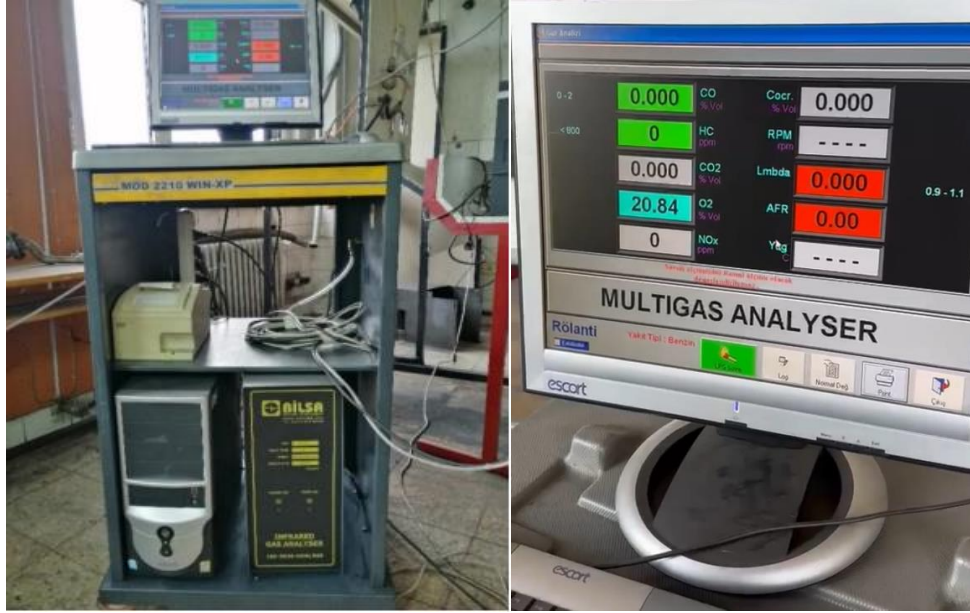
Şekil 6.3'te motor yükleme ünitesi gösterilmektedir. Yük ünitesi 500 ve 1000 Watt'lık halojen ampullerden ve ampulleri açıp kapamaya yarayan sigortalardan oluşmaktadır. Ampullerin motorun çalışması sırasında açılması suretiyle motorun yüklenmesi sağlanmıştır.



Şekil 6.3. Motor yükleme ünitesi

6.2.2. Egzoz Gaz Analizörü ve Is Emisyonu Ölçüm Cihazı

Deneyleerde egzoz emisyon ölçümlerinde BİLSA MOD 2210 WINXP-K marka egzoz gaz analiz ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu egzoz gaz analizörü benzin, LPG ve CNG ile çalışan ateşlemeli motorlarda TS ISO 3930 standartlarına, dizel motorlarda ise TS ISO 11614 standartlarına uygun çalışmaktadır. Benzinle çalışan araçlarda 'Dağıtıcı Olmayan Kızılötesi Sistem' kullanılırken dizel motorlu araçlarda ise 'Opaklık' yöntemi kullanılmaktadır. Böylelikle; (CO, HC, CO₂, NO_x, O₂, is, motor devri ve lambda) değişkenlerinin ölçümüne olanak sağlayabilmektedir. Egzoz emisyon cihazı Şekil 6.4'te verilmiştir. Çizelge 6.4'te egzoz gaz analiz cihazının teknik özellikleri verilmiştir.



Şekil 6.4. Egzoz gaz analiz ölçüm ünitesi

Çizelge 6.4. Egzoz gaz analiz cihazı teknik özellikleri

%	Ölçüm Aralıkları	Hassasiyet
Oksijen	0- %25	%0,01
Karbon monoksit (CO)	0- %10	%0,001
Karbon dioksit (CO ₂)	0- %20	%0,001
Hidrokarbon (HC)	0 – 10000 ppm	1 ppm
Azot oksit (NO _x)	0 – 5000	1 ppm
Lambda	0,5 – 2,00	0,001
Hız	0-9990 d/d	10 d/d

Deney sırasında motor sıcaklığı manuel olarak da ölçülebilir. Motordan gelen ve termokupl denilen sensörlerden biri bilgisayar kontrollü modüle bağlanırken diğeri ise manuel olarak ölçülmesi için TT T-ECHNI-C A930C marka dijital multimetre kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.5'te sıcaklık ölçüm cihazının genel görünümü verilmiştir.



Şekil 6.5. TT T-ECHNI-C A930C dijital multimetre.

Egzoz emisyonlarının değer ölçümleri için özel olarak yaptırılan egzoz borusunun içerisine yerleştirilmesi suretiyle ölçüm yapılan prob kullanılmıştır. Şekil 6.6’da ölçüm probunun egzoz borusuna yerleşimi gösterilmektedir.



Şekil 6.6. Ölçüm probunun egzoz borusuna yerleşiminin gösterilmesi

İs emisyonu ölçümünde BİLSA marka cihaz kullanılmıştır, Şekil 6.7’de İs emisyon cihazı gösterilmiştir. Bu cihaz is emisyonunu % ve K faktörü cinsinden

ölçebilmektedir. Ölçüm sonuçları BİLSA egzoz emisyon cihazının ekranından okunabilmektedir.



Şekil 6.7. İS emisyon cihazı

6.2.3. Laptop ve Kamera

Dizüstü bilgisayara bağlı olan ve görüntüleme amacıyla kullanılan 2 adet kamera bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi, yakıt kütlesini ölçen elektronik teraziyi, ikincisi ise gaz analizörünü izlemek için kullanılmaktadır. Şekil 6.8’de dizüstü bilgisayar kamerası verilmiştir.



Şekil 6.8. Dizüstü bilgisayar kamerası

6.2.4. Yakıt Tüketim Ölçme Düzenegi

Dizel ve MgO nanoparçacık katkısı ilave edilerek yapılan çalışmada, yakıt tüketimini ölçmek için Şekil 6.9’da görülen 1 g hassasiyete sahip SF-400C Scale marka elektronik terazi kullanılmıştır. Kullanılan elektronik terazinin maksimum 600 gr tartma kapasitesi ve 0.01 g hassasiyeti vardır.



Şekil 6.9. Yakıt tüketimi ölçümünde kullanılan elektronik terazi

6.2.5. Deney Yakıtları

Motor testlerinde kullanılmak üzere; saf dizel yakıtı ile katkı maddesi olarak MgO nanopartikülü temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan dizel yakıt ile dizel-MgO katkılı yakıt karışımları Şekil 6.10'da verilmiş olup özellikleri ise Çizelge 6.5'te gösterilmiştir.



Şekil 6.10. Dizel yakıt ile dizel-MgO katkılı yakıt karışımları

Çizelge 6.5. Deney Yakıtlarının Özellikleri

ÖZELLİK	Dizel Yakıt	MgO Nanoparçacık
Kimyasal Formül	C_xH_y	MgO
Molekül Ağırlığı	190-220	40,3044 g/mol
Yoğunluk (g/cm^3)	840	3,58
Viskozite (40 °C'de) (mm^2/s)	2,7	-
Oksijen İçeriği (%)	-	39,7
Kaynama Noktası (°C)	180-360	3600 °C
Tutuşma Sıcaklığı (°C)	315	\approx 3000 °C
Buharlaştırma Isısı (°C)	260	\approx 3600 °C
Erime Noktası (°C)	-	2852 °C
Görünüm	Sıvı	Beyaz Toz

6.2.5.1 MgO Katkı Maddesi

Şekil 6.11’de 30-50 nm boyutlarında MgO nano parçacığının iletim elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü ile fiziksel görünümü gösterilmiştir. Magnezyum oksit nano parçacığının özellikleri ise Çizelge 6.6.’ te verilmiştir.



Şekil 6.11. MgO nano parçacıklarının SEM görüntüsü ve fiziksel görünümü [151].

Çizelge 6.6. Magnezyum oksit nano parçacığı özellikleri

İsim	Magnezyum oksit
Formül	MgO
Parçacık boyutu	20 nm
Saflık	%99,9
Görünüm	Beyaz katı toz
Yüzey Alanı	> 65
Özkütle (Bulk)	0,2 g/cm ³
Özkütle (True)	3,6 g/cm ³

Deneylere dizel motor yakıtı ilk olarak saf halde denenererek başlanmıştır. Ardından dizel yakıtın içerisinde MgO nanoparçacık katkısı ilave edilip katkı maddesinin miktarı artırılarak deneyler tekrarlanmıştır. Dizel yakıtı ve MgO nanoparçacığı hacimsel olarak karıştırılarak deneyde kullanılacak dizel - MgO yakıt karışımları elde edilmiştir. Elde edilen yakıt karışımlarının isimlendirilmesi Çizelge 6.7’de verilmiştir.

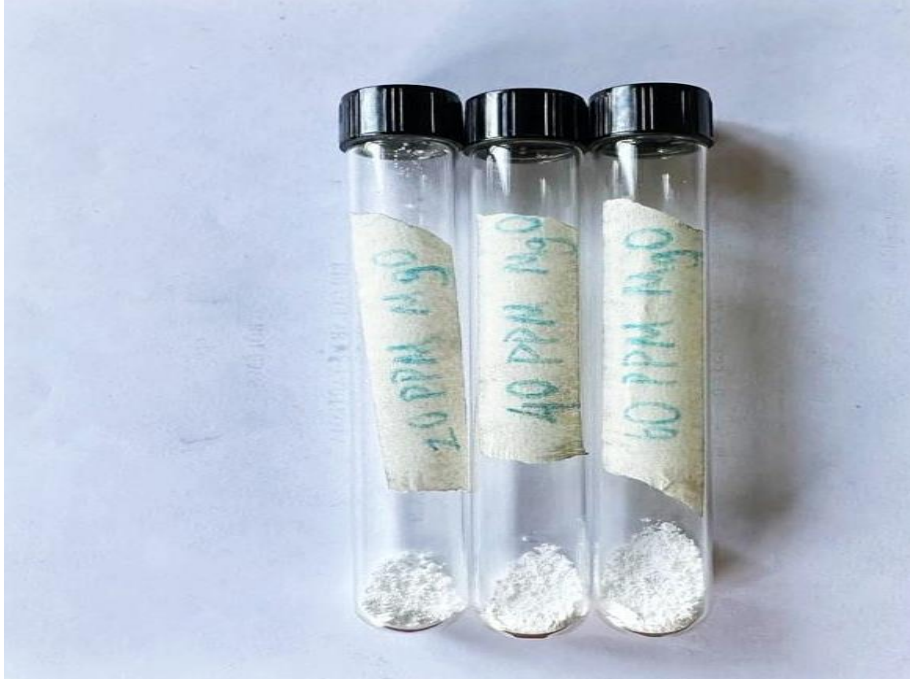
Çizelge 6.7. Deney yakıtlarının isimlendirilmesi.

Yakıt İsmi	Yakıt Açıklaması
D100	Dizel yakıtı
D100MgO20	Dizel yakıtı içerisinde 20ppm MgO nano parçacık katkı ilaveli yakıt
D100MgO40	Dizel yakıtı içerisinde 40ppm MgO nano parçacık katkı ilaveli yakıt
D100MgO60	Dizel yakıtı içerisinde 60ppm MgO nano parçacık katkı ilaveli yakıt

6.3. METOT

6.3.1. Deneylerin Yapılışı

Deneysel çalışmada ilk olarak motor testlerine başlamadan önce motor bakım ve ayarları yapılmıştır. Motor çalışma sıcaklığına getirildikten sonra testler yapılmaya başlanmıştır. Çalışmada yakıt olarak dizel yakıtı ve dizel yakıtı ilave edilmesi için katkı maddesi olarak MgO nanoparçacığı kullanılmıştır. Şekil 6.12’de kütleli olarak eklenecek MgO katkı maddesi gösterilmiştir. Şekil 6.13’te görülen SF – 400C Scale marka 600 gr. kapasiteli 0.01 g hassasiyetli hassas terazide tartılmıştır. Dizel motorda yakıt olarak kullanılan dizel yakıtı içerisinde Şekil 6.14’te verilen MgO katkı maddesi 20 ppm, 40 ppm ve 60 ppm oranlarında ilave edilerek Şekil 6.15’te gösterilen 100W ısıtma gücünde BAKU marka BK-1200 model ultrasonik karıştırıcı ile karıştırılmıştır.



Şekil 6.12. MgO katkı maddesinin kütleli olarak görünümü



Şekil 6.13. Hassas terazi (60 ppm MgO)



Şekil 6.14. Dizel yakıtta MgO katkı maddesinin eklenmesi



Şekil 6.15. Deney yakıtlarının ultrasonic karıştırıcıda karıştırılması

Bu çalışmada; jeneratöre dijital bir takometre ile 500 ve 1000 Watt'lık halojen ampullerden oluşan bir yükleme ünitesi ilave edilerek oluşturulan bir sistemle motorun yüklenmesi sağlanarak deneyler yapılmıştır.

Deneylere dizel motor yakıtı ilk olarak saf halde denenerek başlanmıştır. Saf dizel yakıtına kütleli olarak belirli oranlarda (20 ppm – 40 ppm – 60 ppm) MgO nanoparçacık katkısı ile elde edilen yakıtlar (D100MgO20, D100MgO40, D100MgO60) farklı motor yüklerinde (500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000 Watt) çalıştırılarak, her bir çalışma durumunda motor kararlı hale geldikten sonra CO, CO₂, HC, NO_x ve is emisyonları kaydedilmiştir. Daha sonra yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları ölçülerek motor performans ve emisyon karakteristikleri incelenmiştir.

BÖLÜM 7

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada, dizel yakıtına MgO nano parçacık katkı ilavesinin motor performansına ve emisyonlara etkisi incelenmiştir. Çalışmada sabit devirde 6 farklı motor yüklerinde (500, 1000, 1500, 2000, 2500 ve 3000 watt), standart dizel yakıtının içerisinde 20ppm, 40ppm ve 60ppm MgO ilave edilerek motor deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde ölçülen ve hesaplanan parametreler motor performansı açısından; ÖYT, egzoz emisyonları açısından ise; CO, CO₂, HC, NO_x ve is değişkenleridir.

7.1. MOTOR PERFORMANSI

7.1.1. Özgül Yakıt Tüketimi

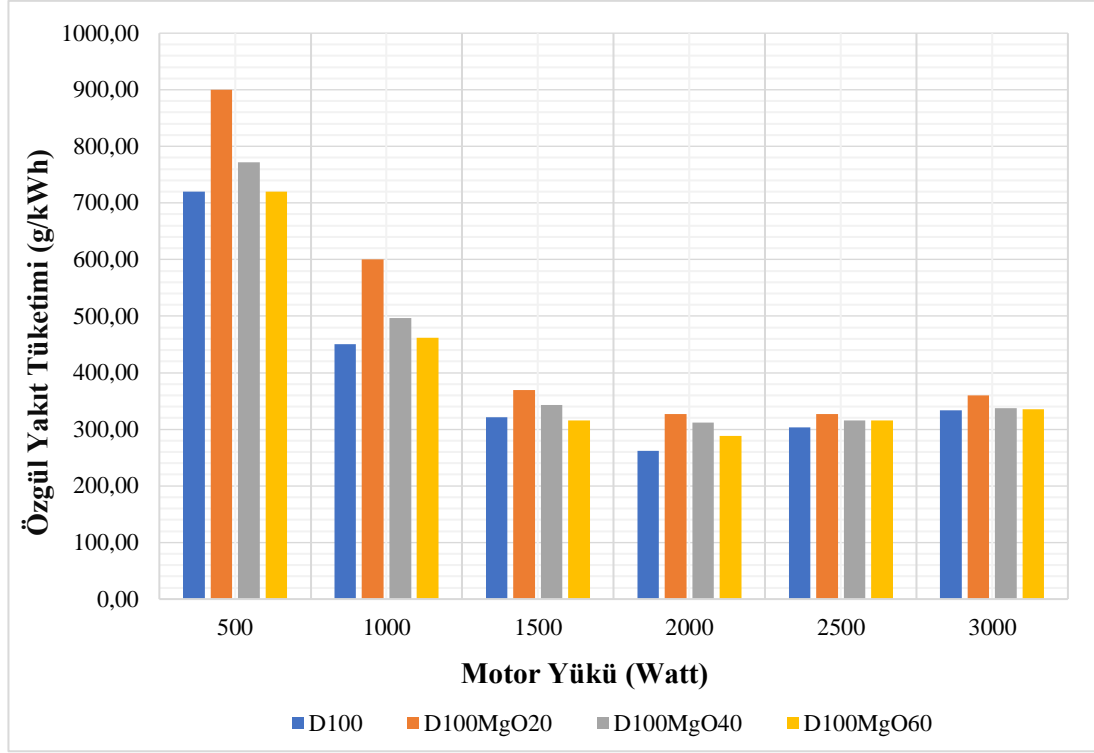
Bu bölümde, farklı yük koşullarında yakıt karışımlarının motor çıkışındaki birim güç başına düşen yakıt tüketimine etkisi incelenmiştir. Test yakıtlarının farklı yoğunluk ve kalorifik değerleri, yakıt tüketimini değerlendirmek için önemli bir ölçüt olarak kabul edilmektedir. Silindir içinde gerçekleşen yanma reaksiyonunun verimini belirleyen temel faktörlerden biri, yakıtın kimyasal özellikleridir [152]. İdeal yanma koşullarının sağlanmadığı durumlarda, yakıt tüketimi artmaktadır. Enjeksiyon sistemi, yoğunluk, viskozite, alt ısıl değer gibi faktörler ile yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri, ÖYT’de önemli bir etkiye sahiptir [55,153]. Şekil 7.1’de oluşturulan yakıt karışımlarının farklı motor yüklerinde ÖYT’ye etkisine ait veriler gösterilmiştir.

ÖYT, saf dizel yakıtına eklenen MgO katkı maddesi miktarı arttıkça değişkenlik göstermiştir. ÖYT değerleri düşük motor yüklerinde daha yüksek değerlerde, orta ve

yüksek motor yüklerinde ise minimum değerlere doğru azalma şeklinde görülmektedir. Yapılan deneyler neticesinde maksimum ÖYT değerleri, 500 Watt yükte D100 yakıtında 720 g/kWh olarak elde edilmiş olup D100MgO20, D100MgO40 ve D100MgO60 yakıtlarında ise sırasıyla 900 g/kWh, 771,43 g/kWh ve 720 g/kWh olarak ortaya çıkmıştır. Tüm yakıt türleri arasında en düşük ÖYT değeri dizel yakıtı (D100) kullanıldığında, en yüksek ÖYT değeri ise D100MgO20 yakıtı kullanıldığında elde edilmiştir. Motor yükü artırılarak devam edilen çalışma sonucunda ise minimum ÖYT değeri, 2000 Watt yükte elde edilmiştir. D100 yakıtında 261,82 g/kWh olarak elde edilirken, MgO ilave edilen D100MgO20, D100MgO40 ve D100MgO60 yakıtlarında ise minimum ÖYT değeri sırasıyla 327,27, 311,69 ve 288,45 g/kWh olmuştur.

1500 Watt motor yükünde D100 yakıtına kıyasla D100MgO20, D100MgO40 yakıtlarındaki ÖYT değişimi sırasıyla %14,87 ve %6,66 oranlarında artış söz konusu iken D100MgO60 yakıtında %1,75 oranında azalma belirlenmiştir. Dizel yakıtına göre %33,33 oran ile 1000 Watt yükte D100MgO20 yakıtında ÖYT değerinin en fazla artışı gerçekleşmiştir. Minimum artma oranı ise 3000 Watt motor yükte D100MgO20, D100MgO40 ve D100MgO60 yakıtlarında sırasıyla %7,9, %1,2 ve %0,6 oranlarında tespit edilmiştir.

Verilerden görüldüğü üzere genel olarak MgO nanopartikül katkılı yakıtların düşük alt ısıl değerinden dolayı dizel yakıtına oranla ÖYT’de bir artış görülmüştür. Buna karşın motor yükünün artmasına ve katkı maddesinin artış oranına bağlı olarak yanmanın iyileşmesi neticesinde ÖYT oranlarında düşmeler meydana gelmiştir.



Şekil 7.1. ÖYT'nin farklı yüklerle bağılı olarak değışimi

7.2. EGZOZ EMİSYONLARI

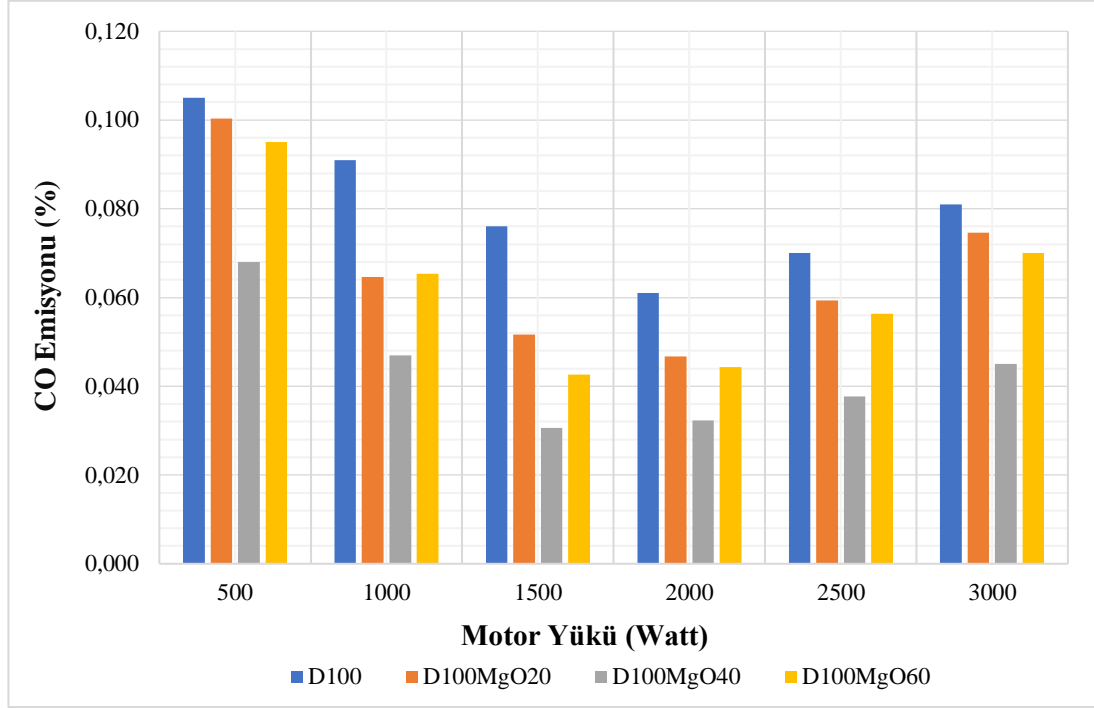
Motorlu araçlarda, egzoz emisyonları, yakıt ve yağ buharları, kurşun bileşikleri, asbest ve lastik tozları gibi çeşitli atıkların yanı sıra aşınma, paslanma ve korozyon gibi nedenlerle oluşan gazlar, sıvılar ve katılar, çevreye zarar vermektedir. Bu kirletici maddeler arasında, egzoz gazlarında bulunan CO, HC, NO_x ve partikül maddeler en etkili, yoğun ve zararlı olanlardır. Özellikle dizel motorlu taşıtlardan kaynaklanan NO_x ve partikül maddeler, daha fazla dikkat gerektiren unsurlar arasında bulunmaktadır [154]. Motorlu taşıtların çevreye saldığı kirleticilerin önemli bir kısmı, içten yanmalı motorlardaki yanma süreci sonucunda meydana gelmektedir. Emisyon kontrolü, farklı yaklaşımlarla gerçekleştirilebilen bir süreçtir. Bu yaklaşımlar genellikle yanma öncesi, yanma sırasında ve yanma sonrasında alınan önlemler olmak üzere üç ana kategoriye ayrılabilir. Yanma öncesi alınan önlemler, emisyon kontrolünün ilk aşamasını oluşturur ve bu aşamada yakıt kalitesinin geliştirilmesi ve alternatif yakıtların kullanılması gibi stratejiler uygulanır. Yanma sonrası alınan önlemler ise emisyonları azaltmak amacıyla kullanılan art işlem sistemlerini içerir. Bu sistemler arasında katalitik konvertörler, partikül filtreleri ve termik reaktörler gibi teknolojiler bulunur [155].

Bu bölümde, yanma öncesi alınan önlem düşüncesiyle dizel yakıt ve MgO nanoparçacık karışımlarının kullanımıyla elde edilen CO, HC, NO_x ve is emisyon değerleri, dizel yakıtının emisyon değerleriyle karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

7.2.1. CO Emisyonları

CO emisyonlarının oluşmasının temel kaynağı, yanma sürecinde yetersiz oksijen bulunması nedeniyle tam yanmanın gerçekleşmemesidir. Dizel motorlarında CO oluşumu, silindir içindeki oksijen düzeyi, kullanılan yakıtın karakteristikleri ve hava-yakıt karışım oranı gibi değişkenlerle yakından ilişkilidir. Dizel motorlarında, yüksek hava miktarı nedeniyle CO emisyonları genellikle düşüktür. Silindirler içinde her zaman yanabilecek miktarın üstünde hava bulunduğundan, bu durum CO emisyonlarını azaltıcı bir etken olarak ortaya çıkmaktadır [97,156]. Şekil 7.2’de dizel yakıtı ve MgO nanoparçacık katkısı ile elde edilen D100MgO20, D100MgO40 ve D100MgO60 yakıtlarının farklı yüklerde CO emisyonuna etkisi verilmiştir.

CO emisyonları saf dizel yakıtına eklenen MgO katkı maddesi miktarı arttıkça değişkenlik göstermiştir. Şekil 7.2’de görüldüğü gibi 500 W motor yükünde maksimum CO emisyonu D100 yakıtında elde edilmiştir. D100MgO20, D100MgO40 ve D100MgO60 yakıtlarının değerlerine motor yüklerinin tamamında bakıldığında CO emisyonlarında ciddi oranlarda azalma söz konusudur. En düşük CO emisyonu ise D100MgO40 yakıtında elde edilmiştir. 1500 Watt motor yükünde D100 yakıtına kıyasla D100MgO20, D100MgO40 ve D100MgO60 yakıtlarında CO emisyonlarındaki değişim sırasıyla %31,58, %59,21 ve %43,42 oranlarında azalma olarak belirlenmiştir. Dizel yakıtına göre CO emisyonundaki en fazla azalma oranı %59,21 ile 1500 Watt yükte D100MgO40 yakıtı ile gerçekleşmiştir. MgO’nun yüksek oksijen tutma özelliği bir katalizör etkisi göstermiş ve yanma verimliliğini artırmıştır. Bu nedenle, MgO parçacıkları katkı olarak kullanılması yakıtın daha etkili bir şekilde yanmasını teşvik ettiğinden CO emisyonlarının azalmasına katkı sağlamaktadır [157].



Şekil 7.2. CO emisyonunun farklı yüklerle bağı olarak değişimi

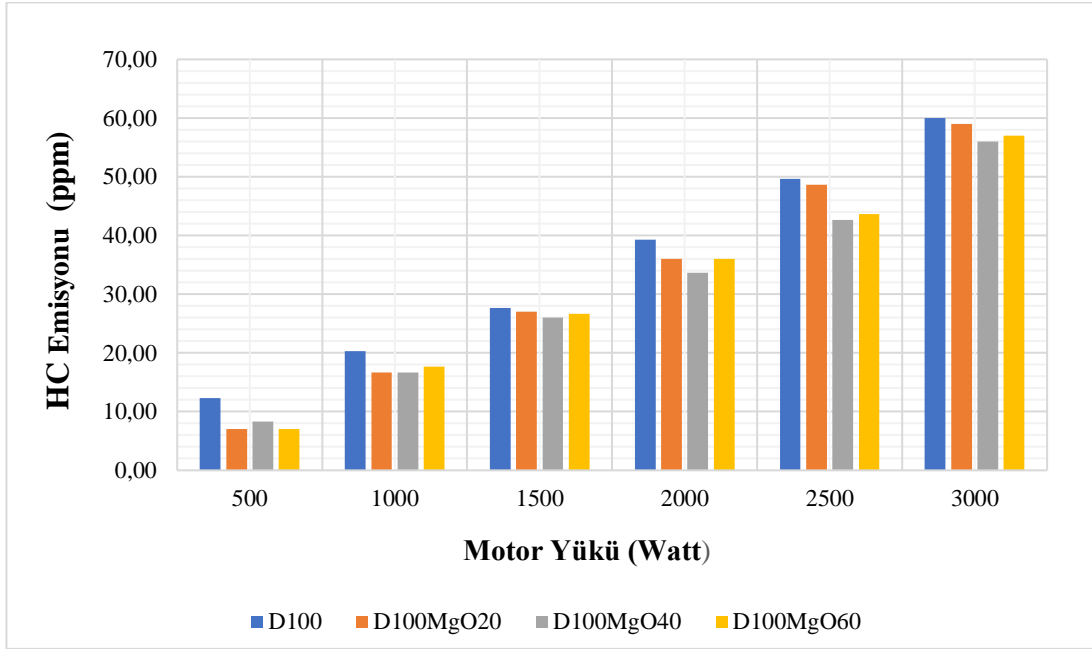
7.2.2. HC Emisyonları

HC emisyonu, içten yanmalı motorlarda yakıtın tamamının veya kısmen yanmaması durumunda ortaya çıkan ve genellikle tam yanmanın gerçekleşmediği koşullarda meydana gelen bir emisyon türüdür. Bu emisyonların oluşumunun temel nedeni, H/Y oranlarının silindir içerisindeki belirli bölgelerde istenmeyen düşük veya yüksek düzeylerde olmasıdır. Bu oranın dengesiz olduğu durumlarda, yanma tam olarak gerçekleşmez ve yanmamış hidrokarbonlar atmosfere salınmaktadır [158]. Şekil 7.3'te Dizel yakıt ve MgO nano parçacığının katkısı ile elde edilen farklı yüklerde HC emisyonları üzerindeki etkisi gösterilmektedir.

Dizel yakıtına göre minimum HC emisyonu, D100MgO20 ve D100MgO60 yakıtlarında 7 ppm olarak elde edilmiştir. 500 Watt motor yükü altında dizel yakıtına göre MgO katkılı yakıtlarda %43,22 oranında azalma gerçekleşmiştir. 1500 Watt motor yükte ise D100 yakıtında HC emisyonu 27,67 ppm olarak ortaya çıkarken D100MgO20, D100MgO40 ve D100MgO60 yakıtlarında HC emisyonları sırasıyla

27,00 ppm, 26,00 ppm ve 26,67 ppm olmuştur. D100 yakıtına kıyasla yüzdesel olarak sırasıyla %2,42, %6,03, %3,61 oranlarında azalma belirlenmiştir.

MgO nanopartiküllerinin oksijen içeriği tam yanma oranını artırmış ve HC emisyonlarının azalmasını sağlamıştır. Ek olarak, MgO nanopartikül katkı maddesinin yüksek katalitik aktivitesi ve gelişmiş yanma özellikleri sayesinde daha az HC emisyonu üretilmiştir [159].



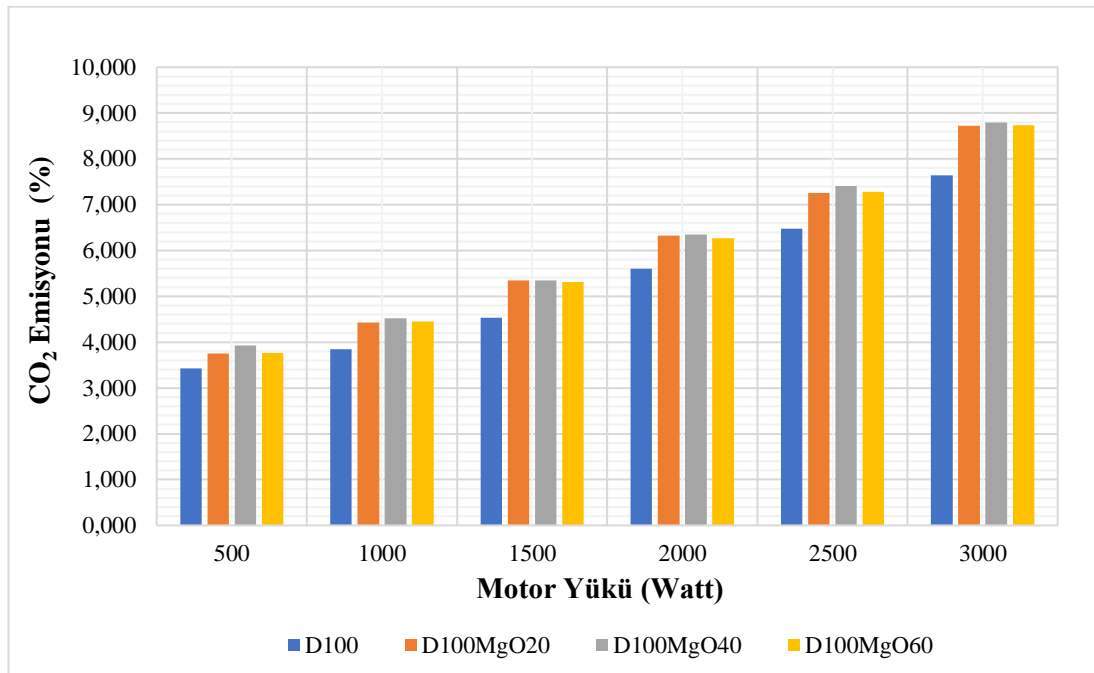
Şekil 7.3. HC emisyonunun farklı yüklerle bağlı olarak değişimi

7.2.3. CO₂ Emisyonları

Test yakıtlarının farklı motor yüklerinde ortaya çıkardıkları CO₂ miktarları Şekil 7.4'te verilmiştir. Yakıtın içerisindeki yeterli miktardaki O₂ miktarı CO₂ emisyon miktarını artırır. Yakıt karışımındaki oksijen miktarı, motor yükü arttıkça artar, bu da yanma sürecinin daha etkili olmasını sağlar ve sonucunda CO₂ emisyonlarının artmasına neden olur [160].

Yapılan deneyler neticesinde minimum CO₂ emisyon değeri 500 Watt yükte %3,424 oranla D100 yakıtında elde edilmiştir. MgO nanopartikül katkılı karışımlarda ise minimum CO₂ emisyon değeri 500 Watt yükte %3,756 oranla D100MgO20 ppm

yakıtında görülmüştür. Dizel yakıtına göre CO₂ emisyonundaki en fazla artma %17,81 oranı ile 1000 Watt yükte D100MgO40 yakıtında, 1500 Watt yükte ise D100MgO20 ve D100MgO40 yakıtları ile gerçekleşmiştir. Dizel yakıtına göre, MgO nanopartikül katkıları yakıtların tamamında CO₂ emisyon değeri artmıştır. Yapılan deneylerde CO₂'in artmaya olan eğilimi hem motor yüklerinin artışı ile hem de dizel yakıtına eklenen MgO nanopartikülünün oranlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. CO₂ emisyonunun bir tam yanma ürünü olması ve MgO ilavesinin tam yanma oranını artırması neticesinde MgO kullanımı ile CO₂ emisyonu artış göstermiştir.

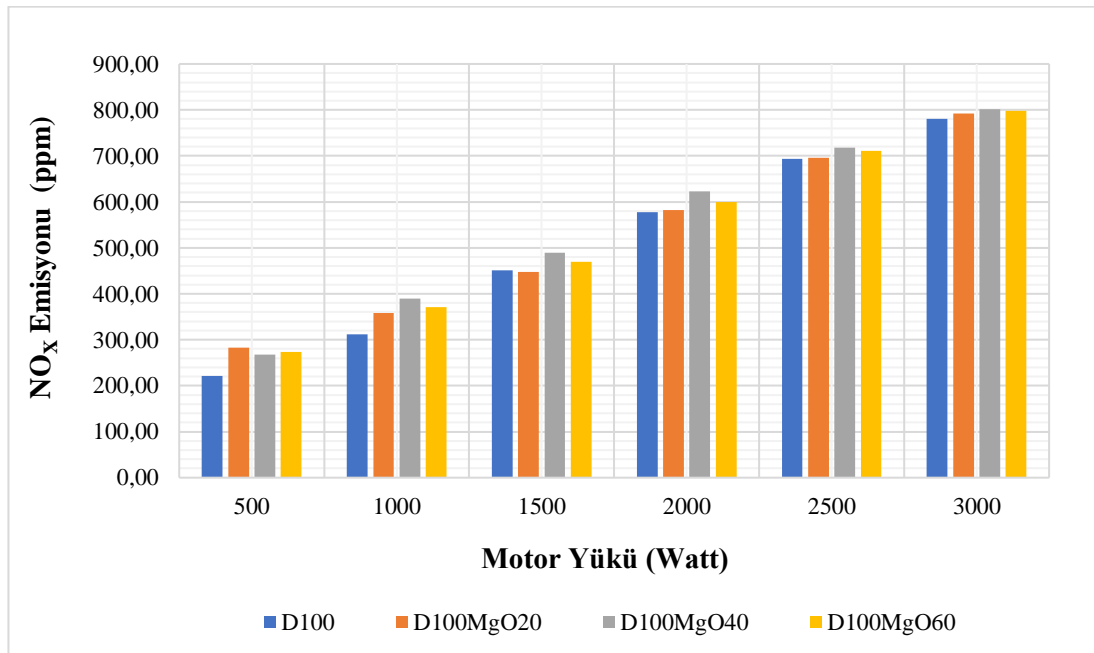


Şekil 7.4. CO₂ emisyonunun farklı yüklere bağlı olarak değişimi

7.2.4. NO_x Emisyonları

Yanma prosesi sırasında, yüksek sıcaklıklarda azotun oksijenle etkileşime girmesi, NO ve NO₂ gibi emisyonların meydana gelmesine neden olur. Bu emisyonlar genel olarak NO_x olarak adlandırılır. NO_x oluşumu, silindir içindeki sıcaklık, basınç, tutuşma gecikmesi ve yanma süresi gibi faktörlere büyük ölçüde bağlı olmakla birlikte kontrolsüz yanma aşamasında meydana gelmektedir. Yapılan araştırmalar neticesinde özellikle silindir içindeki sıcaklığın NO_x oluşumunu doğrudan etkilediğini ve sıcaklık arttıkça NO_x değerlerinin de arttığı belirtilmiştir [64,161].

Şekil 7.5'te dizel yakıtı ve MgO nanoparçacık katkılı yakıtların farklı yüklerde NO_x emisyonuna etkisi verilmiştir. Yapılan deneylerde, minimum NO_x emisyon değeri 500 Watt yükte 221,67 ppm olarak D100 yakıtında elde edilmiştir. MgO nanopartikül katkılı yakıt karışımlarında ise minimum NO_x emisyon değeri 500 Watt yükte 268,00 ppm olarak D100MgO40 yakıtında görülmüştür. 1500 Watt yükte ise D100 yakıtında NO_x emisyonu 451 ppm olurken D100MgO20, D100MgO40 ve D100MgO60 yakıtlarında NO_x emisyonları sırasıyla 447,33 ppm, 489 ppm ve 470 ppm olmuştur. D100 yakıtına kıyasla yüzdesel olarak sırasıyla %0,81 oranında azalma, %8,42 ve %4,21 oranlarında artma belirlenmiştir. Yapılan incelemelerde, NO_x emisyonlarının artış eğiliminin, motor yükünün artışıyla birlikte olduğu kadar dizel yakıtına eklenen MgO nanopartikül oranlarına bağlı olarak da değişim gösterdiği gözlemlenmiştir. Tüm test yakıtlarında motor yükünün artırılması, silindir içi sıcaklıkların yükselmesine katkıda bulunduğundan NO_x emisyonlarının artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, MgO katkı maddesinin oksidasyon sürecini geliştiren katalitik etkisi, NO_x emisyonlarını artırıcı etki göstermiştir. MgO nanopartikül katkı maddesinin atomizasyonu iyileştirmesi ve içerdiği oksijen miktarı, silindir içi gaz sıcaklıklarını artırarak daha yüksek egzoz gazı sıcaklıklarına sebep olduğundan NO_x emisyonları artmaktadır [37,162].

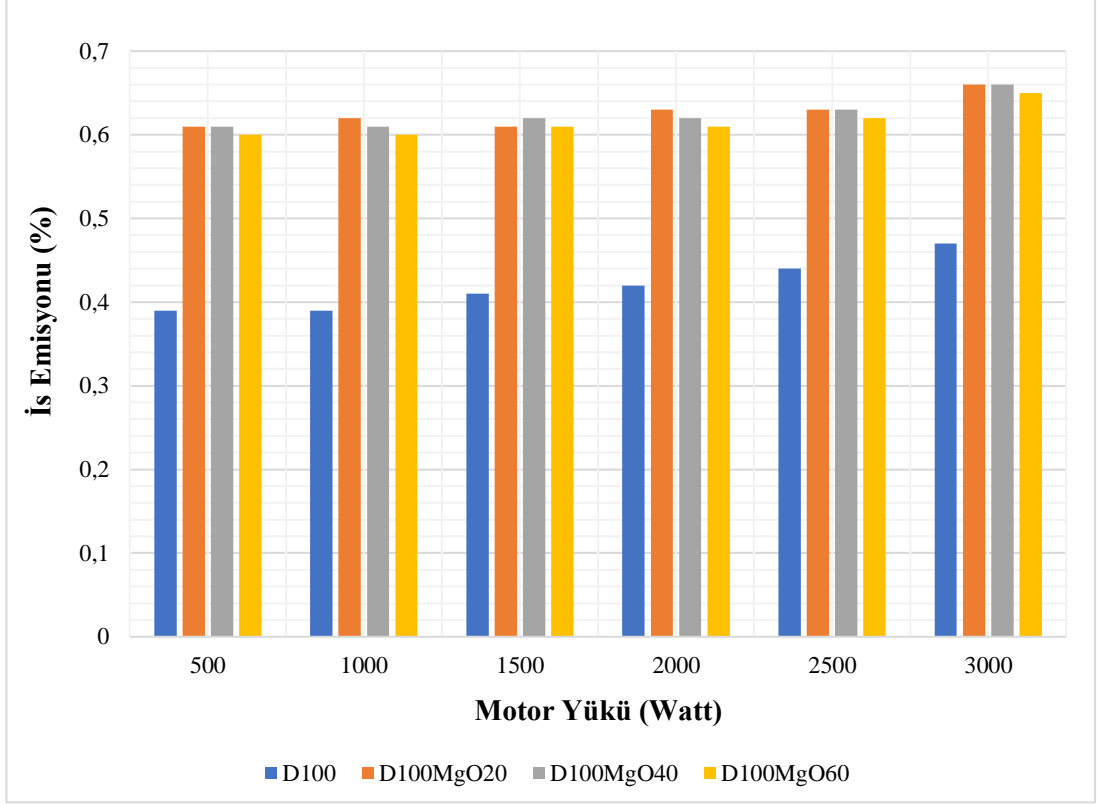


Şekil 7.5. NO_x emisyonunun farklı yüklerle bağlı olarak değişimi

7.2.5. İS Emisyonları

İs emisyonu, özellikle hidrokarbon içeren yakıtların yeteri kadar oksijenle reaksiyona girememesi sonucunda ortaya çıkan bir emisyondur. Dizel motorlarda, yakıt silindiri içine püskürtüldüğünde, yakıtta bulunan H_2 molekülleri, silindir içinde bulunan O_2 molekülleri ile hızla reaksiyona girer. Ancak, geriye kalan C molekülleri yeterli oksijen bulamaz ve is partikülleri halinde atmosfere salınmaktadır. Yakıt içerisindeki karbon miktarına göre de is emisyon miktarı değişebilmektedir [163]. Egzoz gazlarındaki partikül (is) yoğunluğu yanma sürecine, oksijen seviyesine ve yakıtın enjekte edilmeden önceki miktarına bağlıdır. Egzoz gazlarında partikül birikimi, yakıtın tam olarak yanmadığının işaretidir. Özellikle dizel motorlarda hidrokarbonların tam olarak yanmaması, egzozdaki kurum partiküllerinin birleşerek büyümesine yol açar ve bu durumda is emisyonunu artıran bir diğer önemli faktördür [164].

Şekil 7.6'da dizel yakıtı, D100MgO20, D100MgO40 ve D100MgO60 yakıtlarının farklı yüklerde is emisyonuna etkisi verilmiştir. İS emisyonunun artmaya olan eğilimi hem motor yükünün artışı ile hem de dizel yakıtına eklenen MgO nanopartikülünün oranlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Yapılan deneyler neticesinde minimum is emisyon değeri 500 Watt ve 1000W yükte %0,39 oranla D100 yakıtında elde edilmiştir. MgO nanopartikül katkılı karışımlarda ise minimum is emisyon değeri 500 Watt ve 1000 Watt yükte %0,6 oranla D100MgO60 yakıtında görülmüştür. 1500 Watt motor yükünde D100 yakıtına kıyasla D100MgO20, D100MgO40 ve D100MgO60 yakıtlarındaki is emisyonlarındaki değişim sırasıyla %48,78, %52,21 ve %48,78 oranlarında artma olarak belirlenmiştir. Dizel yakıtına göre is emisyonundaki en fazla artma %58,97 oranı ile 1000 Watt yükte D100MgO20 ve D100MgO60 yakıtlarında gerçekleşmiştir. İS emisyonları, düşük motor yüklerinde düşük seviyelerde seyrederken, motorun yüklenmesiyle birlikte artış gösterir. Bu durum, dizel motorlarda genellikle emilen hava miktarının sabit olmasına rağmen motor yükü artırıldıkça püskürtülen yakıt miktarı artar ve böylece yakıt ile havanın homojen bir şekilde karışmaması ve yakıtın giderek daha az oksijen bulmasından kaynaklanmaktadır [165].



Şekil 7.6. İş emisyonunun farklı yüklere bağlı olarak değişimi

BÖLÜM 8

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu deneysel çalışmada, farklı miktarlarda MgO nano parçacığının dizel yakıtı içerisine ilave edilmesinin tek silindirli, hava soğutmalı, dört zamanlı bir motorda, farklı motor yüklerinde etkileri incelenmiştir. MgO nano parçacığı 20 ppm, 40 ppm ve 60 ppm miktarlarında dizel yakıtı içerisine ilave edilmiş ve manyetik karıştırıcıyla homojen bir şekilde karıştırılmıştır. Motor performansı açısından ÖYT dikkate alınırken, egzoz emisyonları açısından ise CO, HC, CO₂, NO_x ve is değişkenlerinin analizi yapılmıştır. Bu çalışmada elde edilen önemli sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- En düşük ÖYT değeri dizel yakıtıyla elde edilmiştir. ÖYT, saf dizel yakıtına eklenen MgO katkı maddesi miktarı arttıkça artmıştır. Tüm yakıt türleri arasında en düşük ÖYT değeri dizel yakıtı kullanıldığında, en yüksek ÖYT değeri ise D100MgO20 yakıtı kullanıldığında elde edilmiştir. Motor yükü artırılarak devam edilen çalışma sonucunda ise minimum ÖYT değeri, 2000 Watt yükte elde edilmiştir. D100 yakıtında 261,82 g/kWh olarak elde edilirken, MgO ilave edilen D100MgO20, D100MgO40 ve D100MgO60 yakıtlarında ise minimum ÖYT değeri sırasıyla 327,27, 311,69 ve 288,45 g/kWh olmuştur.
- D100MgO20, D100MgO40 ve D100MgO60 yakıtlarının tamamında CO emisyonunda ciddi oranlarda azalma gerçekleşmiştir. Söz konusu yakıtlar içerisinde O₂ içeriğinden dolayı CO emisyonunda iyileşmeler olmuştur. MgO nanoparçacıkları katkı olarak kullanıldığında, yakıtın daha etkili bir şekilde yanmasını teşvik ettiğinden CO emisyonlarının azalmasına katkı sağlamaktadır. Maksimum CO emisyonu azalışı D100MgO40 yakıtında 1500W yükte %59,21 ile gerçekleşmiştir.

- MgO nanoparçacık katkısı, oksijen içeriği sayesinde tam oranını artırmaktadır. HC emisyonları da yanma kalitesi ile ilişkili olduğundan MgO kullanımı ile motorun tüm çalışma yüklerinde dizel yakıtı kullanımına göre azalma göstermiştir. Minimum HC emisyon miktarı D100 yakıtına göre 7 ppm ile %43,22 oranında azalarak D100MgO20 ve D100MgO60 yakıtlarında elde edilmiştir.
- MgO nanopartikül katkısının tam yanma oranını artırmasına bağlı olarak CO₂ emisyon değeri artmıştır. Maksimum CO₂ emisyon artış oranı %17,81 ile D100MgO20 ve D100MgO40 yakıtlarında elde edilirken minimum CO₂ emisyon artış oranı ise %10,05 ile D100MgO60 yakıtında elde edilmiştir.
- Dizel yakıtına MgO nanopartikül katkı maddesinin ilave edilmesi ile NO_x emisyonlarında artış görülmüştür. MgO nanopartikül katkı maddesi, içerdiği fazla oksijen nedeniyle yanma sürecini iyileştirir ve beraberinde silindir içi yanma sıcaklıklarını da yükseltmektedir. Bu durum NO_x emisyonlarında gözlemlenen bir artışı beraberinde getirmektedir. Ayrıca, motorun yükü artırıldıkça bütün test yakıtlarında artış devam etmiştir. MgO katkılı yakıt karışımlarında minimum NO_x emisyonu D100MgO40 yakıtında 500W motor yükünde 268 ppm olarak ölçülürken, maksimum NO_x emisyonu ise 3000W motor yükte 798 ppm ile D100MgO60 yakıtında elde edilmiştir. 1500W yükte D100 yakıtına kıyasla en düşük NO_x emisyonu D100MgO20 yakıtında %0,81 azalma ile 447,33 ppm olarak elde edilmiştir.
- İS emisyonlarında motorun tüm çalışma yüklerinde dizel yakıt değerlerine göre MgO katkılı yakıt karışımların değerleri artış gözlemlenmiştir. Bu durum, yakıt ile havanın homojen bir şekilde karışamaması ve yakıtın giderek daha az oksijen bulmasından kaynaklanmaktadır. Minimum İS emisyon değeri dizel yakıtta %0,39 oranında ölçülürken, MgO ilaveli yakıt karışımları arasında D100MgO60 yakıtında %0,6 olarak belirlenmiştir. Dizel yakıtı kıyasla maksimum İS emisyon artış oranı %58,97 ile 1000W yükte D100MgO20 ve D100MgO60 yakıtlarında elde edilirken minimum İS emisyon artış oranı ise %38,29 ile 3000W yükte D100MgO60 yakıtında elde edilmiştir.

İçten yanmalı motorların emniyetli ve verimli çalışması için, yanma olaylarını etkileyen tutuşma gecikmesi, yanıcılık sınırları, sıcaklık profilleri ve basınç değişimleri gibi kritik parametrelerin anlaşılması gereklidir. Bu faktörlerin doğru yönetimi, motor teknolojisinin geliştirilmesi ve yeni ekipman tasarımında önemli bir rol oynamaktadır. Yanma sürecinin dikkatlice kontrol edilmesi, enerji verimliliğini artırabilir ve emisyonları azaltabilir. Kısacası, yanma parametrelerinin bilinçli bir şekilde ele alınması, içten yanmalı motorların güvenli ve etkili performansını sağlamada temel bir faktördür. Bu nedenden dolayı deneysel tez çalışmasının sonuçları incelendiğinde, elde edilen verilere dayanarak aşağıdaki önerilerde bulunulabilir:

- Motor yüklerinin çeşitlendirilmesi veya sayısının artırılmasıyla ilgili deneysel çalışmalar yapılabilir ve incelenebilir.
- Dizel yakıtına farklı nano parçacık boyutları eklenerek elde edilecek dizel ve MgO yakıt karışımlarının kullanıldığı deneysel çalışmalar gerçekleştirilerek, elde edilen verilerle motor performansına olan etkileri detaylı bir şekilde analiz edilebilir.
- Emisyon profilleri ve motor performansı üzerindeki etkilerini anlamak için püskürtme basıncı ve püskürtme zamanlamasının değiştirilmesi ile ilgili deneysel çalışmalar yapılabilir.
- Bu çalışmada kullanılan MgO nanopartikül katkısıyla üretilen yakıt karışımlarının, uzun vadeli kullanımları sürecinde hareketli parçalara olan etkilerini değerlendirmek amacıyla detaylı incelemeler gerçekleştirilebilir.
- Silindir içi sıcaklığın yükselmesine bağlı olarak NO_x emisyonlarını artırıcı etkisi göz önüne alındığında, performansı minimum düzeyde etkileyecek bir alkollü veya biyodizel katkı maddesinin yakıt karışımına ilave edilmesi önerilebilir.

KAYNAKLAR

1. Erdoğan, S., “Enerji, Çevre ve Sera Gazları”, *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(1): 277-303 (2020).
2. Turkenburg, W. C., Faaij, A., "Energy and the Challenge of Sustainability", *Renewable Energy Technologies*, Goldemberg, J., New York: UNDP, 219-272 (2000).
3. Aydın, M., “Enerji Verimliliğinin Sürdürülebilir Kalkınmadaki Rolü: Türkiye Değerlendirmesi”, *Yönetim Bilimleri Dergisi*, 14(28): 409-441 (2016).
4. Pamir, N., “Küreselleşmenin Enerji Sektöründe Yapısal Değişim Programı ve Enerji Politikaları”, *Enerji Politikaları ve Küresel Gelişmeler, V. Enerji Sempozyumu*, Ankara, 67 (2005).
5. Çukurçayır, M. A., Sağır, H., “Enerji Sorunu, Çevre Ve Alternatif Enerji Kaynakları”, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (20): 257-278 (2008).
6. Çelik, M., “Dizel Motorlarda Performans ve Egzoz Emisyonlarının n-hexadecane Katkı Maddesi ile İyileştirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 701-706, (2018).
7. Shahid, E. M., Jamal, Y., "A Review Of Biodiesel As Vehicular Fuel", *Renewable&Sustainable Energy Reviews*, 12 (9): 2484-2494 (2008).
8. Ors, İ., Kahraman, A., Ciniviz, M., “Effects on performance, emission and combustion parameters of addition biodiesel and bioethanol into diesel fuel”, *International Journal of Automotive*, 6(4): 148-156, (2017).
9. Duda, K., Wierzbicki, S., Smieja, M., and Mikulski, M., “Comparison of performance and emissions of a CRDI diesel engine fuelled with biodiesel of different origin”, *International Journal For Technological Research In Engineering*, (212): 202-222 (2018).
10. Sezer, İ., Bilgin, A., "Farklı Çalışma Koşullarında Dietil Eter- Dizel Yakıt Karışımlarının Motor Performansına Etkilerinin İncelenmesi", *TMMOB MMO Mühendis ve Makine Dergisi*, 53(631): 42-29 (2012).
11. Silambarasan, R., Senthil, R., "Effects of nano additives on performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with Annona methyl ester", *Taylor & Francis Online-Biofuels*, 7 (3): 271-277 (2016).

12. Silambarasan, R., Senthil, R., "Effects of nano additives on performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with Annona methyl ester", *Taylor & Francis Online-Biofuels*, 7 (3): 271-277 (2016).
13. Venu, H., Madhavan, M., "Influence of diethyl ether (DEE) addition in ethanol-biodiesel-diesel (EBD) and methanol-biodiesel-diesel (MBD) blends in a diesel engine", *International Journal For Technological Research In Engineering*, 189: 377-390 (2017).
14. Bingül, A., Karaca, C., "Türkiye’de Fosil Enerji Bağımlılığının Neden Olduğu Ekonomik ve Çevresel Maliyetler", *Uluslararası İktisadi ve İdari Bilimler Kongresi*, Şırnak, 212-221 (2019).
15. Akay, F., "Atık zeytinyağından elde edilen biyodizelin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkileri" Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon (2017).
16. Buyukkaya, E., "Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics", *International Journal For Technological Research In Engineering*, 89(10): 3099-3105 (2010).
17. El-Seesy, A. I., Nour, M., Attia, A. M. A., He, Z., and Hassan, H., "Investigation the effect of adding graphene oxide into diesel/higher alcohols blends on a diesel engine performance", *International Journal of Green Energy*, 17(3), 233–253 (2020).
18. Tan, P. Q., Hu, Z. Y., Lou, D. M, and Li, Z. J., "Exhaust emissions from a light-duty diesel engine with Jatropha biodiesel fuel", *International Journal For Technological Research In Engineering*, 39(1): 356-362 (2012).
19. Shi, X., Pang, X., Mu, Y., He, H., Shuai, S., Wang, J. and Li, R. "Emission reduction potential of using ethanol–biodiesel–diesel fuel blend on a heavy-duty diesel engine", *Atmospheric Environment*, 40(14): 2567-2574 (2006).
20. Kaydırak, T., "Aşırı Doldurulmalı Bir Dizel Motorunda Farklı Oranlarda Biyodizel Kullanımının 1. Ve 2. Kanuna Göre Analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Sakarya (2019).
21. S, Radhakrishnan., DB, Munuswamy., Y, Devarajan ve A., Mahalingam., "Effect of Nanoparticle on Emission and Performance Characteristics of a Diesel Engine Fueled With Cashew Nut Shell Biodiesel. Energy Sources," *Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 40(20): 2485-2493 (2018).
22. Özgür, T., Özcanlı, M., ve Aydın, K., "Investigation of Nanoparticle Additives to Biodiesel For Improvement of The Performance and Exhaust Emissions in a Compression İgnition Engine," *International journal of green energy*, 12(1): 51-56 (2015).

23. Keskin, A., Guru, M., and Altıparmak, D., "Influence of tall oil biodiesel with Mg and Mo based fuel additives on diesel engine performance and emission", *Bioresource Technology*, 99: 6434-6438. (2008).
24. Sajith, V., Sobhan, C.B., and Peterson, G.P., "Experimental Investigations on the Effects of Cerium Oxide Nanoparticle Fuel Additives on Biodiesel", *Advances in Mechanical Engineering*, 6 (2010).
25. Örs, I., Sarikoç, S., AE, Ünalın, A.S., ve Akansu, S.O., "The effects on Performance, Combustion and Emission Characteristics of DICl Engine Fuelled with TiO₂ Nanoparticles Addition in Diesel/Biodiesel/n-Butanol Blends," *Fuel*, (234): 177-188, (2018).
26. Yogaraj, D., Mohamed Iqbal S., Gokulakrishna R., and Meikandan M., "Performance test and emission characteristics of diesel engine with alternate fuel blends and nano additives", *International Journal of Ambient Energy*, 42(7): 725-729 (2019).
27. Bafghi, A.A.T., Bakhoda, H., and Chegeni, F. K., "Effects of Cerium Oxide Nanoparticle Addition in Diesel and Diesel-Biodiesel Blends on the Performance Characteristics of a CI Engine", *International Journal of Mechanical and Mechatronics Engineering*, 9 (8): 1507-1512 (2015).
28. Selvan, V.A.M., Anand, R.B., Udayakumar, M., "Effects of cerium oxide nanoparticle addition in diesel and diesel-biodiesel-ethanol blends on the performance and emission characteristics of a CI engine", *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4(7): 1819-6608 (2009).
29. Ranaware, A.A., Satpue, S.T., "Correlation between Effects of Cerium Oxide Nanoparticles and Ferrofluid on the Performance and Emission Characteristics of a C.I. Engine", *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 55-59 (2013).
30. Çınar, G., Akyüz, O., "Cu₂O ve Al₂O₃ Nanopartiküllerin Motor Performans ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi", *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34): 53-61 (2022).
31. Khulief, S., ve Aboul-Fotouh, T.M., "Experimental Investigation of Upgraded Diesel Fuel with Copper Oxide Nanoparticles on Performance and Emissions Characteristics of Diesel Engine", *Journal of Energy and Power Engineering*, 551-552 (2017).
32. Çelik M., Solmaz H. and Yücesu H.S., "Examination of the effects of organic based manganese fuel additive on combustion and engine performance", *Fuel Process Technology*, 139: 100-107, (2015).
33. Mandal, S., Kanagaraj, S., "Reduction of Emission in a Diesel Engine Using Nanofuel-Ceria Nanoparticle Dispersed Diesel", *Journal of ASTM International*, 9(5):104424 (2012).

34. Keskin, A., Gür, A., ve Altıparmak, D., “Influence of metallic based fuel additives on performance and exhaust emissions of diesel engine”, *Energy Conversion and Management* 52(1): 60-65 (2011).
35. Mehta, R.N., Chakraborty, M., and Parikh, P.A., “Nanofuels: Combustion, engine performance and emissions”, *Fuel*, 120: 91–97 (2014).
36. Bello, Y.H., Ookawara, S.A., Ahmed, M.A., El-Khouly, M.A., Elmehasseb, I.M., El-Shafai, N.M., and Elwardany, A.E., “Investigating the engine performance, emissions and soot characteristics of CI engine fueled with diesel fuel loaded with graphene oxide-titanium dioxide nanocomposites”, *Fuel*, 269(4): 117436 (2020).
37. Ahmed, A., Shah, A.N., Azam, A., Uddin, G.M., Ali, M.S., Hassan, S. and Aslam, T., “Environment-friendly novel fuel additives: Investigation of the effects of graphite nanoparticles on performance and regulated gaseous emissions of CI engine”, *Energy Conversion and Management*, 211: 112748 (2020).
38. Chen, A.F., Adzmi, M.A., Adam, A., Othman, M.F., Kamaruzzaman M.K. and Mrwan, A.G., "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 (2018).
39. Mei, D., Zuo, L., Adu-Mensah, D., Li, X. and Yuan, Y., “Combustion characteristics and emissions of a common rail diesel engine using nanoparticle-diesel blends with carbon nanotube and molybdenum trioxide”, *Applied Thermal Engineering*, 162: 114238. (2019).
40. Saraee, H.S., Taghavifar, H. and Jafarmadar, S., "Experimental and numerical consideration of the effect of CeO₂ nanoparticles on diesel engine performance and exhaust emission with the aid of artificial neural network", *Applied Thermal Engineering*, 113: 663-672 (2017).
41. Chaichan, M.T., Kadhum, A.A.H. and Al-Amiery, A.A., "Novel technique for enhancement of diesel fuel: Impact of aqueous alumina nano-fluid on engine's performance and emissions", *Case Studies in Thermal Engineering*, 10: 611-620 (2017).
42. D'Silva, R., Binu K. G., Bhat T., "Performance and emission characteristics of a C.I. engine fuelled with diesel and TiO₂ nanoparticles as fuel additive", *Materials Today: Proceedings*, 2 (4-5): 3728-3735 (2015).
43. Salmani, M.H., Sharma, R.C., Kumar, H. and Dhingra M., "Effect of used transformer oil on efficiency of compression ignition engine", *International Journal for Technological Research in Engineering*, 2(7): 786-791 (2015).

44. Jiao, Y., Liu, R., Zhang, Z., Dong, S., Yang, C. and Ren., L., "Review on the physicochemical, spray characteristics and chemical reaction mechanism of F-T diesel-methanol-diesel-biodiesel blended alternative fuels." *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 227 (2019).
45. Polat S., "Alternatif motorlar ve yakıtlar" Hitit Üniversitesi Meslek Yüksekokulu, *MEGEP*, 1-93 (2011).
46. Hazar, H., Oner, C., "Dizel ve Benzin Motorlarında Vuruntu ve Etkileri", **Fırat Üniversitesi Doğu Araştırmaları Dergisi**, 3(1): 169-172 (2004).
47. Heywood, J.B., "Internal Combustion Engine Fundamentals", **McGraw-Hill**, New York, 45-547 (1988).
48. Borat, O., Balcı, M. Ve Sürmen A., "İçten Yanmalı Motorlar Cilt 1", **Teknik Eğitim Vakfı**, Bursa, 260-263 (1994).
49. Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, E. ve Soruşbay C., "İçten Yanmalı Motorlar", **Birsen Yayın Evi**, İstanbul, 58-133 (1995).
50. Toksöz, S., "Bir Dizel Motorunda Yanma Olayının Analizi", Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, (2010).
51. Okcu, M., "Reaktivite kontrollü sıkıştırma ateşlemeli motorlarda düşük sıcaklıklı yanmanın yanma karakteristikleri ve kirletici emisyonlara etkilerinin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi", Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, (2021).
52. Challen, B., Baranescu, R., "Diesel Engine Reference Book Second Edition", Butterworth-Heinemann, Oxford, 100-102 (1999).
53. Ergen, G., "Ön ısıtma uygulanarak kullanılan biyodizel yakıtının motor performans ve emisyonlarına etkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, (2006).
54. Raşidova, A., "Vibe Fonksiyonu Kullanılarak Dizel Motorlarında Yanma Hızının Gürültü Emisyonuna Etkisinin İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2003).
55. Aytaç, Z., İlkılıç, C., "Dizel motorlarında zararlı egzoz emisyonlarının azaltılmasının araştırılması", *4th International Symposium on Innovative Approaches in Engineering and Natural Sciences*, 4(6): 520-528 (2019).
56. Çelik, M., "Biyodizel yakıt özelliklerinin motor performansı ve emisyon karakteristiklerine etkilerinin incelenmesi", Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara (2015).

57. Uslu S., “Düşük Güçlü Bir Dizel Motorda Dietil Eter Kullanılmasının Motor Parametrelerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük (2015).
58. Akbal, O., “Ağır Ticari Taşıt Dizel Motoru SCR Sisteminin Sıcaklık Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (2013).
59. Parlak, F.O., “Dizel Motor Emisyon Düzenlemeleri İçin LNT’ nin Matematiksel Olarak Modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü**, İstanbul (2017).
60. Öztürk, H.A.T., “İstanbul Şehir çevriminin ABD ve Avrupa test çevrimleri ile emisyon faktörleri ve yakıt tüketimi açısından deneysel olarak karşılaştırılması” Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, (1996).
61. İlkılıç, C., “Çeşitli alternatif yakıtların dizel motoru emisyonlarına etkilerinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi”, Doktora Tezi, **Firat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, (1999).
62. Sarıkoç, S., “Biyodizel-bütanol-dizel karışımlarına hidrojen ve titanyum dioksit ilavesinin performans ve emisyon parametrelerine etkilerinin araştırılması”, Doktora Tezi, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kayseri (2019).
63. Yüksel, S.M., “Aspir yağı metil ve etil esterlerinin dizel motorlarda performans, yanma ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Batman (2017).
64. Aslan, V., “Üretiminde farklı alkoller ve katalizörler kullanılan biyodizellerin yakıt özellikleri, motor performansları ve egzoz emisyonlarının incelenmesi”, Doktora Tezi, **Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Yozgat (2019).
65. Vezir, A., "Bir dizel motorunda buhar enjeksiyonunun NOx ve is emisyonlarına etkisinin araştırılması", Doktora Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, (2009).
66. Doğan, O., “Atık Taşıt Lastiğinden Üretilen Pirolitik Yakıtın Bir Dizel Motorda Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması”, Doktora Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, (2012).
67. Orak, E., "Tek silindirli dizel motorlarda emme portuna su püskürtmenin, performans ve emisyona etkilerinin araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 36 (2011).
68. Soruşbay, C., “İçten Yanmalı Motorlarda Egzoz Gazları Emisyonu”, **İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları**, İstanbul, (1989).

69. Yılmaz, H., "Dizel motorlarda püskürtme stratejisinin performans ve emisyonlara etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2019).
70. Coşkun., N. Y., "Dizel Motorlarda Kirletici Emisyonların Düşürülmesi İçin Egzoz Sisteminin Tasarımı ve Analizi", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, (2017).
71. Aydoğan B., "Biyodizel Kullanılan Dizel Motorlarda NOX Emisyonlarının ve NOX Emisyonları Azaltma Yöntemlerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli (2008).
72. Yeşilyurt, M.K., Yilbasi, Z. and Aydın, M., "The performance, emissions, and combustion characteristics of an unmodified diesel engine running on the ternary blends of pentanol / safflower oil biodiesel / diesel fuel", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 140(1) (2020).
73. Mekaoussi, M., "Evaluation, Characterization and Engine Performance Of Complementary Fuel Blends Of Butanol-Biodiesel-Diesel Blends From Aleurites Moluccanus As Potential Alternative Fuels For CI Engines," Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri (2017).
74. Şimşek S. "Pirolize Edilmiş Lastik Yağı Kullanılarak Elde Edilen Yakıtın Tek Silindirli Dizel Motor Performans ve Emisyonlara Etkisi" *Mühendislikte Yakıtlar, Yangın ve Yanma Dergisi*, (8): 28-36, (2020).
75. Erdöl, E., "Enjektör parametrelerinin motor egzoz emisyonlarına etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği*, İstanbul, (2007).
76. Afşar, M., "Bir Dizel Motorda Atık Biodizel Kullanımının Performans, Emisyon ve Yanma Karakteristiklerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 24, (2015).
77. Uzun, S., "Atık lastikten elde edilen pirolitik yakıtın motor performans ve emisyonlarına etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Karabük (2020).
78. Bosch, R., "Automotive handbook", *Robert Bosch GmbH, Plochingen, 7. Edition*, 313-314 (2007).
79. Svensson, K.I., "Effects of fuel molecular structure and composition, on soot formation in direct-injection spray flames", *PhD. Thesis, Brigham Young University, Department of Mechanical Engineering*, USA, 1-160 (2005).
80. Yang, H. H, Chen, H. W., Chen, C. B, and Chien, S. M., "Effect of fuel properties on particulate matter and polycyclic aromatic hydrocarbon emission from diesel engine in Taiwan", *International Journal of Applied Science and Engineering*, 3(1): 27-36 (2005).

81. Karaman N., Akansu S.O. ve Albayrak B., “İçten Yanmalı Motorlarda Alternatif Yakıt Olarak Hidrojen Kullanılması” *Mühendis ve Makina Dergisi*, 48-569 (2007).
82. Fırat, M., Okcu, M. ve Varol, Y., “Dizel Motorlarda Yakıtta Hidrojen Katkısının Yanma, Performans ve Emisyonlar Üzerine Etkilerinin İncelenmesi” *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29(1): 101-107 (2017).
83. Gündüz, İ., “Etanol katkılı atık kızartma yağlarının bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, (2017).
84. Ickes, A. M., "Fuel property impact on a premixed diesel combustion mode", *PhD. Thesis, University of Michigan, Department of Mechanical Engineering*, USA, 1-148 (2009).
85. Vural., E., “Küçük hacimli direk püskürtmeli bir dizel motorunda püskürtme avansının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2009).
86. Arslan A.B., “Dizel Yakıtı İçerisine Ceo2 Nano Parçacık İlavesinin Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2022).
87. Gürü M., Karakaya, U., Altıparmak, D., Alıcılar, A., "Improvement of Diesel fuel properties by using additives", *Energy Conversion and Management*, 43(8): 1021-1025 (2002).
88. Mutlu, E., “Dizel Yakıtı, Kanola Yağı ve Fındık Yağı Metil Esterlerinin Dizel Motor Performansına ve Emisyonlarına Etkilerinin Deneysel İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2010).
89. Ergenç, A. T., “Biyodizel yakıt ile çalışan motordaki püskürtmenin performans ve emisyon yönünden optimizasyonu”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 12-13 (2009).
90. Tillem, İ., “Dizel motorlar için alternatif yakıt olarak biyodizel üretimi ve kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2005).
91. Yamık, H., “Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkanlarının Araştırılması”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2002).
92. Kumar, A. S., Maheswar, D., and Reddy, K. V. K., "Comparision of diesel engine performance and emissions from neat and transesterified cotton seed

- oil", *Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering*, 3(3): 190-197 (2009).
93. Lenin, M.A., Swaminathan M.R. and Kumaresan, G., "Performance and emission characteristics of a DI diesel engine with a nanofuel additive", *Fuel*, 109: 362-365 (2013).
 94. Çavgun, E., "Çift yakıtlı bir dizel motorda sıkıştırma oranının LPG kullanımına etkilerinin deneysel olarak araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman (2019).
 95. Hanedar, E., "Pirolitik yakıt ve alkol katkılarının dizel bir motorda yanmaya ve emisyonlara olan etkileri", Yüksek Lisans Tezi, *Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Düzce (2021).
 96. Oh, S. K., Baik, D. S., and Han, Y. C., "Emission characteristics in ultra low sulfur diesel", *International Journal of Automotive Technology*, 4 (2): 95-100 (2003).
 97. Hacıkadiroğlu, H., "Bitkisel Yağ Esterleri – Motorin Karışımının Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 37-41 (2007).
 98. Örs, A. "Biyodizel Bütanol Karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2016).
 99. Özer, S., "Bütanol kullanımının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2010).
 100. Ejder, S. B. "Etanol-dizel, biyodizel-dizel yakıt karışımlarının kullanımının motor performansına etkilerinin deneysel araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2007).
 101. Eskici, B., "Dizel Bir Motorda Biodizel Yakıt Kullanımının Yanma Prosesi ve Motor Tribolojisi Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas (2019).
 102. Pireli, E., "Biodizel ve Dizel Yakıtı ile Çalışan Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Püskürtme Basıncının Performansa Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi*, Zonguldak, (2006).
 103. Altın, R., "Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (1998).
 104. Gürmen, S., and Ebin, B., "Nanopartiküller ve üretim yöntemleri", 1. *Metalurji Dergisi*, 150: 31–38. (2008).

105. Dong, W., Zhu, C., “Optical properties of surface-modified CdO nanoparticles”, *Optical Materials*, 22(3): 227–233 (2003).
106. Liveri, V. T. Controlled synthesis of nanoparticles in microheterogeneous systems, *Springer Science & Business Media*, (2006).
107. Li, H., Zhao, X., MA, Y., Zhai, G., Li, L., & Lou, H., “Enhancement of gastrointestinal absorption of quercetin by solid lipid nanoparticles”, *Journal of Controlled Release*, 133(3): 238-244 (2009).
108. Şimşek, S., “Increasing Cetane Number of the Diesel Fuel by Fuel Additives”, *International Journal of Automotive Science and Technology*, 4(4): 300-306 (2020).
109. Gulzar, M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Varman, M., Zulkifli, N. W. M., Mufti, R. A. and Zahid, R., “Tribological performance of nanoparticles as lubricating oil additives”, *Journal of Nanoparticle Research*, 18(8) (2016).
110. Sriviyas, P. D., and Charoo, M. S., “A review on tribological characterization of lubricants with nano additives for automotive applications” *Tribology in Industry* 40(4), 594–623 (2018).
111. Nanthagopal, K., Kishna, R.S., Atabani, A.E., Al-Muhtaseb, A.H., Kumar, G., and Ashok, B., “A compressive review on the effects of alcohols and nanoparticles as an oxygenated enhancer in compression ignition engine”, *Energy Conversion and Management*, 203, 112244 (2020).
112. Ussa, P., “Tungsten disulfide nanoparticles as lubricant additives for the automotive industry”, PhD Thesis, *University of Lyon*, Lyon, (2016).
113. Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M., Khanali, M. and Demirbas, A., “A comprehensive review on the environmental impacts of diesel/biodiesel additives”, *Energy Conversion and Management*, 174: 579-614 (2018).
114. Çakmak, A., ve Özcan, H., “Benzin için oksijenli yakıt katkıları”, *Politeknik Dergisi*, 21(4): 831-840 (2018).
115. Kumar, M.V., Babu, A.V. and Kumar, P.R., “The impacts on combustion, performance and emissions of biodiesel by using additives in direct injection diesel engine”, *Alexandria Engineering Journal*, 57(1): 509-516 (2018).
116. Ibrahim, K.S., “Carbon nanotubes-properties and applications: a review”, *Carbon Letters*, 14(3): 131–144 (2013).
117. Ealias, A. M., & Saravanakumar, M. P.. “A review on the classification, characterisation, synthesis of nanoparticles and their application”, *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, 263(3): 032019 (2017).

118. Mahajan, P.G., Kolekar, G.B. and Patil, S.R., “Recognition of D-Penicillamine Using Schiff Base Centered Fluorescent Organic Nanoparticles and Application to Medicine Analysis”, *Journal of Fluorescence*, 27(3): 829–839 (2017).
119. Sezer, I., “Nano materyal içerikli katkıların yakıt özelliklerine ve egzoz emisyonlarına etkileri” *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(4): 572–591 (2018).
120. Mandal, B., Bhattacharjee, H., Mittal, N., Sah, H., Balabathula, P., Thoma, L. A. and Wood, G. C., “Core-shell-type lipid-polymer hybrid nanoparticles as a drug delivery platform”, *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine*, 9(4): 474–491 (2013).
121. Wu, Q., Xie, X., Wang, Y., & Roskilly, T., “Effect of carbon coated aluminum nanoparticles as additive to biodiesel-diesel blends on performance and emission characteristics of diesel engine”, *Applied Energy*, 221: 597–604 (2018).
122. Ooi, J. B., Ismail, H. M., Swamy, V., Wang, X., Swain, A. K. and Rajanren, J. R., “Graphite Oxide Nanoparticle as a Diesel Fuel Additive for Cleaner Emissions and Lower Fuel Consumption”, *Energy and Fuels*, 30(2): 1341–1353 (2016).
123. Ooi, J. B., Rajanren, J. R., Ismail, H. M., Swamy, V. and Wang, X., “Improving combustion characteristics of diesel and biodiesel droplets by graphite oxide addition for diesel engine applications”, *International Journal of Energy Research*, 41(14): 2258–2267 (2017).
124. EL-Seesy, A. I., Hassan, H. and Ookawara, S., “Performance, combustion, and emission characteristics of a diesel engine fueled with Jatropa methyl ester and graphene oxide additives”, *Energy Conversion and Management*, 166: 674–686 (2018).
125. Saxena, V., Kumar, N. and Saxena, V.K., “A comprehensive review on combustion and stability aspects of metal nanoparticles and its additive effect on diesel and biodiesel fuelled C.I. engine”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70: 563–588 (2017).
126. Sezer, İ., “Nano materyal içerikli katkıların yakıt özelliklerine ve motor performansına etkileri”, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(2): 569-590 (2018).
127. Geim, A.K., Novoselov, K.S., “The Rise of Graphene”, *Nature Materials*, 6(3): 183–191 (2007).
128. Dörtoğul, C., “Grafen oksitin sentezlenmesi ve karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, (2018).

129. Çetin, Ö., “Nano-Grafen Oksit Katkılı Motor Yağının Tribolojik Özelliklerinin ve Motor Performansına Etkilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, (2021).
130. Zhu, Y., Murali, S., Cai, W., Li, X., Suk, J. W., Potts, J. R. and Ruoff, R. S., “Graphene and graphene oxide: synthesis, properties, and applications.” *Advanced Materials*, 22(35): 3906–3924, (2010).
131. Eti Maden. (2021). Bor oksit ürün teknik bilgi formu. Retrieved from. <https://www.etimaden.gov.tr/storage/pages/March2021/Bor%20OksitCams%C4%B14.pdf>
132. American Elements. (2019). Boron Oxide Particles, Product Datasheet. Erişim Tarihi: 29.10.2023, <https://www.americanelements.com/boron-oxide-particles-1303-86-2>
133. Ojha, P. K., Karmakar, S., “Boron for liquid fuel Engines-A review on synthesis, dispersion stability in liquid fuel, and combustion aspects”, *Progress in Aerospace Sciences*, 100: 18–45 (2018).
134. Alizadeh, M., Sharifianjazi, F., Haghshenasjazi, E., Aghakhani, M. and Rajabi, L., “Production of Nanosized Boron Oxide Powder by High-Energy Ball Milling”, *Synthesis and Reactivity in Inorganic, Metal-Organic, and Nano-Metal Chemistry*, 45(1): 11–14 (2015).
135. Huang, Z., Wu, Q., Li, X., Shang, S., Dai, X. And Yin, Y., “Synthesis and characterization of nano-sized boron powder prepared by plasma torch” *Plasma Science and Technology*, 12(5): 577–580 (2010).
136. Gökgöz, E.E., “Renklendirilmiş organik-TiO₂ ile kaplanmış camların yapısal, optik ve elektriksel özelliklerinin incelenmesi.” Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, (2010).
137. Jayaraman, J., Laskar, I.U.I., Dey, K., Arunkumar, T., Appavu, P. and Joy, N., “Investigation on titanium oxide nano particles as additives for operating biodiesel fuelled engine”, *Materials Today: 60 Proceedings*, (44): 3525-3529 (2021).
138. Nanografi Nano Teknoloji. Bakır oksit ürün bilgi formu. Retrieved from: <https://shop.nanografi.com.tr/bak-r-cu-mikron-tozu-kuresel-safl-k-99-99-boyut-100-me/>
139. Park, B. K., Jeong, S., Kim, D., Moo, J., Lim, S. and Kim, J. S., “Synthesis and size control of monodisperse copper nanoparticles by polyol method”, *Journal of Colloid and Interface Science*, (311): 417– 424 (2007).
140. Tarasov, S., Kolubaev, A., Belyaev, S., Lerner, M. and Tepper, F., “Study of friction reduction by nanocopper additives to motor oil”, *Wear*, (252): 63-69. (2002).

141. Khanna, P. K., Gaikwad, S., Adhyapak, P. V., Singh, N. and Marimuthu, R., "Synthesis and characterization of copper nanoparticles", *Materials Letters*, (61): 4711-4714 (2007).
142. Hong, Z., Cao, Y. and Deng J., "A convenient alcohothermal approach for low temperature synthesis of CuO nanoparticles", *Materials Letters*, (52): 34–38 (2002).
143. Şahin, B., Çomaklı, K., Çomaklı, Ö., Yılmaz, M., "Nanoakışkanlar ile ısı transferinin iyileştirilmesi", *Mühendis & Makine*, 47(559): 29-34 (2006).
144. Marino, E., Huijser, T., Creyghton, Y. and Heijden, A., "Synthesis and coating of copper oxide nanoparticles using atmospheric pressure plasmas", *Surface and Coatings Technology*, (201): 9205-9208 (2007).
145. Aydın, A., "Haşhaş Yağı/Dizel Yakıt Karışımları ile Çalışan Dizel Motora Alüminyum Oksit Maddesi Eklenmesinin Motor Parametrelerine Etkilerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Aydın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, İstanbul, (2022).
146. SÜRER, E., "Dizel-biyodizel karışımına metalik esaslı karbon nanotüp katkı maddesi ilavesinin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2020).
147. Özmen, T., "Alüminyum Oksit Partikül Karakteristiklerinin Parlatma Süspansiyonlarının Özelliklerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, (2016).
148. Çavuşoğlu, Ü., "Magnezyum Matrisli B4C Takviyeli Kompozit Malzeme Üretim", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2013).
149. Bostancı, V.M., "Lastik-Kauçuk Atıklarından Piroliz Yöntemi İle Elde Edilen Karbon Ürünlerinin MgO-Karbon Refrakter Tuğlalarda Kullanılabilirliğinin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, (2017).
150. Rao, K.V., Sunandana, C.S., "Structure and microstructure of combustion synthesized MgO nanoparticles and nanocrystalline MgO thin films synthesized by solution growth route", *Journal of Materials Science*, 43(1):146-154 (2008).
151. Yıldız R., Erdoğan N., "Manyezit ve bazik refrakter malzeme teknolojisi", *Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, Kütahya (1995).
152. Macit, C.K., Özel, C. Ve Gürgeç, T., "Sol-Jel Yöntemiyle Sentezlenen Magnezyum Oksit ve Kadmiyum Oksit Nanoparçacıkların Yapısal ve

Morfolojik Özelliklerinin İncelenmesi”, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 35(2): 911-922 (2023).

153. Ciniviz, M., Haşimoğlu, C., Çınar, C. ve Topgül, T., "Dizel motorlarındaki emme manifoldundaki (CO₂) konsantrasyonu egzoz emisyonlarına etkileri", *7. Uluslararası Yanma Sempozyumu*, Ankara, 217-224 (2002).
154. Kutlar, O.A., Ergeneman, M., Arslan, H. ve Mutlu, M., "Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, (1): 1-111 (1998).
155. Ciniviz, M., Haşimoğlu, C., Çınar, C. ve Topgül, T., "Dizel motorlarındaki emme manifoldundaki (CO₂) konsantrasyonu egzoz emisyonlarına etkileri", *7. Uluslararası Yanma Sempozyumu*, Ankara, 217-224 (2002).
156. Kutlar, O.A., Ergeneman, M., Arslan, H. ve Mutlu, M., "Taşıt Egzozundan Kaynaklanan Kirleticiler", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, (1): 1-111 (1998).
157. Şimşek S., "Effects of biodiesel obtained from Canola , sefflower oils and waste oils on the engine performance and exhaust emissions," *Fuel*, 265(12-15): 117026 (2020).
158. Singh, T. S., Rajak, U., Samuel, O. D., Chaurasiya, P. K., Natarajan, K., Verma, T. N., Nashine, P., "Optimization of performance and emission parameters of direct injection diesel engine fuelled with microalgae *Spirulina* (L.) – Response surface methodology and full factorial method approach", *Fuel*, 285: 119103 (2021).
159. Uslu S. and Çelik M.B., "Combustion and emission characteristics of isoamyl alcohol-gasoline blends in spark ignition engine," *Fuel*, 262 : 116496 (2020).
160. Singh, Y., Sharma, A., Singh, G. K., Singla, A., Singh, N. K., "Optimization of performance and emission parameters of direct injection diesel engine fuelled with pongamia methyl esters-response surface methodology approach", *Industrial Crops and Products*, 126: 218-226 (2018).
161. Canbaz, E., "Kenevir Yağından Elde Edilen Biyodizelin Dizel Motor Parametrelerine Etkilerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2022).
162. Pulkrabek, W. W., "Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine", *Prentice Hall Upper Saddle River*, New Jersey, 50-289 (2004).
163. Özcanlı, M., Keskin, A., ve Aydın, K., "Biodiesel production from terebinth (*pistacia terebinthus*) oil and its usage in diesel engine", *International Journal of GreenEnergy*, 8(5): 518–528 (2011).
164. Kumar, M. S., Kerihuel, A., Belletre, J., and Tazerout, M., "Experimental investigations on the use of preheated animal fat as fuel in a compression ignition engine", *Renewable Energy*, 30(1): 1445-1456 (2005).

165. Sharma, S.K., Das, R.K., ve Sharma, A., “Improvement in performance and emission characteristics of diesel engine fueled with jatropha methyl ester and tyre pyrolysis oil by addition of nano additives”, *The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 38:1907-1920 (2016).
166. Sel, Ö.F., “Atık Biyodizel Kullanılan Bir Motorda Yakıt Katkısının Performans ve Emisyonlara Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2013).

ÖZGEÇMİŞ

Azime KILIÇ ilk öğrenimini ve orta öğrenimini Ankara'da tamamladı. Ege Lisesinden 2013 yılında mezun olduktan sonra 2014 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği programı Raylı Sistemler Mühendisliği bölümünde öğrenimine başladı ve 2019 yılında mezun oldu. 2021 yılında başlamış olduğu Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tezli yüksek lisans programına halen devam etmektedir.