



**PIROLİZ YAĞI/NANO PARÇACIK (B₂O₃)
KARIŞIMLARININ DİZEL MOTOR PERFORMANS
VE EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

**2024
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Tuğba KAYA

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Samet USLU**

**PIROLİZ YAĞI/NANO PARÇACIK (B₂O₃) KARIŞIMLARININ DİZEL
MOTOR PERFORMANS VE EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

Tuğba KAYA

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Samet USLU**

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

**KARABÜK
Ocak 2024**

Tuğba KAYA tarafından hazırlanan “PİROLİZ YAĞI/NANO PARÇACIK (B₂O₃) KARIŞIMLARININ DİZEL MOTOR PERFORMANS VE EMİSYONLARINA 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. Mustafa 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.”

Tuğba KAYA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

PİROLİZ YAĞI/NANO PARÇACIK (B_2O_3) KARIŞIMLARININ DİZEL MOTOR PERFORMANS VE EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Tuğba KAYA

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Samet USLU

Ocak 2024, 80 sayfa

Bu çalışmada, atık kablo pirolizi yağının (AKPY) hacimsel olarak üç farklı oranda (%10, %20 ve %30) dizel yakıtı ile karıştırılmasıyla oluşturulan yakıt karışımları (AKPY10, AKPY20 ve AKPY30) ve dizel olmak üzere dört farklı yakıt kullanılmıştır. AKPY20 yakıtı, motor parametrelerinde diğer yakıtlara oranla daha iyi sonuçlar verdiği için referans olarak seçilmiş ve içerisine bor oksit (B_2O_3) nanopartikülü katılarak üç farklı yakıt (AKPY20BO20, AKPY20BO40 ve AKPY20BO60) elde edilmiş, motor deneyleri 500-3000W aralığında 6 farklı yükte gerçekleştirilmiştir. Motor performansı açısından özgül yakıt tüketimi (ÖYT) ve egzoz emisyonları açısından CO (karbonmonoksit), HC (hidrokarbon), CO_2 (karbondioksit), NO_x (azotoksit) ve is değişkenlerinin analizi yapılmıştır. Deneylerde elde edilen motor performansı sonuçlarına göre, AKPY20BO60 yakıt kullanımı AKPY20 yakıtına göre ortalama ÖYT'de %8'lik bir azalma sağlamıştır.

Ayrıca, en fazla CO emisyon düşüşü, AKPY20 yakıtına göre AKPY20BO20 yakıtında 3000W motor yükünde %19,32 olarak gerçekleşmiştir. AKPY20BO20 yakıtı, AKPY20 yakıtına göre 3000W'da %10'luk bir HC emisyon azalmasıyla en iyi sonucunu vermiştir. Dizel yakıtına kıyasla AKPY20 yakıtının kullanılması ile CO₂ emisyonunun tüm yüklerde artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Ancak, AKPY20BO40 yakıtında ortalama olarak %0,8'lik bir CO₂ düşüşü sağlanmıştır. AKPY20 yakıtına göre maksimum NO_x emisyon azalması, AKPY20BO60 yakıtında ortalama %7,51 olarak gerçekleşmiştir. Is emisyonu ise AKPY20 yakıtına göre AKPY20BO20, AKPY20BO40 ve AKPY20BO60 yakıtlarında sırasıyla %3,68, %2,27 ve %1,42 oranında artmıştır. Motor performansı açısından, %10 ve %20 oranında AKPY kullanımı ile 2000W ve daha yüksek motor yüklerinde ÖYT'de azalma sağlanmış, B₂O₃ nanopartikül konsantrasyonunun artması ile birlikte de ÖYT'de azalma gözlemlenmiştir. Egzoz emisyonları açısından AKPY kullanımı sonucunda CO ve HC emisyonlarında azalma, NO_x, CO₂ ve is emisyonlarında artış gözlemlenmiştir. AKPY ve B₂O₃ nanopartikülü kullanımı ile CO, HC, NO_x ve CO₂ emisyonlarında düşüş, is emisyonunda ise artış gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak, AKPY kullanımının motor performans ve emisyonları açısından %20 oranında kullanılabileceği, B₂O₃ nano parçacığı konsantrasyonunun 60 ppm oranında eklenmesiyle optimum sonuçların elde edildiği gözlemlenmiştir. Ancak B₂O₃ nanoparçacığının yüksek maliyetli olması nedeniyle kullanımının ekonomik olmayacağı belirlenmiştir ve gelecek çalışmaların maliyeti düşürecek yöntemlerin araştırılması üzerine yapılması önerilmektedir.

Anahtar Sözcükler : Piroliz, Nanoparçacık, Dizel motor, Performans, Emisyonlar.

Bilim Kodu : 91413

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF PYROLYSED OIL /NANO PARTICLE (B₂O₃) MIXTURES ON ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS

Tuğba KAYA

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Samet USLU

January 2024, 80 pages

In this study, fuel mixtures (AKPY10, AKPY20 and AKPY30) created by mixing waste cable pyrolysis oil (AKPY) with diesel fuel in three different volumetric ratios (10%, 20% and 30%) and four different fuels were used. AKPY20 fuel was chosen as a reference because it gave better results in engine parameters than other fuels, and three different fuels (AKPY20BO20, AKPY20BO40 and AKPY20BO60) were obtained by adding boron oxide (B₂O₃) nanoparticles, and engine experiments were carried out at 6 different loads in the range of 500-3000W. In terms of engine performance, specific fuel consumption (SCT) and exhaust emissions CO (carbon monoxide), HC (hydrocarbon), CO₂ (carbon dioxide), NO_x (nitrogen oxide) and soot variables were analyzed. According to the engine performance results obtained in the experiments, the use of AKPY20BO60 fuel provided an 8% reduction in average SCT compared to AKPY20 fuel. Additionally, the highest CO emission

reduction was 19.32% at 3000W engine load for AKPY20BO20 fuel compared to AKPY20 fuel. AKPY20BO20 fuel gave the best HC emission result with a 10% emission reduction at 3000W compared to AKPY20 fuel. It has been observed that CO₂ emissions increase at all loads with the use of AKPY20 fuel compared to diesel fuel. However, an average CO₂ reduction of 0.8% was achieved with AKPY20BO40 fuel. The maximum NO_x emission reduction compared to AKPY20 fuel was 7.51% on average for AKPY20BO60 fuel. Soot emission increased by 3.68%, 2.27% and 1.42% in AKPY20BO20, AKPY20BO40 and AKPY20BO60 fuels, respectively, compared to AKPY20 fuel. In terms of engine performance, with the use of 10% and 20% AKPY, a decrease in SCT was achieved at 2000W and higher engine loads, and a decrease in SCT was observed with the increase in B₂O₃ nanoparticle concentration. In terms of exhaust emissions, as a result of the use of AKPY, a decrease in CO and HC emissions and an increase in NO_x, CO₂ and soot emissions were observed. With the use of AKPY and B₂O₃ nanoparticles, a decrease in CO, HC, NO_x and CO₂ emissions and an increase in soot emissions were observed.

As a result, it has been observed that the use of AKPY can be used at a rate of 20% in terms of engine performance and emissions, and optimum results are obtained by adding B₂O₃ nanoparticle concentration at a rate of 60 ppm. However, it has been determined that the use of B₂O₃ nanoparticle will not be economical due to its high cost, and it is recommended that future studies be carried out on researching methods that will reduce the cost.

Key Word : Pyrolysis, Nanoparticle, Diesel engine, Performance, Emissions.

Science Code : 91413

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi, destek ve rehberliği için, Do. Dr. Samet USLU'ya içten teőekkürlerimi sunarım. Tez çalıőmamın her aşamasında sizin bilgilerinizden ve tecrübelerinizden faydalanmak, benim için büyük bir ayrıcalık oldu. Sizin sayenizde, tez sürecim bilimsel temeller ışığında őekillendi ve başarıyla tamamlandı. Verdiğiniz değerli zaman ve destek için minnettarım. Yapılan tüm çalışmalar esnasında yanımızda bulunan Arő. Gör. Gürőah GÜRÜF'e sonsuz teőekkürler.

Bu tez alıőması Karabük Üniversitesi KBÜBAP-22-YL-108 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiőtir. Katkılarından dolayı Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğu birimine ve çalıőanlarına teşekkür ederim.

Maddi ve manevi desteklerinizle, eğitim hayatım boyunca bana her zaman güç veren aileme tüm kalbimle teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	4
BÖLÜM 3	13
DİZEL MOTORLARDA YANMA VE EMİSYONLAR	13
3.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA OLAYI.....	13
3.1.1. Tutuşma Gecikmesi	14
3.1.2. Kontrolsüz Yanma	15
3.1.3. Kontrollü Yanma	16
3.1.4 Art Yanma	17
3.2 DİZEL MOTORLARDA KİRLETİCİ EMİSYONLAR	18
3.2.1. Azotoksit Emisyonu (NO _x)	19
3.2.2. Hidrokarbonlar (HC)	21
3.2.3. Karbonmonoksit (CO) Emisyonları.....	23
3.2.4. İ _s (Partikül) Emisyonları.....	23
3.2.5. Kükürtdioksit Emisyonu (SO ₂).....	24

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4	26
DİZEL YAKITIN ÖZELLİKLERİ.....	26
4.1. SETAN SAYISI	27
4.2. VİSKOZİTE	28
4.3. YOĞUNLUK	29
4.4. PARLAMA ve ALEVLENME NOKTASI.....	30
4.5. ISIL DEĞER	30
4.6. SOĞUK AKIŞ ÖZELLİĞİ.....	31
4.7. UÇUCULUK.....	32
4.8. KÜKÜRT İÇERİĞİ.....	33
4.9. SU İÇERİĞİ	34
4.10. ANILIN NOKTASI.....	34
BÖLÜM 5	36
DİZEL MOTORLARDA KULLANILAN NANOPARÇACIKLAR	36
5.1. TİTANTUM OKSİT (TiO ₂).....	37
5.2. GRAFEN OKSİT (GO).....	38
5.3. ALÜMİNYUM OKSİT (Al ₂ O ₃).....	39
5.4 SERYUM OKSİT (CeO ₂)	40
5.5. BOR OKSİT (B ₂ O ₃)	41
BÖLÜM 6	43
MATERYAL VE METOT	43
6.1. DENEY DÜZENİĞİ VE EKİPMANLAR.....	43
6.2. METOT	49
BÖLÜM 7	53
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR	53
7.1 MOTOR PERFORMANS SONUÇLARI.....	53
7.1.1 Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT).....	53
7.2. EGZOZ EMİSYONLARI	55
7.2.1. CO Emisyonu	55

	<u>Sayfa</u>
7.2.2. HC Emisyonu	58
7.2.3. CO ₂ Emisyonu	60
7.2.4. NO _x Emisyonu.....	62
7.2.5. İS Emisyonu	64
BÖLÜM 8	67
SONUÇ VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Dizel Motorda Yanma Safhaları.	14
Şekil 3.2. Motorlu taşıtlardaki kirletici emisyon noktaları.	19
Şekil 3.3. Dizel motorunun egzozunun kirletici emisyonlarının konsantrasyonu. ...	19
Şekil 6.1. Deney Düzeneği.	44
Şekil 6.2. Deneylede Kullanılan Motor ve Jeneratör.	45
Şekil 6.3. Motor Yükleme Ünitesi.	46
Şekil 6.4. Egzoz Gaz Analizörü.	47
Şekil 6.5. Emisyon Ölçüm Probu.	47
Şekil 6.6. İS Emisyon Ölçüm Cihazı.	48
Şekil 6.7. Elektronik Terazi.	49
Şekil 6.8. Hasas Terazi.	50
Şekil 6.9. Ultrasonik Karıştırıcı.	50
Şekil 6.10. Manyetik Karıştırıcı.	51
Şekil 6.11. Deney yakıtları dizel-AKPY karışımı.	51
Şekil 6.12. Dizel-AKPY-B ₂ O ₃ karışımı.	52
Şekil 7.1. ÖYT'nin farklı yüklere ve AKPY oranına bağlı olarak değişimi.	54
Şekil 7.2 AKPY20 ve B ₂ O ₃ nanoparçacıklarının motor yüküne bağlı olarak ÖYT'ye etkisi.	55
Şekil 7.3. CO emisyonunun farklı yüklere ve AKPY oranına bağlı olarak değişimi ...	56
Şekil 7.4. AKPY20 ve B ₂ O ₃ nanoparçacıklarının motor yüküne bağlı olarak CO emisyonuna etkisi.	57
Şekil 7.5. HC emisyonunun farklı yüklere ve AKPY oranına bağlı olarak değişimi. ...	58
Şekil 7.6. AKPY20 ve B ₂ O ₃ nanoparçacıklarının motor yüküne bağlı olarak HC emisyonuna etkisi.	58
Şekil 7.7.CO ₂ emisyonunun farklı yüklere ve AKPY oranına bağlı olarak değişimi ...	60
Şekil 7.8. AKPY20 ve B ₂ O ₃ nanoparçacıklarının motor yüküne bağlı olarak CO ₂ emisyonuna etkisi.	61

Sayfa

Şekil 7.9. NO _x emisyonunun farklı yüklerle ve AKPY oranına bağlı olarak değişimi	62
Şekil 7.10. AKPY20 ve B ₂ O ₃ nanoparçacıklarının motor yüküne bağlı olarak NO _x emisyonuna etkisi.....	63
Şekil 7.11. İS emisyonunun farklı yüklerle ve AKPY oranına bağlı olarak değişimi.	64
Şekil 7.12. AKPY20 ve B ₂ O ₃ nanoparçacıklarının motor yüküne bağlı olarak is emisyonuna etkisi.....	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 6.1. Deney Motorunun Teknik Özellikleri.	45
Çizelge 6.2. Deney Jeneratörünün Teknik Özellikleri.	46
Çizelge 6.3. Egzoz Emisyon Cihazı Ölçüm Aralıkları ve Ölçüm Hassasiyetleri	48
Çizelge 6.4. Deney Yakıtlarının Özellikleri.....	52

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

CO ₂	: Karbondioksit
CO	: Karbonmonoksit
HC	: Hidro karbon
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
CeO ₂	: Seryum oksit
TiO ₂	: Titantum oksit
CuO	: Bakır oksit
B ₂ O ₃	: Boroksit
SiO ₂	: Silikon oksit
H ₂ O	: Su
C	: Karbon
H ₂	: Hidrojen
O ₂	: Oksijen
N ₂	: Azot (nitrojen)
NO _x	: Azot oksit
NO	: Nitrik oksit (azot monoksit)
NO ₂	: Azot dioksit
S	: Kükürt
SO _x	: Kükürt oksit
SO ₂	: Kükürt dioksit
SO ₃	: Kükürt trioksit

KISALTMALAR

AKPY	: Atık Kablo Piroliz Yağı
AKPY10	: %10 AKPY İçeren Yakıt Karışımı
AKPY20	: %20 AKPY İçeren Yakıt Karışımı
AKPY30	: %30 AKPY İçeren Yakıt Karışımı
ÖYT	: Özgül Yakıt Tüketimi
DEE	: Dietil Eter
FEV	: Fren Etkif Verimi
FÖYT	: Fren Özgül Yakıt Tüketimi
AKPY20BO20:	AKPY20 Yakıtını 20ppm B ₂ O ₃ İlavesi
AKPY20BO40:	AKPY20 Yakıtını 40ppm B ₂ O ₃ İlavesi
AKPY20BO60:	AKPY20 Yakıtını 60ppm B ₂ O ₃ İlavesi
B20	: %20 Biyodizel İlaveli Yakıt Karışımı
B20Ce100	: B20 Yakıtını 100 ppm CeO ₂ İlavesi
DEE7,5	: %7.5 DEE İlaveli Yakıt Karışımı
DEE10	: %10 DEE İlaveli Yakıt Karışımı
D0	: Standart Dizel Yakıtı
KB	: Kenevir Tohumu Yağı
KHD16	: Kanola Yağına %16 n-hexadecane İlavesi
E	: Etanol
KY	: Kenevir Yağı
C ₁₄₀ H ₄₂ O ₂₀	: Grafen Oksit
LPY	: Lastik Piroliz Yağı
PLY	: Pirolize Lastik Yağı
ED	: Euro Dizel
APY	: Atık Plastik Yağı
THC	: Toplam Hidrokarbon
PM	: Partikül Madde
EGR	: Egzoz Gazı Resirkülasyonu
MS	: Motor Silk Dizel Yakıt Katkısı
C/H	: Karbon/Hidrojen
H/Y	: Hava/Yakıt

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji, modern toplumların işleyişi için hayati öneme sahip bir unsurdur ve ekonomik kalkınmanın temelini oluşturur. Ancak, dünya nüfusunun sürekli artmasıyla birlikte enerji ihtiyacı da artmaktadır. Artan enerji talebini karşılamak için fosil yakıtlar olan bağımlılık da artmıştır, ancak bu kaynaklar sınırlıdır ve çevre üzerinde olumsuz etkilere yol açabilirler [1,2]. Çevre dostu enerji kaynakları, geleceğin enerji kaynakları olarak ön plana çıkıyor. Çevre koruma önlemleri ve yaptırımlar, ulusal sınırları aşarak uluslararası boyutta etkili olmaktadır. Bu nedenle, uluslararası iş birliğiyle yenilenebilir ve çevre dostu enerji kaynaklarının teşvik edilmesi ve geliştirilmesi gereklidir [3].

Fosil yakıtların kullanımı, insan sağlığına ve çevreye potansiyel zararlar doğurabilir. Fosil yakıtların kullanımı ile tehlikeli kirleticilerin ve sera gazı emisyonlarının ortaya çıkma olasılığı bir hayli fazladır. Bilimsel araştırmalarda bu zararlı kirleticilerin insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere neden olduğunu göstermektedir. Ayrıca, petrol kaynaklı yakıtların sınırlı olması ve açığa çıkardığı yüksek emisyonlar, araştırmacıları alternatif yakıtların incelenmesine yönlendirmiştir [4]. Bazı çalışmalar atık materyallerin geri dönüşümüyle atık kaynaklardan enerji üretmeye yönelik olarak yoğunlaşmıştır. Ancak, bu tür araştırmaların sayısı oldukça sınırlıdır [5]. Artan nüfusun ihtiyaçları doğrultusunda ortaya çıkan atık kaynaklı çevre kirliliği, üzerinde durulması gereken temel konulardan biridir. Katı, sıvı ve gaz formundaki atıkların çevreye bırakılması, çevre ve insan sağlığına ciddi tehditler oluşturabilir. Bu olumsuz etkileri en aza indirmek için atıkların enerji üretiminde değerlendirilmesi, bilim insanlarının son zamanlarda yoğunlaştığı önemli bir konudur [6]. Yenilenebilir enerji kaynakları, sadece enerji potansiyelleriyle değil, aynı zamanda çevreye zarar vermemeleri açısından da büyük ilgi görmektedir. Dünya genelindeki enerji talebinin

çevresel etkileri minimumda tutarak, sürdürülebilir ve ekonomik bir şekilde karşılanabilmesi için biyokütle enerjisi, önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır [7].

Biyokütle, yenilenebilir bir kaynak olarak düşük maliyetli ve önemli bir enerji kaynağı olarak kabul edilir, çünkü her yerde yetiştirilebilir, özellikle kırsal alanlarda sosyo-ekonomik gelişmeye yardımcı olabilir. Orman atıklarından ve tarım ürünlerinden elde edilen biyoyakıtların, dünya genelindeki yıllık enerji tüketiminin 10 katına denk gelen yılda 70 milyar ton ham petrol sağlayabileceği bilinmektedir. Bu biyoyakıtlar, ısı üretiminde daha fazla kullanılabilir olmaları nedeniyle önemli bir tasarruf sağlarlar [7].

Çeşitli atık türleri arasında bahçe atıkları, gıda atıkları, kâğıt, karton, tekstil, kauçuk, tahta, metal, cam, plastik vb. gibi katı atıklar, enerji üretiminde değerlendirilebilecek önemli kaynaklardır [6]. Atık plastikler, içerdikleri yüksek miktardaki enerji nedeniyle içten yanmalı motor yakıtına dönüştürülerek ümit vadeden çözüm sunabilir. Özellikle atık plastikler, geri dönüşümü ve enerjiye dönüştürülmesi açısından elverişli olan katı atıklar arasında yer almaktadır [6]. Atıktan enerji kavramı bağlamında, biyo-yağların verimli bir şekilde kullanılması, tarımsal atıkların, hayvansal atıkların, odun stoğunun yakılması, anaerobik fermentasyon, gazlaştırma ya da piroliz gibi çeşitli metotlarla atıklar enerjiye çevrilebilir [5].

Atıktan enerji elde etmek için en etkili yolun genellikle piroliz yöntemi bilinmektedir. Bu yöntem, çevresel ve ekonomik problemleri aynı anda ele alarak çözüm sağlaması bakımından önemli bir potansiyele sahiptir [5]. Atık plastiklerin geri dönüştürülmesi için en ideal metot piroliz proses yöntemidir [6]. Biyokütle kaynakları, piroliz işlemi aracılığıyla uzun zincirli organik bileşiklerin daha basit moleküllere dönüştürülmesini içerir. Biyokütle, karbon (C) temellidir ve genellikle hidrojen (H₂), oksijen (O₂), nitrojen (N₂), toprak alkali metalleri ve ağır metaller gibi diğer atomları içeren organik moleküllerin bir karışımını içerir [7]. Piroliz işlemi, O₂ barındırmayan bir ortamda, yani yanma olayı başlamadan ortaya çıkan termal bozunma safhasıdır. Atık plastikler, piroliz yöntemi kullanılarak sıvı, gaz ve katı formlarda farklı ürünlere çevrilebilmektedir. Piroliz ürününün kalitesi, atık plastik

türüne, piroliz reaktörüne ve proses parametrelerine (sıcaklık, bekleme süresi ve katalizörler gibi) göre değişkenlik gösterebilmektedir. Atık plastiklerden elde edilen sıvı ürün, petrol kökenli yakıtlara benzer niteliklere sahip olduğu için içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabilir [6].

Tüm bu çalışmaların yanı sıra nano parçacıklarda son yıllarda insan yaşamına her alanda girmektedir. Nanoteknolojinin gelişmesi, içten yanmalı motorlarda kullanılan nano parçacıkların önemli avantajlarına dikkat çekmektedir. Bu nano parçacıklar, katalitik etkiyi artırarak tutuşma gecikmesini kısaltır ve yakıt damlalarının buharlaşma hızını iyileştirir. Özellikle otomotiv alanında kullanımı, yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları üzerinde olumlu etkilerinin yanı sıra maliyetleri düşürmede de etkilidir.

Nano partiküller, dizel yakıtta eklenerek setan sayısını artırır ve yanma oranını yükseltmeye katkı sağlar. Ayrıca, CO emisyonlarının azalmasına yardımcı olur. Alüminyum oksit (Al_2O_3), titanyum dioksit (TiO_2), bakır oksit (CuO), silikon oksit (SiO_2) gibi nano partiküllerin kullanımı, performans karakteristiklerini ve emisyonları olumlu yönde etkilemiştir. Bu nano katkı maddeleri, alev ile yanmayan yakıt parçacıkları arasındaki ısı transferini artırarak, dizel motorlardaki emisyonları azaltmaya ve yakıt tüketimini düşürmeye yönelik olumlu etkiler göstermektedir.

Nanoteknoloji, otomotiv alanında yeni ve yenilikçi ürünlerin geliştirilmesine ve atomik düzeyde kontrol ile benzersiz özelliklere sahip yapıların üretilmesine olanak sağlamaktadır. Bu teknoloji, kimyasal, fiziksel ve biyolojik sistemlerin mikroskobik ölçekte tasarlanmasını, uygulanmasını ve geniş sistemlere entegre edilmesini de olanaklı kılar. Nano parçacıkların kullanımı, otomotiv sektöründe daha çevre dostu ve verimli motorlar için umut vaat eden bir alan olarak öne çıkmaktadır [8].

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

İçten yanmalı motorlarda fosil yakıtların kullanımını azaltmak için günümüzde çeşitli alternatif yakıtların kullanılması için çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Yapılan çalışmalar arasında alkoller, biyoyakıtlar ve nanopartiküller vardır.

Berkan Aydın tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada, pamuk yağı üzerinden transesterifikasyon yöntemi kullanılarak biyodizel üretimi gerçekleştirilmiş ve elde edilen biyodizel dizel yakıtının %20'si (B20) oranında dizel yakıtına karıştırılmıştır. Bu karışıma, belirli oranlarda CeO₂ (seryum oksit) nanopartikül katkı maddesi eklenmiştir. Çalışma kapsamında, farklı CeO₂ nanopartikül konsantrasyonlarının motor performansı ve emisyon karakteristikleri üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarına göre, CeO₂ nanopartikül katkı maddesinin kullanımının, yakıtın ısıl değerinde artışa neden olduğu ve viskozitesinde azalmaya yol açtığı gözlemlenmiştir. B20 yakıtına CeO₂ nanopartikül ilavesinin motor gücü üzerinde olumlu bir etkisi olduğu belirlenmiş, özellikle 2800 d/dk hızında B20Ce100 yakıtı kullanıldığında %12,58 güç artışı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde, maksimum momentin sağlandığı 1800 d/dk hızında B20Ce100 yakıtında %8,35 moment artışı gözlemlenmiştir. ÖYT değerlerinde ise, CeO₂ nanopartikül konsantrasyonunun artmasıyla birlikte azalma meydana gelmiştir. Özellikle 1800 d/dk hızında B20Ce100 yakıtında %7,44 azalma elde edilirken, termik verimde %2,69 artış gözlemlenmiştir. Ayrıca, yapılan araştırmada CeO₂ nanopartikül katkı maddesinin tam yanmayı desteklediği ve egzoz gazı sıcaklıklarını artırdığı belirtilmiştir. Maksimum momentin elde edildiği 1800 d/dk hızında, B20Ce100 yakıtı ile CO emisyonlarında %13,03, HC emisyonlarında %17,17 ve is emisyonlarında %8,44 oranında azalma elde edilmiştir. Ancak, NO_x emisyonlarında %8,82'lik bir artış olmuştur [4].

Sercan Uzun'un çalışmasında, atık taşıt lastiklerinden üretilen lastik piroliz yağı (LPY), dizel bir motor için kullanılabilir hale getirilmesi amacıyla asit yıkama, kil ve kalsiyum oksit işlemleri, distilasyon işlemi ve oksidatif sülfür giderim işlemlerini içeren saflaştırma süreçlerinden geçirilmiştir. İyileştirilen yakıt özelliklerine sahip olan LPY, saf dizel ile çeşitli oranlarda (hacimce %0, %15, %30 ve %45) karıştırılmıştır. Testler, sabit motor hızında (2000 rpm) ve dört farklı motor yükünde (500, 750, 1000 ve 1250 W) gerçekleştirilmiştir. Ardından, saf dizel ile karışıma eklenen LPY'nin motor performansı, yanma karakteristikleri ve egzoz emisyonları analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlarda, fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT) değerleri LPY içeriğinin artmasıyla hem düşük motor yüklerinde hem de karışımlarda artmış, Fren termal verim (BTE) ise azalmıştır. Bununla birlikte, ısı salınım oranı ve silindir içi basınç, motor yüklerindeki değişikliklere ve LPY karışım oranına bağlı olarak belirgin bir şekilde artmıştır. Ayrıca, üretilen LPY'nin C ve O₂ içeriği kısmen dizel yakıtına benzese de H₂ oranı daha fazladır. Bu nedenle, CO ve NO_x emisyonlarında önemli bir değişiklik olmamıştır. Ancak, karışımdaki LPY içeriğinin artmasıyla HC emisyonu belirgin bir şekilde azalmıştır [5].

Ali Eroğlu'nun gerçekleştirdiği bu çalışmada, Malatya ilinde atık plastiklerin piroliz yöntemiyle işlenmesi ve elde edilen alternatif yakıtın, dizel yakıtla karıştırılarak deneysel olarak değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, atık plastiklerin alternatif yakıt elde etmek amacıyla piroliz reaktöründe 450°C sıcaklıkta yaklaşık 20-25 dakika boyunca ısıl işlem uygulanmıştır. Ardından, bu sıcaklıkta elde edilen ürünler destilasyon işlemine tabi tutularak 216°C ile 450°C kaynama noktasına sahip olan ve atık plastik kaynaklı alternatif yakıtı oluşturan ürünler dereceli şişelerde toplanmıştır. Sonrasında, standart dizel yakıtının içerisine elde edilen atık plastik kaynaklı alternatif yakıt hacimsel olarak farklı oranlarda karıştırılarak çeşitli karışım yakıtları oluşturulmuştur. Bu karışım yakıtları, elde edilen piroliz yakıtın hacimsel olarak karışım oranına göre APY10 (%90 dizel, %10 APY), APY20 (%80 dizel, %20 APY), ve APEY10 (%80 dizel, %10 APY, %10 etanol) olarak adlandırılmıştır. Test yakıtları, farklı devir sayılarında (1000, 1500, 2000, 2500 ve 3000 devir) tek silindirli dizel motorda ayrı ayrı test edilmiş ve motor testlerinde kullanılan karışım yakıtlarının motor performansı (motor gücü, motor torku, ÖYT) ve egzoz emisyonları (CO, CO₂, UHC) üzerindeki etkisi, standart dizel yakıt ile kıyaslanarak

analiz edilmiştir. Elde edilen motor testi verilerine göre, karışım içindeki atık plastik kaynaklı alternatif yakıt oranı arttıkça, motor gücü ve tork değerlerinde bir azalma gözlemlenirken, ÖYT ve egzoz emisyon değerlerinde bir artış meydana gelmiştir [6].

Abdullah Burak Arslan'ın yaptığı deneysel çalışmada, dizel yakıtına CeO₂ nano parçacıklarının eklenmesinin etkileri incelenmiştir. Bu eklemeler farklı miktarlarda (25ppm, 50ppm, 75ppm ve 100ppm) ve farklı motor devirlerinde (1600 - 1800 - 2000 - 2200 - 2400 - 2600 - 2800 d/dk) gerçekleştirilmiştir. Çalışma, CeO₂ nano parçacıklarının yakıtta katkısının alt ısı değeri artırdığını ve viskoziteyi azalttığını göstermiştir. Motor momentindeki artış, özellikle DCe100 yakıtında D0 yakıtına göre %8,99 oranında olmuştur. Alt ısı değerindeki artış, ÖYT'de olumlu bir etki yaratmış ve DCe100 yakıtı kullanımı ile en düşük ÖYT %6,10 azalmayla elde edilmiştir. BTE üzerinde yapılan gözlemler, CeO₂ nano parçacıklarının kullanımının termik verimi artırdığını ve miktarının artmasıyla bu artışın daha belirgin hale geldiğini göstermiştir. DCe100 yakıtı ile, D0 yakıtına kıyasla %5,44 artarak en yüksek termik verim gözlemlenmiştir. Emisyonlar açısından, CeO₂ miktarındaki artışla birlikte CO, HC ve is emisyonlarında azalmalar gözlemlenmiştir. CO emisyonları DCe100 yakıtında %18,27 azalırken, HC emisyonları %30,12 azalma ile en düşük seviyelere ulaşmıştır. İs emisyonları ise DCe100 yakıtında %21,63 azalma ile en düşük seviyelere çekilmiştir. Ancak, NO_x emisyonlarında CeO₂ miktarının ve silindir içi sıcaklığın artışıyla birlikte belirgin bir artış gözlemlenmiştir. D0 yakıtına göre, DCe100 yakıtında en fazla NO_x değeri, %6,65 oranında artmıştır [8].

Samet Uslu tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada, dietil eterin (DEE) motorin ile karıştırılmasının, motor performansına ve emisyonlara olan etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel olarak, farklı DEE oranlarıyla hazırlanan deney yakıtları kullanılarak, direkt enjeksiyonlu tek silindirli düşük güçlü bir dizel motor üzerinde çeşitli motor hızları ve yük koşullarında testler gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, belirli bir orana kadar DEE kullanımının, efektif verimde artışa neden olduğu gözlemlenmiştir. Özellikle DEE7,5 yakıtı kullanıldığında, dizel yakıtına kıyasla efektif verimde %8'lik bir artışa ulaşılmıştır. Ancak, DEE oranının artmasıyla birlikte ÖYT'de de artış gözlemlenmiştir. DEE10 yakıtıyla ÖYT'de %10'luk bir artış gözlemlenmiştir. Dizel yakıtına DEE katkısıyla, NO_x emisyon değerlerinde azalma

sağlamış olup ve bu azalmanın, artan DEE oranıyla doğru orantılı olarak arttığı belirlenmiştir. En yüksek azalma, %56'lık bir oranla DEE10 yakıtının kullanılmasıyla gözlemlenmiştir. Artan DEE kullanımı ile birlikte is ve HC emisyon değerlerinde azalma gözlenmiştir. Özellikle DEE7,5 yakıtı ile is emisyonlarında %22,5 ve HC emisyonlarında %17,5 oranlarında azalma elde edilmiştir. CO emisyon değerleri ise artan DEE oranıyla beraber azalmış, en fazla azalma %40 oranında DEE10 yakıtının kullanımı ile sağlanmıştır [9].

İsmet Sezer'in yaptığı çalışmada, DEE ile motorin karışımlarının dizel motor performansına olan etkiler deneysel olarak araştırılmıştır. Bu çalışmada, motorine %2,5, %5, %7,5 ve %10 oranlarında DEE ilave edilerek çeşitli yakıt karışımları hazırlanmıştır. Deneyler, sıkıştırma oranı 20.0:1 olan direk enjeksiyonlu tek silindirli bir dizel deney motoru kullanılarak, tam gaz durumunda ve farklı devir sayılarında gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, motorine DEE eklemenin ortalama efektif basınç, döndürme momenti ve efektif güç gibi motor performans parametrelerinde bir düşüş sağladığı görülmüştür. Bu performans parametrelerindeki düşüş, artan DEE oranlarıyla birlikte artış göstermiştir. Özellikle, DEE10 karışımında ortalama efektif basınçtaki maksimum düşüş %5,1 olarak belirlenmiştir. Buna karşın, %7,5 karışım oranına kadar BTE'de bir artış ve ÖYT'de bir azalma gözlemlenmiştir. DEE7,5 karışımında elde edilen en yüksek efektif verim artışı %10,9 olarak belirlenmiştir ve bu karışımın ÖYT'de %8,7'lik bir düşüş sağlamıştır. Ayrıca, artan DEE oranıyla birlikte hava fazlalık katsayısında artış ve egzoz gazı sıcaklığında azalma gözlemlenmiştir. Bu bulgular, DEE ilavesinin motor performansını etkileyen çeşitli faktörlere bağlı olarak değişikliklere yol açtığını göstermektedir [10].

Emre Canbaz tarafından gerçekleştirilen çalışmada, kenevir tohumu yağının dizel yakıt ile farklı oranlarda (%10 ve %20) karıştırılmasının motor performansı üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Motor deneyleri, çeşitli yük seviyelerinde (500-3000W) gerçekleştirilmiş ve motor performansını değerlendirmek için BTE ve FÖYT değerleri analiz edilmiştir. Ayrıca, egzoz emisyonları (CO, HC, CO₂, O₂, NO_x ve is) üzerinde detaylı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın bulgularına göre, kenevir tohumu yağı ile dizel yakıt karışımları (10KB90D ve

20KB80D) kullanıldığında, motor performansında özellikle BTE değerlerinde bir artış gözlemlenmiştir. Bu artış, yük seviyeleri arttıkça devam etmiş, ancak yük arttıkça artış oranında bir azalma tespit edilmiştir. FÖYT değerleri ise eklenen biyodizelin ısı değeri dizel yakıtın ısı değerinden düşük olması nedeniyle sürekli olarak artmıştır, yük arttıkça bu artış daha belirgin hale gelmiştir. Egzoz emisyonlarına yönelik analizlerde, CO emisyonlarının ilk yüklerde azaldığı, daha sonra arttığı ve maksimum yükte bir önceki yüklerle göre azaldığı gözlemlenmiştir. HC emisyonları ise devamlı olarak azalmıştır. NO_x ve is emisyonlarında ise yük arttıkça sürekli bir düşüş gözlemlenmiştir. CO₂ miktarında farklı yüklerde artışlar ve azalışlar gözlemlenmiş, düşük yükte artış, orta yüklerde azalış ve yüksek yüklerde tekrar artış göstermiştir. O₂ miktarında sürekli olarak bir düşüş gözlemlenmiş, bu düşüş motor yükü arttıkça artmıştır. Bu sonuçlar, kenevir tohumu yağının dizel yakıt ile karıştırılmasının motor performansını etkileyen faktörlere bağlı olarak değişikliklere neden olduğunu ve bu karışımların egzoz emisyonları üzerinde belirgin etkiler yarattığını göstermektedir [11].

Çelik vd. yaptıkları bu çalışmada, kanola yağından transesterifikasyon yöntemiyle üretilen biyodizel yakıtına n-hexadecane katkısının etkileri incelenmiştir. Çalışmada, biyodizel yakıtına hacimce %8 ve %16 oranlarında n-hexadecane ilavesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, n-hexadecane oranının artmasıyla birlikte tüm devirlerde motor momentinde bir artış gözlemlenmiş, ÖYT ise azalmıştır. Özellikle, 1400 d/dk hızında maksimum moment elde edildiğinde, KHD16 yakıtında moment %8,40 artmış ve ÖYT %7,99 azalmıştır. Aynı devir hızında, KHD16 yakıtında CO emisyonlarında %1,74, HC emisyonlarında %17,34 ve is emisyonlarında %24,34 azalma gözlenirken, NO_x emisyonlarında ise %1,15 oranında artış meydana gelmiştir. Bu bulgular, n-hexadecane katkısının biyodizel yakıtının performans ve emisyon özellikleri üzerinde belirgin etkileri olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle, moment artışı ve düşük ÖYT gibi olumlu etkiler, bu katkının biyodizel yakıtının motor performansını iyileştirmede etkili olduğunu göstermektedir [12].

Hamit Şahin'in araştırmasında, dizel yakıt, biyodizel ve biyodizel-etanol karışımlarının performans ve emisyonlara etkisini analiz etmiştir. Testler, biyodizel yakıtına farklı oranlarda (%5, %10, %15 ve %20) etanol eklenerek oluşturulan

karışım yakıtlarıyla sabit hızda ve çeşitli yük koşullarında gerçekleştirilmiştir. Bulgulara göre, biyodizel kullanımı, dizel yakıtına göre %3'lük bir efektif verim azalmasıyla sonuçlanmıştır. Biyodizel kullanımında, dizel yakıtına göre efektif verimde %3'lük bir azalma gözlemlenmiştir. Bu duruma rağmen, is emisyonlarında %25, HC emisyonlarında %9 ve CO emisyonlarında %10'luk bir azalma kaydedilmiştir. Ancak, saf biyodizel kullanımı NO_x emisyonlarında ortalama %10'luk bir artışa sebep olmuştur. Biyodizel ve biyodizel-etanol karışımli çalışmalarda, en yüksek efektif verimin E5 (%5 Etanol + %95 biyodizel) yakıt karışımıyla elde edildiği gözlemlenmiştir. E5 yakıtının efektif verimi, biyodizel kullanımıyla karşılaştırıldığında %2 daha yüksektir. Ancak, karışımdaki etanol oranının artmasıyla birlikte verimde azalma gözlemlenmiştir. Biyodizele etanol ilavesi, emisyonlarda önemli iyileşmeler sağlamıştır. E20 yakıtının kullanımı, is emisyonlarında %58, NO_x emisyonlarında %32 ve CO emisyonlarında %45 daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. Ancak, etanol kullanımının sadece HC emisyonlarını artırdığı belirlenmiştir; E20 yakıtının kullanımıyla, biyodizel yakıtına kıyasla HC emisyonlarında ortalama %47'lik bir artış gözlemlenmiştir [13].

Ahmet Samed Koca'nın gerçekleştirdiği bu çalışmada, transesterifikasyon yöntemiyle elde edilen kenevir yağı (KY), hava soğutmalı, dört zamanlı, tek silindirli, direkt enjeksiyonlu bir motora entegre edilerek motorun performansı ve emisyonları üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Yapılan deneylerde kullanılan dört farklı yakıt şunlardır: D100 (%0 Biyodizel + %100 Dizel), KY10 (%90 Dizel + %10 KY), KY20 (%80 Dizel + %20 KY) ve KY30+50mgTiO₂ (%70 Dizel + %30 KY + 50 mg TiO₂). Çalışmanın kapsamında altı farklı test yükü kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiş ve CO, CO₂, HC ve NO_x emisyonları ile FÖYT ve FEV değerleri ölçülmüştür. Bulgulara göre, KY10, KY20 ve KY30+50mgTiO₂ yakıtlarının kullanımı FÖYT değerlerinde artışa neden olmuş, FEV değerleri ise yük durumuna bağlı olarak değişkenlik göstermiştir. Emisyonlar açısından incelendiğinde, KY ve TiO₂ oranının artmasıyla birlikte emisyonlarda belirgin bir iyileşme gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, kenevir yağı bazlı biyoyakıtların ve TiO₂ katkısının motor performansını artırma potansiyeline işaret etmektedir. Bu çalışma, alternatif yakıtların kullanımının hem performans hem de emisyonlar açısından olumlu etkiler sağlayabileceğini göstermektedir [14].

Mehmet Opuz'un araştırmasında, kanola yağından transesterifikasyon yöntemiyle elde edilen biyodizel, dizel yakıtına %20 oranında eklenerek B20 yakıtı oluşturulmuştur. Ayrıca, B20 yakıtına farklı konsantrasyonlarda (50 ppm, 100 ppm ve 150 ppm) karbon nanopartikül ilavesi yapılmıştır. Bu test yakıtlarının etkileri, su soğutmalı tek silindirli, dört zamanlı bir dizel motorun performansı, yanma karakteristikleri ve emisyonları üzerinde incelenmiştir. Deneyler, 2200 d/dk motor hızında farklı motor yüklerinde (4,12 Nm, 9,61 Nm, 15,10 Nm ve 20,60 Nm) gerçekleştirilmiştir. Düşük motor yüklerinde, daha yüksek silindir basınçları dizel yakıt kullanılarak elde edilmişken, özellikle motor yükünün artmasıyla birlikte dizel yakıtı ve karışım yakıtları arasındaki silindir basınç farkının azaldığı belirlenmiştir. Maksimum ÖYT, tüm motor yüklerinde B20 yakıtıyla elde edilmiş olup, karbon nanopartikül ilavesiyle yakıt ekonomisinin iyileştiği gözlemlenmiştir. Dizel yakıtın kullanılmasıyla elde edilen en düşük maksimum basınç artış oranı ve vuruñu yoğunluğu değerleri kaydedilmiştir. Karbon nanopartikül ilavesi, HC ve is emisyonlarında azalmaya, ancak NO_x ve CO emisyonlarında artışlara neden olmuştur. Bu bulgular, biyodizel-dizel karışım yakıtlarının ve karbon nanopartikül ilavesinin dizel motor performansı ve emisyonları üzerindeki etkilerini değerlendirmek adına önemli bir katkı sağlamaktadır [15].

Onur Kaya'nın yaptığı bu çalışmada, biyodizel üretimi için kanola, aspir ve atık yağlardan elde edilen biyodizel ile C₁₄₀H₄₂O₂₀ (Grafen oksit) ve TiO₂ nanoparçacıkları kullanılmıştır. Biyodizel üretiminin, ülkemizde ekonomik ve tarım alanında avantajlar sağladığı belirlenmiştir. Petrol bağımlılığının azaltılması ve biyodizel üretimi sayesinde tarımın genişlemesi gibi faydaların yanı sıra, üretilen ürünlerin ihracat potansiyeli de göz önüne alınmıştır. Deneylerde, BD0 (100% Dizel), B30G50 (30% Biyodizel, 70% Dizel, 50 mg C₁₄₀H₄₂O₂₀) ve B30T50 (30% Biyodizel, 70% Dizel, 50 mg TiO₂) testleri gerçekleştirilmiştir. Motor performansının değerlendirilmesi için bu yakıtlarla 500W, 1000W, 1500W, 2000W, 2500W, 3000W yüklerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarına göre, BD30G50 yakıtıyla çalışan motorda, BD0 yakıtına göre HC ve NO_x emisyonlarında azalma, ancak CO₂ ve CO artışları tespit edilmiştir. Benzer şekilde, BD30T50 yakıtıyla çalışan motorda da HC ve NO_x emisyonlarında azalma gözlenirken, CO₂ ve

CO emisyonlarında artışlar belirlenmiştir. Bu sonuçlar, biyodizel ve nanoparçacıkların kullanımının motor emisyonları üzerindeki etkilerini anlamak ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına geçişin potansiyel avantajlarını değerlendirmek açısından önemli bir katkı sağlamaktadır [16].

Muhammed Tural'ın bu çalışmasında, dizel yakıtın içine 50 ppm, 100 ppm ve 150 ppm konsantrasyonlarında eklenen bizmut oksit nanopartiküllerin alternatif yakıtların özelliklerine etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışma, 1500, 2000 ve 2500 d/dk hızlarında ve 10, 15, 20 ve 25 Nm motor yüklerinde gerçekleştirilmiştir. Bizmut oksit nanopartikül katkısının kullanımıyla birlikte, setan sayısı, ısıl değer ve viskozite artmıştır, ancak yoğunluk değerleri değişmemiştir. Nanopartikül katkılı yakıtın kullanımı genellikle tutuşma gecikmesini artırmıştır. Düşük yüklerde, nanopartikül katkılı yakıtın yanma süresi artarken, yüksek yüklerde dizel yakıtın yanma süresi daha uzun olmuştur. Dizel yakıtın egzoz sıcaklığının, yüksek yüklerde nanopartikül katkılı yakıtla kıyasla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Nanopartikül katkısı, dizel yakıtla göre ÖYT azaltırken, ısıl verimi artırmıştır. Nanopartikül katkılı yakıtların CO₂ ve partikül madde emisyonları genellikle dizel yakıtla kıyasla daha yüksek çıkmıştır. Ancak, NO_x emisyonlarının nanopartikül katkısı ile azaldığı gözlemlenmiştir [17].

Ramazan Coştu'nun yaptığı bu çalışmada, dizel motorlar için pirolize edilmiş lastik yağının kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu kapsamda, pirolize lastik yağı (PLY), euro dizel (ED), ve Motor Silk dizel yakıt katkısı (MS) kullanılmıştır. Gerçekleştirilen bu çalışmada, ED, ED-PLY ve ED-PLY-MS karışımlarının performans ve emisyonlara etkisi deneysel olarak değerlendirilmiştir. Testler, farklı yük seviyelerinde (500, 750, 1000, 1250 ve 1500 W) ve sabit motor hızında (3600 d/d) standart dizel yakıt (ED100), EPLY10, EPLY20, EPLY30, EPLY10MS1, EPLY20MS1 ve EPLY30MS1 yakıtlarıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak motor performansı ve egzoz emisyon değerleri grafiksel olarak analiz edilmiştir. Ek olarak, karışım yakıtlarının test sonuçları, dizel yakıtından elde edilen sonuçlarla karşılaştırmalı bir şekilde sunulmuştur. Yapılan deneyler neticesinde, motor yakıt sisteminde herhangi bir değişiklik yapılmaksızın ED içine %30 PLY ilavesinin egzoz emisyonlarını ve ÖYT'nin artırdığı belirlenmiştir. EPLYMS

yakıtıyla çalışan motorda ise, egzoz emisyonlarındaki is, HC ve CO azaldığı, NO_x arttığı gözlemlenmiştir. Deney sonuçlarına göre, MS kullanımının efektif verim değerlerini artırdığı ve ÖYT değerlerini azalttığı tespit edilmiştir. EPLY10MS1 test yakıtına ilişkin efektif verimdeki artışın, motor referans yakıtı (ED100) efektif verim değerleriyle benzerlik gösterdiği belirlenmiştir [18].

Emre İsmailoğlu'nun bu tez çalışması kapsamında, lastik atıklarından elde edilen lastik yağının alternatif bir dizel katkı maddesi olarak kullanılmış ve common-rail direkt enjeksiyonlu bir dizel motordaki performans, enjeksiyon, yanma ve emisyon parametrelerini olan etkisi detaylı bir biçimde araştırılmıştır. Saf motorin ve motorin-pirolize lastik yağı karışımı (%10 pirolize lastik yağı-%90 motorin, L10) test yakıtları olarak seçilmiş ve motor testleri bu yakıtlar kullanılarak 1500, 1800 ve 2100 d/dk hızlarında ve maksimum motor torkunun yaklaşık yarısı olan 125 Nm motor yükünde gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen testlere göre, tüm test koşulları için L10 yakıtının ÖYT değerlerinin saf motorine göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Yanma analizi sonuçlarına göre, L10 yakıtının silindir içi basınç değerlerinin ve maksimum ısı dağılım oranlarının motorine göre ortalama olarak daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Enjeksiyon sonuçları incelendiğinde, pilot ve ana enjeksiyon sürelerinin ortalama olarak motorine kıyasla daha uzun olduğu, pilot ve ana enjeksiyon zamanlarının ise motorine kıyasla daha sonra başladığı anlaşılmaktadır. Atık lastik yağının motora katkı olarak kullanılması, CO, THC (toplam hidrokarbon) ve NO_x emisyonlarında bir artışa neden olmuştur, bu durum motor performansındaki değişikliklere işaret etmektedir [19].

BÖLÜM 3

DİZEL MOTORLARDA YANMA VE EMİSYONLAR

3.1. DİZEL MOTORLARDA YANMA OLAYI

Dizel motorlardaki yanma süreci, silindirin içerisine yakıtın püskürtülmesi anından itibaren başlayarak, yanma ürünlerinin egzoz zamanı başlangıcına kadar olan zaman diliminde meydana gelen karmaşık fiziksel ve kimyasal olayları içermektedir [20]. Yanma işlemi için üç temel faktör gereklidir: O₂, sıcaklık ve yakıt. Dizel bir motorda, silindir içine çekilen hava, pistonun yukarı hareketiyle sıkıştırılır, bu da havanın basıncını ve sıcaklığını artırır [21].

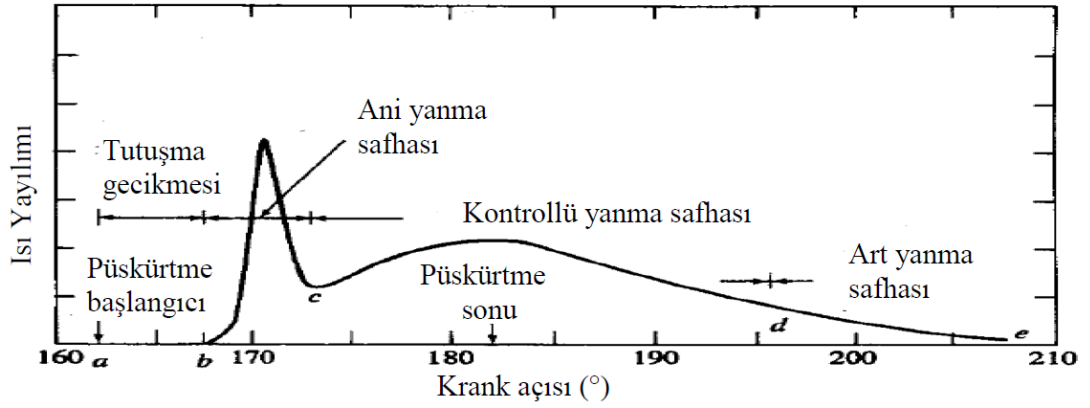
Dizel motorlarda, sıkıştırma işlemiyle yüksek basınçta sıkıştırılan hava, ardından yakıtın yüksek basınçla yanma odasına püskürtülmesiyle yanma işlemi başlar. Yüksek basınç altında püskürtülen yakıt, genellikle küçük yakıt tanecikleri veya yakıt buharı şeklinde havayla entegre olur. Oluşan bu karışım, sıkıştırılmış hava tarafından ısınır ve buharlaşma süreci gerçekleşir [22].

Dizel motorlarda, enjektör tarafından püskürtülen yakıt, damlacıklar halinde oluşarak çevreleyen havaya karışır. Bu yakıt damlacıkları, dış yüzeylerinden itibaren buharlaşarak çevredeki O₂ ile birleşir ve ardından yanma sürecine başlar [20]. Bu yanma esnasında, yakıtın ürettiği ısı enerjisi, pistonun hareketine dönüşerek kinetik enerjiye çevrilir. Yanma sonucunda oluşan yanma ürünleri, egzoz supabından dışarı atılır. Bu süreç, dizel motorun temel çalışma prensibini oluşturur ve motordan güç üretimini sağlar [8].

Dizel motorlarında, yakıtın havayla karışması sonucu meydana gelen yanma süreci, çeşitli yanma ürünlerinin oluşumuna neden olur. Bu ürünler arasında CO_2 , H_2O , SO_2 , O_2 ve N_2 bulunmaktadır. Ancak, eğer silindir içine yeteri kadar hava alınamaz ve bu durum yakıtın tam olarak yanmasına engel olursa, bu ana bileşenlere ek olarak CO , H_2 , NO_x emisyonları da oluşabilir [23].

Dizel motorda yanma dört evrede gerçekleşmektedir:

- Tutuşma Gecikmesi
- Kontrolsüz Yanma
- Kontrollü Yanma
- Art Yanma



Şekil 3.1. Dizel motorda yanma safhaları [24].

3.1.1. Tutuşma Gecikmesi

Dizel motorlardaki yakıt püskürtme süreci, yakıtın püskürtülme anından itibaren kimyasal reaksiyonların başlaması ve ilk alev çekirdeğinin oluşumu anına kadar geçen zamanı ifade eder. Püskürtülen yakıt damlacıklarının buharlaşma süreci belirli bir süreyi kapsar ve püskürtme sonrasında meydana gelen buhar tabakası etrafında yanma başlar. Tutuşma gecikmesini etkileyen kritik faktörler arasında yakıt kalitesi, buhar fazındaki yakıt tabakasını çevreleyen havanın O_2 konsantrasyonu, basınç ve sıcaklık bulunmaktadır.

Verimli bir yanma için tutuşma gecikmesi süresinin mümkün olduğunca kısa olması önemlidir. Bu kısaltmayı sağlayan faktörler arasında püskürtme basıncının artırılması, enjektör memesinin çapının küçültülmesi, silindir hacminin azaltılması, yanma odasındaki sıkıştırılmış havanın sıcaklık ve basıncının artırılması, sıkıştırma sonrasında havanın içinde bulunan O₂ yoğunluğunun artırılması ve yakıtın setan sayısının yükseltilmesi bulunmaktadır.

Yakıt içindeki HC'ler, yanma sürecini etkileyen önemli bir faktördür. Parafinik HC miktarındaki artış, yakıtın setan sayısını yükselterek tutuşma gecikmesini azaltır ve motorun daha düzenli çalışmasını sağlar. Motor hızı arttıkça tutuşma gecikme süresi azalır, ancak kam mili açısı artar. Motor devri yükseldikçe yakıtın parçalanması iyileşir ve silindire emilen havanın türbülans hareketi artar.

Dizel motorlarda püskürtme avansı, motor performansını ve egzoz emisyonlarını etkileyen önemli bir parametredir. Püskürtme avansı, tutuşma gecikmesini, maksimum basıncın oluşma yerini ve basınç artış hızını doğrudan etkileyerek yanma periyodunu etkiler. Püskürtme avansının optimum değeri motor hızına, sıkıştırma oranına, püskürtme karakteristiğine ve motor yapısına bağlı olarak değişir.

Dizel motorda yakıtın yanma odasına püskürtülmesiyle birlikte, yanma odasındaki hava ile yakıt arasında sürtünmeler oluşur. Bu sürtünmeler ve yanma odasındaki sıcaklığın etkisiyle yakıt damlacıklarında parçalanma ve buharlaşma başlar. Tutuşma gecikmesi, yakıtın püskürtülmesiyle başlayan süreçte, ilk alevin oluşması arasındaki zaman dilimini ifade eder. Tutuşma gecikmesinin azaltılması, motorun vuruntusuz çalışması, yüksek verim, düşük emisyon değerleri ve sessiz çalışma gibi önemli özellikleri doğrudan etkiler. Bu sürenin kısaltılabilmesi için sıkıştırılan havanın basınç ve sıcaklığı, yakıtın atomizasyonu ve kalitesi, enjeksiyon avansı ve yanma odasındaki türbülans gibi faktörlere dikkat edilmelidir [25-27].

3.1.2. Kontrolsüz Yanma

Başlangıçta, içten yanmalı motorlarda silindirlere gönderilen yakıtın tutuşma gecikmesi süresince buharlaşmaktadır. Tutuşma sürecinin hemen ardından,

buharlaşmış yakıt zerrecikleri hızla küçük parçalara ayrılarak yanma başlar. Yanma hızı, silindir içindeki basınç artış hızını belirleyen kritik bir faktördür ve bu basınç artış miktarı genellikle püskürtülen yakıt miktarına bağlıdır.

Tutuşma gecikmesi süresince püskürtülen yakıtın çoğu, yanma sürecinin daha kısa olduğu bir aşamada silindir içinde birikmektedir. Bu durum, maksimum basıncın genellikle tutuşma gecikmesi süresince belirlendiği anlamına gelmektedir. Bu aşamada enjektörden püskürtülen yakıt, hava ile karışarak yanmaya başladığında hızlı bir basınç artışına neden olur. Bu safhada, basınç artış oranını belirleyen faktörler arasında yakıtın atomizasyon derecesi, tutuşma gecikmesi süresince yakıtın hava ile karışımının kalitesi ve püskürtülen yakıt miktarı bulunmaktadır.

Motorun düşük sesle ve sorunsuz bir şekilde çalışabilmesi için bu aşamadaki basınç artış oranının çok yüksek olmaması tercih edilir. Tutuşma gecikmesi süresi içinde silindire püskürtülen yakıt, ısınır, O₂ ile karışır ve buharlaşır. İlk alev çekirdeği oluştuğunda, yakıtın tamamı aniden yanmaya başlar ve hızlı bir yanma meydana gelir. Hızlı yanma, aniden yükselen basınca neden olur ve motor parçaları arasındaki boşlukların hızla kapanmasıyla motorun vuruntulu ve sert bir şekilde çalışmasına yol açabilir. Bu duruma "dizel vuruntusu" denir.

Günümüzde, dizel vuruntusunu azaltmak için başlangıçta püskürtülen yakıt miktarını düşürmek amacıyla kademeli püskürtme yöntemleri geliştirilmektedir [24,26,28].

3.1.3. Kontrollü Yanma

Kontrollü yanma aşaması, maksimum basıncın olduğu andan itibaren yanmanın neredeyse tamamlandığı ana kadar geçen süreyi ifade etmektedir. Hızlı yanma sonrasındaki kısım, genellikle kontrollü yanmanın tanımıdır ve bu süre, yanma sonu sıcaklığının zirveye ulaştığı zamana kadar devam eder. Bu aşamada, basınç ve sıcaklık artış hızı genellikle kontrolsüz yanmadan daha yavaştır. Kontrollü yanma evresinde, kontrolsüz yanma aşamasında yanmamış yakıtlar ve enjektörden püskürtülen yakıtlar yanar.

KontROLSÜZ yanma safhasının ardından, silindir içindeki basınç ve sıcaklık oldukça yüksek olduğundan, enjektörden püskürtülen yakıt O₂'yle temas ettiği an hemen yanmaya başlar. Motor verimliliği açısından, yanmanın mümkün olduğunca üst ölü noktaya yakın bir zamanda tamamlanması önemlidir. Yanmanın hızı, bu aşamada, yakıt ile hava karışımının ne kadar homojen olduğuna, türbülansa, enjeksiyon karakteristiğine ve silindir içinde kalan O₂ miktarına bağlıdır.

Kontrollü yanma evresinde, basınç değişikliklerinin pistonun üst ölü noktadan uzaklaşmasındaki etkisi belirgin olup, basınç değişimi bu aşamada önemli değildir. Sıcaklık ise maksimum değerine ulaşır. Tutuşma gecikmesi sonucu püskürtülen yakıtın tamamen yanmasıyla bu aşamaya geçilir. KontROLSÜZ yanma sonrasında basınç ve sıcaklık çok yüksek olduğu için, bu evreden sonra püskürtülen yakıt, O₂'yle birleşip daha hızlı bir şekilde yanar. Bu evrede, yanmanın hızı, yakıt buharının havayla karışmasına bağlıdır [5,29,30].

3.1.4 Art Yanma

Kontrollü yanmanın sona erdiği, egzoz supabı açık konumda olduğu anda oluşan reaksiyonlara "art yanma" denir. Bu evrede, püskürtme sona erdikten sonra silindir içinde yakıt artıkları ve henüz tam yanmamış yanma ürünleri, türbülans ve O₂ miktarının etkisiyle yanma sürecini sürdürür. Pistonun alt ölü noktaya doğru ilerlemesiyle birlikte, önündeki hacmin genişlemesi sonucunda basınç ve sıcaklığın azaldığı bir süreci tetikler.

Art yanmanın motor verimi bakımından en kısa sürede gerçekleşmesi istenmektedir. Kontrollü yanma sırasında silindir içindeki yakıtın tamamı yanmaz ve bir kısmı genişleme zamanı boyunca yanmaya devam eder. Bu art yanma süresinin kısa olması, motor veriminin düşmemesi için önemlidir. Eğer art yanma süresi uzunsa, bu durum silindir kapağının, silindir yüzeylerinin ve piston kafasının aşırı ısınmasına, segman yuvalarında ise karbon atıklarının birikmesine neden olabilir.

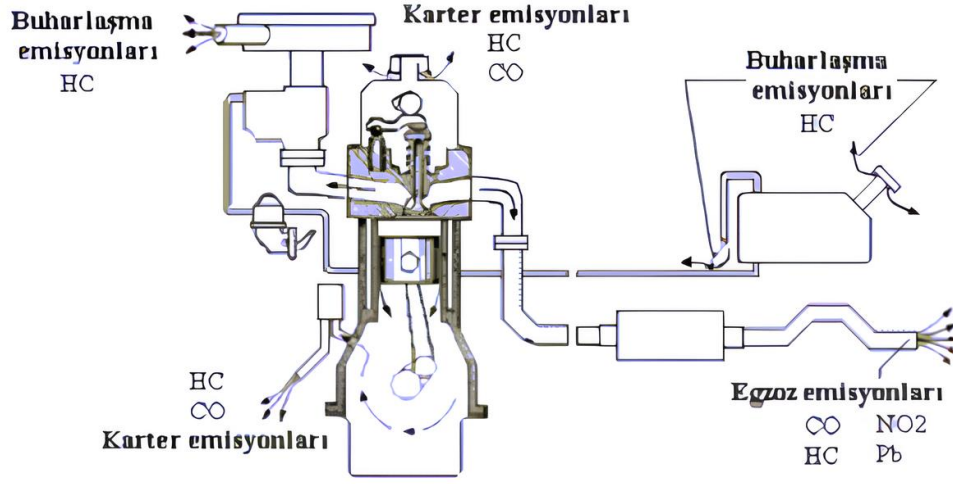
Yanma aşamalarının yanı sıra, motor performansını etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Dizel yakıt püskürtme zamanı, H/Y karışım oranı, sıkıştırma oranı,

dizel yakıt miktarı, motor devri, emme havası sıcaklık ve basıncı gibi etkenler arasında yer alır. Bu faktörlerin optimize edilmesi, güç, yakıt tüketimi ve emisyon değerlerinde iyileşme sağlayabilir.

Art yanmanın sona erdiği noktaya "yanma sonu" denir ve bu noktada ısı yayılımı sıfıra düşer. Egzoz zamanı gelmeden önce yanmanın tamamlanması önemlidir, çünkü tamamlanmamış yanma ürünleri ve artık yakıt, emisyonların ve motor performansının olumsuz etkilenmesine neden olabilir. Bu nedenle, yanma sonu ve art yanma süreçleri, dizel motorların verimliliği ve emisyonlarının kontrol edilmesi açısından dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir [25,30,31].

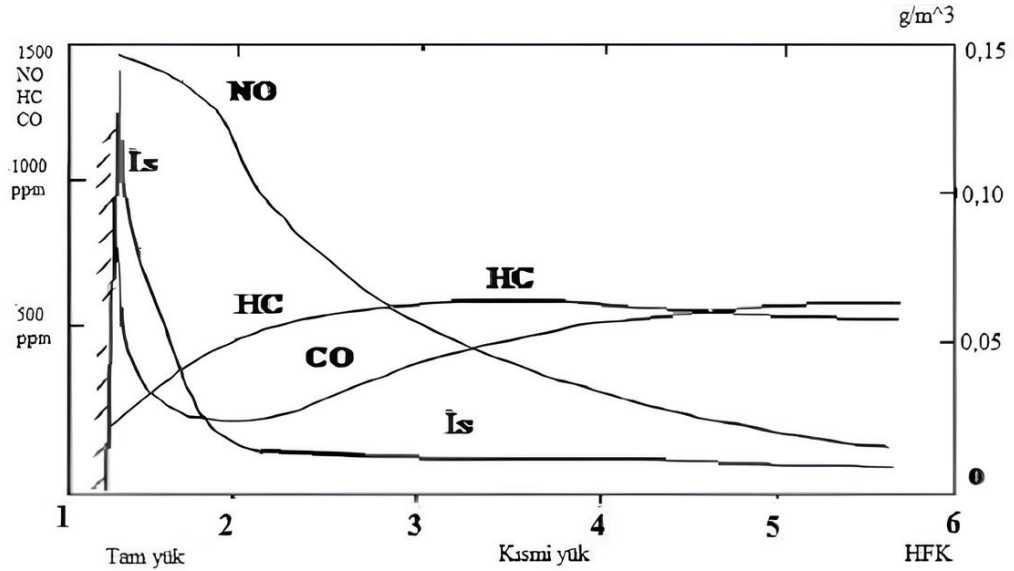
3.2 DİZEL MOTORLARDA KİRLLETİCİ EMİSYONLAR

Hava kirliliği, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde farklı kaynaklardan kaynaklanan ciddi bir çevresel sorundur. Özellikle kentsel bölgelerde görülen hava kirliliğinin ana kaynaklarından biri, içten yanmalı motorlardır. Dizel motor yakıtı, temelde HC kökenlidir ve yanma sürecine bağlı olarak çeşitli yanma ürünleri ortaya çıkmaktadır. İdeal bir yanma sürecinde (teorik tam yanma), hava içindeki O₂, yakıt içindeki C ile reaksiyona girerek CO₂ ve H₂ ile H₂O üretir. Ancak, atmosferdeki N₂ bu reaksiyona katılmaz ve doğrudan dışarı atılır. CO₂, atmosferde bir sera gazı olarak işlev görür ve bu, küresel iklim değişikliğine sebep olabilir. Diğer yanma ürünleri ise hava kalitesini bozabilir ve solunum yolu hastalıklarına yol açabilir. Hava kirliliği hem insan sağlığı hem de çevre üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir. Bu nedenle, emisyonları azaltmak ve daha temiz enerji kaynaklarına geçiş gibi çevresel önlemler, hava kalitesini iyileştirmek ve çevreyi korumak için önemlidir [8,20,25].



Şekil 3.2. Motorlu taşıtlardaki kirletici emisyon noktaları [11].

Çalışma koşullarına bağlı olarak tam yanma gerçekleşmez ve yanma sonucunda CO, HC, kükürt oksitler (SO_x), partikül maddeler (PM), NO_x, is ve aldehitler gibi kirletici emisyonlar atmosfere salınır. Bu emisyonlar, hava kirliliği ve çevresel sorunlar için önemli bir tehdit oluşturur [20].



Şekil 3.3. Dizel motorunun egzozunun kirletici emisyonlarının konsantrasyonu [11].

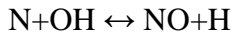
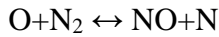
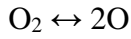
3.2.1. Azotoksit Emisyonu (NO_x)

NO_x emisyonları, içten yanmalı motorlar gibi yanma süreçlerinin gerçekleştiği mekanizmalardan kaynaklanan önemli kirletici maddeler arasında yer almaktadır. Bu

emisyonların temel kaynağı, yanma işlemi sonucunda atmosfere salınan NO_x bileşikleridir, bunlar arasında NO ve NO₂ özellikle öne çıkar. Yanma sırasında, silindir içerisine alınan havada yaklaşık %79 oranında bulunan N₂, yüksek sıcaklıklar ve O₂'nin varlığı ile reaksiyona girerek NO_x'lerin oluşumuna neden olmaktadır [31].

NO_x emisyonlarının miktarı, bir dizi faktöre bağlı olarak değişir. Bunlar arasında sıcaklık, O₂ konsantrasyonu, yanma süresi, püskürtme zamanı, yakıtın özellikleri ve yanma odasına alınan hava miktarı gibi parametreler yer almaktadır. Özellikle yüksek yüklerde çalışan dizel motorlar, maksimum basınç ve sıcaklık değerlerinin artmasıyla birlikte, karışımın daha geniş bir bölgede stokiyometrik orana yakın bir şekilde yanmasını teşvik eder. Bu durumda NO_x oluşumu artar [22].

NO_x emisyonlarının oluşumunu açıklamak için yaygın bir model olarak zeldowich mekanizması olarak bilinen mekanizma kullanılmaktadır. Bu mekanizma, NO'nun yanma işlemi sırasında ani bir aşamada oluştuğunu ve daha sonra bir kısmının NO₂'ye dönüştüğünü öne sürer. Bu nedenle, NO_x emisyonlarını kontrol etmek ve azaltmak için yanma süreçlerinin ve yakıt özelliklerinin dikkate alınması önemlidir [23]. Zeldowich mekanizması aşağıda gösterilmiştir ;



NO_x emisyonlarının oluşumunu etkileyen birçok kimyasal reaksiyon ve parametre vardır. Bu reaksiyonlar genellikle yukarıdaki gibi tersinir niteliktedir ve fakir H/Y karışımlarında daha belirgin hale gelir. Yüksek sıcaklık, N₂ ve O₂ moleküllerinin ayrışmasına neden olur, bu da NO_x emisyonlarının artmasına yol açar. Özellikle 1800 K'nin üzerindeki sıcaklıklarda, atmosferdeki moleküler N₂ ve O₂ atomik formlara dönüşür ve bu reaksiyonlara karışırlar. NO emisyonlarının meydana gelmesi sıcaklıkla orantılı olarak artar ve NO emisyonları daha fazla O₂ ile NO₂ emisyonlarına dönüşebilir. Ayrıca, N₂ içeren yakıtların yanması organik NO_x

oluşumuna yol açabilir. Yakıtın N_2 içeriği, NO_x emisyonlarının oluşumunda önemli bir rol oynar [26].

Yakıtın setan sayısı, NO_x emisyonları üzerinde önemli bir etkiye sahip olan faktörlerden biridir. Setan sayısının artışı, püskürtülen yakıtın buharlaşma aşamasını ve tutuşmasını daha etkili hale getirir. Bu durum, tutuşma gecikmesinin kısalmasına neden olarak ani yanma aşamasının da daha kısa olmasına katkı sağlar. Bu süreçte oluşan NO_x emisyonu miktarında bir azalma gözlemlenir. Ancak, setan sayısı düşük olan yakıtların tutuşma gecikmesi uzayabilir ve bu durum, yakıtın birikmesine yol açabilir. Ani yanma aşamasına geldiğinde, fazla birikmiş yakıtın yanması sırasında sıcaklık artar. Bu artış da NO_x emisyonlarının oluşmasına katkıda bulunur. Sonuç olarak, yakıtın setan sayısı, NO_x emisyonlarını kontrol etmek ve azaltmak için dikkate alınması gereken bir önemli faktördür [9].

NO_x emisyonlarını azaltma konusunda etkili bir yöntemde, Egzoz Gazı Resirkülasyonu (EGR) veya püskürtmenin geciktirilmesi gibi yöntemlerle silindir basınçlarını düşürmektir. Bunun yanı sıra, değişken supap zamanlaması ve katalitik konvertör gibi dış sistemler de NO_x emisyonlarını azaltmaya yönelik olarak kullanılabilir. Bu tedbirler, motorlu taşıt endüstrisinde NO_x emisyonlarını kontrol etmek ve çevresel etkilerini minimize etmek amacıyla yaygın bir şekilde uygulanmaktadır [29].

3.2.2. Hidrokarbonlar (HC)

Motor egzoz gazlarının büyük bir kısmı HC bileşiklerini içerir ve bu durum, yanmanın tam olarak gerçekleşmemesi sonucunda ortaya çıkar. Bu sorunun temel nedenleri, yetersiz sıcaklık veya O_2 seviyeleri nedeniyle yanmanın tamamlanamamasıdır. Silindir içindeki H/Y karışımının belirli bölgelerinde çok zengin veya çok fakir karışım oranları oluşabilir. Bu durum, oksidasyon reaksiyonlarının yavaşlamasına ve yanmanın tamamlanmamasına neden olur. Özellikle motorun bazı bölgelerinde, H/Y karışımının yanmanın tamamlanması için gerekli koşulları sağlayamadığı durumlar söz konusudur. Bu bölgeler arasında silindir içi soğuk cidarlar (silindir duvarları, silindir kafası ve piston üst yüzeyi gibi)

bulunur. Bu bölgelerdeki ısı kayıpları, alevin sönmesine neden olabilir. Ayrıca, piston-silindir arası gibi dar bölgelerde alevin ilerleyememesi ve sönmesi sorununa yol açabilir [11,32].

Dizel motorlardaki HC emisyonları, motorun yanma sürecinin karmaşıklığından kaynaklanan bir sorundur. Bu emisyonlar, bozulmamış yakıt moleküllerinden veya motor yağından kaynaklanır. HC emisyonları, yanma işlemi sırasında farklı aşamalarda meydana gelebilir. Özellikle tutuşma gecikmesi periyodu boyunca, zengin H/Y karışımları nedeniyle veya karışımın tam olarak tutuşmaması sonucu HC emisyonları oluşur. Tutuşma gecikmesi sırasında, yakıt molekülleri tam olarak yanmaz ve yanma ürünleri eksik kalır. Aynı zamanda, yanma sonrası püskürtülen yakıtın yavaşça hava ile karışması, yanma sürecini etkileyerek eksik yanma ve HC emisyonlarının artmasına neden olabilir. Özellikle düşük yükte çalışan motorlarda ve zengin karışım koşullarında, HC emisyonları daha belirgin hale gelir. HC emisyonlarının başlıca kökeni, yanma odasındaki karışımın yeterince zengin olmayan bölgeleridir [22].

HC emisyonlarının oluşumu, karmaşık bir süreçtir ve özellikle motor yükü, yanma odası koşulları, hava emiş türü (doğal emişli veya aşırı doldurmalı) ve yakıt sistemi gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişir. Bu emisyonların meydana gelme süreci, karışımın aşırı zengin olduğu ve buharlaşmanın yavaş gerçekleştiği durumların birleşimi sonucu ortaya çıkar. Yakıtın buharlaşma hızı ve yanma odasında bulunan yakıt ile hava arasındaki oran, karışımın meydana gelme hızını belirleyen kritik faktörlerdir.

HC emisyonları genellikle, karışımın oluşum aşamasında veya püskürtme işlemi sonunda büyük yakıt partiküllerinin hava ile yeterince homojen bir şekilde karışmamasının sonucudur. Bu sorunlar özellikle soğuk alev bölgesi, püskürtülen yakıtın çekirdeği, silindir cidarları ile temas eden bazı yakıt bölgeleri, püskürtme hızı ve art püskürtme ile ilgili olabilir. Ayrıca, yakıtın özellikleri, motorun tasarımı ve motor işletme parametreleri de HC emisyonlarının oluşumunu etkileyen önemli faktörlerdir [22].

3.2.3. Karbonmonoksit (CO) Emisyonları

CO emisyonları genellikle buji ateşlemeli motorlarda daha yaygın olarak karşımıza çıkan bir sorundur, ancak dizel motorlarda genellikle düşük seviyelerde gerçekleşir. CO emisyonları, HC yakıtlarının tam olarak yanması sonucunda meydana gelen bir yan üründür. Bu eksik yanma, yanma odasında yetersiz O₂ ve düşük sıcaklık koşulları nedeniyle ortaya çıkar. Yanmanın ilerleyen aşamalarında oluşan CO emisyonları, farklı oksidantlarla reaksiyona girerek CO₂ emisyonlarına dönüşür. Ancak düşük yanma odası sıcaklığı ve yetersiz O₂ seviyesi nedeniyle, bu reaksiyonlar gerçekleşmez ve CO emisyonları artar.

Zengin yakıt karışımları genellikle daha fazla CO emisyonuna neden olur, ancak dizel motorlar hava fazlalığı ile çalıştığından, CO emisyonları genellikle düşük seviyelerdedir. Dizel motorlar, yüksek yanma sıcaklıkları, yeterli O₂ seviyeleri ve hızlı karışım teşkili ile CO emisyonlarının oksidasyonunu kolaylaştırır [33].

Biyoyakıtlar, içerdikleri O₂ nedeniyle yanma sürecini iyileştirir ve CO emisyonlarını azaltır. Ayrıca, biyoyakıtların, dizel yakıtlara göre daha düşük C/H oranına sahip olduklarından CO emisyonlarında da azalmaya katkı sağlarlar. Bu nedenle, biyoyakıtların kullanımı CO emisyonlarını önemli ölçüde azaltabilir [34-36].

3.2.4. İs (Partikül) Emisyonları

Dizel motorların PM emisyonları, genellikle benzinli motorlara göre dezavantajlıdır ve bu durum dizel yakıtın yapısındaki daha fazla C atomundan kaynaklanır [23]. Bu emisyonlar, genellikle yanmamış yakıt ve yağlama yağı gibi organik bileşenlerin yanma sonucunda oluşan C içerikli materyallerin (is) egzoz aracılığıyla atılmasıyla meydana gelir [22]. Yakıt damlacıklarının içinde bulunan H₂ molekülleri, daha reaktif olduğundan, içerideki C atomları yeterince O₂ ile reaksiyona giremez ve yanmadan is partikülü olarak egzozdan çıkar [26].

İs oluşumunun temel kaynağı, dizel yakıtının silindir içerisinde yeterli hava alamaması veya hava ile hızlı bir şekilde karışmaması, buharlaşmamasıdır [20].

PM'nin bir kısmı çözünebilir fraksiyon olarak adlandırılırken, diğer kısmı çözünmez veya kuru fraksiyon olarak adlandırılır. Kuru fraksiyon genellikle is emisyonlarının tahmininde kullanılır. Dizel egzozundan kaynaklanan PM içindeki is oranı değişkenlik gösterse de genel olarak %40-%50 veya daha fazladır. PM'nin diğer bileşenleri ise kısmi yanmış yakıt veya yağlama yağı, su, aşınmış metal parçacıkları ve sülfatlardan meydana gelir. Sülfürik asit/sülfat oranı, yakıtın içerdiği S miktarına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Yanmamış yakıt ve yağlama yağı (yani çözünebilir organik fraksiyon) oranı ise motor tasarımına ve işletme koşullarına bağlı olarak farklılık arz eder ve kütleli olarak %10 ile %90 arasında değişebilir [9].

Dizel motorlarda is emisyonları, eksik yanmanın bir belirtisi olup, aşırı zengin H/Y oranının veya kısmen buharlaşabilen yakıt taneciklerinin etkisiyle ortaya çıkar. İS emisyonlarının oluştuğu koşullara bağlı olarak, HC veya diğer mevcut moleküller is taneciklerinin üzerine yoğuşabilir veya is tanecikleri tarafından absorbe edilebilir. İS emisyonları, yüksek sıcaklıkta yakıtça zengin bölgelerde buhar fazından katı faza geçiş sırasında meydana gelir [9,22].

Biyoyakıt kullanımı, is emisyonlarında azalmaya sebep olmaktadır. Bu durum, biyoyakıtın etkili bir şekilde yanabilmesi, yüksek viskoziteye sahip olması, O₂ içeriği, düşük C/H oranı ve aromatik bileşenlerin düşük olması gibi özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Biyoyakıtın C içeriği, dizel yakıtına göre daha düşüktür ve bir yakıtın içerdiği C miktarı arttıkça is üretimi de artma eğilimindedir [25].

3.2.5. Kükürtdioksit Emisyonu (SO₂)

Petrolün içerisinde bulunan S, dizel yakıtının da içeriğinde S taşımaya neden olur. Yanma sürecinde dizel yakıtındaki S, O₂ ile reaksiyona girerek SO₂ emisyonlarının oluşmasına yol açar. Bazen, yakıt içerisindeki S sülfürik aside dönüşebilir, bu da motor parçalarını aşındırabilir. SO_x emisyonları, yakıtın içerdiği S elementinden kaynaklanır ve O₂ ile temas ettiğinde SO₂ oluşur. Bu emisyonlar suyla reaksiyona girdiğinde sülfürik asit meydana gelir. Sülfürik asit, motorda korozyona ve parçaların aşınmasına yol açabilir. Aynı zamanda doğada asit yağmurlarına neden olabilir [8].

Bu nedenle S içeriğinin düşürülmesi, dizel yakıtların çevresel etkilerini azaltmak için önemli bir adımdır.

Biyokütle, geleneksel dizel yerine kullanıldığında S içeriği neredeyse sıfır olan bir yakıttır. Bu nedenle, biyoyakıt kullanımıyla yanma sürecinde oluşan SO₂ emisyonlarının azaltılması mümkündür.

Ayrıca, biyokütle, geleneksel dizelden daha düşük bir aromatik HC içeriğine sahiptir ve bu da yanma sürecini iyileştirebilir, bu da kirlilik emisyonlarını azaltmaya yardımcı olur.

BÖLÜM 4

DİZEL YAKITIN ÖZELLİKLERİ

İçten yanmalı motorlar, farklı yakıtları kullanarak enerji üreten mekanik sistemlerdir. Bu motorlar, benzin ve dizel gibi sıvı HC'ler, etanol ve metanol gibi çeşitli alkoller, metan, propan, bütan ve etan gibi gaz yakıtlar dahil olmak üzere çeşitli yakıt türlerini kullanabilirler [37].

Ham petrolün damıtma işlemi sırasında elde edilen üçüncü ürün dizel yakıttır, 180-350°C arasında kaynama sıcaklığına sahiptir ve yoğunluğu 805-850 kg/m³'tür [25]. Dizel yakıtı için özellikle parafin, aromatik ve naften grubu HC'ler tercih edilir. Dizel yakıtı, kerozen ile yağlama yağı arasında geniş bir üretim aralığına sahip olan özgül ağırlık ve damıtma özellikleri bakımından öne çıkan bir yakıt kategorisidir [37]. Dizel yakıtının tercihinde önemli faktörlerden biri, yakıtın düşük sıcaklıklarda sorunsuzca pompalanabilme özelliği olan soğuk akış özellikleridir. Bu, soğuk hava koşullarında motorun düzgün çalışmasını sağlamak için önemlidir [25].

Başka bir önemli karakteristik de setan sayısıdır. Setan sayısı, yakıtın motordaki sıkıştırma sonucu ortaya çıkan yüksek hava sıcaklığında kendiliğinden tutuşma yeteneğini belirleyen bir parametredir. Yüksek bir setan sayısı, tutuşma gecikmesini azaltır ve bu da yanma odasında aniden artan basınca karşı bir engel oluşturur [38].

Dizel motorları, benzinli motorlara göre daha yüksek tork ürettikleri için özellikle ticari ve ağır vasıtalarda tercih edilirler. Ayrıca, daha yüksek sıkıştırma oranları ve ekonomiklikleri vardır. Ancak, dizel motorları pahalıdır, aynı motor hacmine sahip benzinli motorlara göre üst hızları daha düşüktür ve daha sık bakım gerektirebilirler. Ek olarak, gürültülü ve titreşimli çalışırlar. Yüksek silindir içi sıcaklıkları nedeniyle daha fazla kurum, is ve diğer emisyonlar üretebilirler [39]. Kullanılan yakıtın özellikleri, kalitesi, bileşimi ve motor çalışma parametrelerine bağlı olarak dizel

motorların performansı, yanma verimi ve emisyonları değişebilir. Dizel motorlar, önemli miktarda NO_x ve is emisyonu üretebilirler [5].

4.1. SETAN SAYISI

Dizel yakıtların performansını ve emisyonlarını etkileyen en temel özelliklerden biri setan sayısıdır. Setan sayısı, yakıtın özelliğini tanımlayan ve dizel motorlarının verimliliği üzerinde büyük bir etkiye sahip olan bir değerdir. Bu sayı, yakıtın sıkıştırma sonucu ısınan hava içinde kendi kendine tutuşma yeteneğini ifade eder.

Setan sayısının yüksek olması, yakıtın kendiliğinden yanma kabiliyetini artırır ve tutuşma gecikmesini azaltır. Bu, motorun daha hızlı bir yanma sürecine sahip olmasını sağlar ve güç çıkışını artırabilir. Ayrıca, yanma odasında biriken yakıtın aniden yanmasını önler, bu da hızlı basınç artışını kontrol altında tutar. Tutuşma gecikmesinin kısılması, yakıt ve hava karışımının silindir içinde tam olarak homojen bir şekilde karışmasını hızlandırır. Ancak, aşırı yüksek setan sayısı, motorun performansını düşürebilir ve is emisyonlarını artırabilir [40].

Öte yandan, düşük setan sayısına sahip yakıtların kendiliğinden yanma kabiliyeti daha düşüktür. Bu, tutuşma gecikmesinin uzamasına neden olur ve yanma odasında yakıtın tam olarak karışmasına yardımcı olur. Ancak çok düşük setan sayısı, özellikle soğuk hava koşullarında motorun zorlanmasına neden olabilir. Bu durum, yanma süresince basınç artışının hızlı olmasına ve yanma gürültüsünün artmasına yol açabilir. Ayrıca, düşük setan sayısı, motorun daha fazla emisyon üretmesine neden olabilir, özellikle HC emisyonlarında artış görülebilir [41].

Setan sayısının artması, NO_x emisyonlarını azaltabilirken CO emisyonlarını bir miktar azaltabilir. Motorun tam yük şartlarında yüksek setan sayısının HC emisyonlarına neredeyse hiçbir etkisi yoktur. Fakat orta ve düşük yük koşullarında, yüksek setan sayılı yakıtların HC emisyonlarını azaltıcı bir etkisi vardır. Motorun performansı, motor momenti ve yakıt ekonomisi setan sayısının artışıyla çok az miktarda iyileşir [42].

Sonuç olarak, yakıtın setan sayısı, dizel motorlar için kritik bir öneme sahiptir ve motor üreticileri ve kullanıcıları, motorun ihtiyaçlarına uygun yakıtı seçerken bu değeri dikkate almalıdır. Genellikle, setan sayısının 45 civarında olması önerilir, çünkü bu değer, yakıtın motor için uygun yanma yeteneğine sahip olduğunu gösterir. Ancak belirli motor tipleri ve kullanım koşulları, en uygun setan sayısı değerini etkileyebilir. Yakıtın dizel indeksi yükseldikçe kendi kendine tutuşma kabiliyeti artar ve bu, motor performansı, emisyonlar ve yakıt tüketimi üzerinde önemli bir rol oynar. Bu nedenle, yakıt seçiminde dikkatli olunmalı ve motorun gereksinimlerine uygun bir yakıt tercih edilmelidir [43].

4.2. VİSKOZİTE

Viskozite, sıvıların akış direncini ifade eden bir özelliktir ve genellikle moleküller arası sürtünme sonucu ortaya çıkar. Yakıt viskozitesi, özellikle besleme ve enjeksiyon sistemlerinde kritik bir parametredir [44]. Bu nedenle, yakıtın viskozitesi, motor performansını ve emisyonlarını etkileyen önemli bir faktördür [45].

Yakıtın viskozitesi azaldıkça, borulardaki akış direnci azalır ve enjeksiyonla oluşturulan yakıt demeti içindeki yakıt damlacıkları daha küçük hale gelir [46]. Sonuç olarak, motorun yanma verimliliği artar ve duman emisyonları azalır. Ancak, viskozite çok düşükse, yakıt sisteminde sızıntılara yol açabilir [47].

Öte yandan, yüksek viskoziteli yakıtların kullanılması, akış hızını azaltabilir, püskürtme açısını daraltabilir ve yakıt pompasının düzgün çalışmasını engelleyebilir [22,48]. Ayrıca, yüksek viskoziteli yakıtların püskürtülmesi daha zor olabilir ve yakıtın atomizasyon kalitesini düşürebilir, bu da tutuşma gecikmesini uzatabilir [49]. Yakıt viskozitesi daha da arttığında, silindire püskürtülen yakıtın tanecik çapları büyür ve büyük yakıt taneciklerinin yavaş yanmasına neden olur, bu da motor performansını olumsuz etkileyebilir [50].

Sonuç olarak, yakıtın viskozitesi, motor performansını ve emisyonlarını doğrudan etkileyen bir parametredir. Bu nedenle, motor üreticileri ve kullanıcıları, viskoziteyi dikkatlice kontrol etmeli ve belirli bir aralık içinde tutmalıdır. Hem çok yüksek hem

de çok düşük viskoziteli yakıtlar, motor performansını olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle, uygun viskozite seviyelerine sahip yakıtların kullanılması, hem motor verimliliği hem de emisyonlar açısından önemlidir [5].

4.3. YOĞUNLUK

Yoğunluk, birim miktar yakıtın kütlesine denk gelir ve motor performansı açısından büyük öneme sahiptir. Özellikle dizel enjeksiyon sistemlerinde, yakıtın yoğunluğu, hacimsel olarak püskürtüldüğünden, bu özellik çıkış gücünü etkileyebilir.

Yakıtların yoğunluğu, genellikle özgül ağırlık ile orantılıdır. Yakıtın özgül ağırlığı ne kadar düşükse, tutuşma o kadar hızlı gerçekleşir. Bu nedenle, dizel yakıtların karakteristik özellikleri, setan sayısı, viskozite, aromatik içerik gibi faktörler, yakıtın yoğunluğunu etkiler. Bu da motor performans verileri ve emisyon değerlerinin yoğunluğa bağlı olarak değişmesine neden olur.

Yüksek yoğunluklu yakıtlar, yakıtın atomize olmasını zorlaştırır ve silindire püskürtülen yakıtın hava ile homojen bir şekilde karışmasını engelleyebilir. Bu durum, yanma süreçlerini etkiler ve yanma sonu ürünlerini de olumsuz yönde etkileyebilir. Diğer yandan, düşük yoğunluğa sahip yakıtlar, sabit bir yakıt tüketim miktarını artırabilir. Bu da motorun daha fazla yakıt tüketmesine neden olabilir. Dolayısıyla, uygun yoğunluk seviyelerine sahip yakıtların kullanılması hem motor performansı hem de yakıt verimliliği açısından önemlidir.

Sonuç olarak, yoğunluk, motor performansı üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir ve yakıtın yoğunluğu, motorun verimliliğini ve emisyonlarını etkileyen önemli bir parametredir. Bu nedenle, motor üreticileri ve kullanıcıları, yakıtın yoğunluğunu dikkatlice kontrol etmeli ve belirli bir aralık içinde tutmalıdır. Bu hem motorun uzun ömürlü olmasına hem de çevresel etkilerin azaltılmasına yardımcı olabilir [51].

4.4. PARLAMA ve ALEVLENME NOKTASI

Parlama noktası, yakıtların risk sınıflandırılmasında büyük öneme sahip bir özelliktir. Bir sıvı yakıtın yanabilmesi için, bu yakıtın buharının havayla belirli oranlarda karışmış olması gereklidir. Yakıt ne kadar kolay buharlaşırsa, hava ile yanabilir bir karışım oluşturması da o kadar kolay olur. Bu kolay yanabilirlik özelliği, yakıtın parlama noktası ile tespit edilir [25].

Yakıtlar, içlerinde yanabilecekleri sıcaklıklardan daha düşük sıcaklıklarda buhar haline geçebilen maddeler içerdiği için, buharları belirli bir sıcaklıkta alev alabilirler. Bu sıcaklık, "parlama noktası" olarak adlandırılır. Parlama noktası, dizel yakıtlar gibi özel türdeki yakıtlar için depolama ve yangın önleme açısından büyük bir öneme sahiptir.

Emniyet açısından, yakıtların parlama noktası genellikle 65-150°C arasında olmalı ve 36°C'nin altına düşmemelidir. Parlama noktasındaki sıcaklık değeri, bir yakıtın alev alma riskini belirlemek için kullanılır. Alevlenme sıcaklığı, parlama sıcaklığından biraz daha yüksektir ve bu da yakıtın daha güvenli bir şekilde kullanılmasını sağlar [20].

Parlama noktası hem sıcaklıkla hem de H/Y karışımının tutuşma sınırları ile ilgilidir, bu nedenle yakıtın buharlaşma miktarına ve buharlaşma basıncına bağlıdır. Bu özellikler, yakıtların güvenli depolanması ve kullanılmasında kritik öneme sahiptir.

Sonuç olarak, parlama noktası, yakıtların yanma davranışını ve alev alma riskini belirleyen önemli bir özelliktir. Bu nedenle, endüstriyel ve güvenlik standartlarının gerekliliklerine uygun olarak yakıtların parlama noktalarının dikkatle izlenmesi ve kontrol edilmesi önemlidir.

4.5. ISIL DEĞER

Yakıtların en önemli özelliklerinden biri, ısıl değeridir. Bu özellik, yakıtın içerisindeki kimyasal enerjinin yanma reaksiyonu sonucu serbest hale dönüşen enerji

miktarını ifade eder. Başka bir deyişle, yakıtın içindeki potansiyel enerjinin bir ölçüsüdür [52]. Yakıtın enerji içeriğini belirtmek için alt ısı değerler, üst ısı değerler veya kalorifik değer gibi terimler kullanılır. Üst ve alt ısı değerler arasındaki fark, yanma sırasında oluşan su buharının buharlaşması için gereken enerjiyi temsil eder [53].

Genel olarak, yüksek yanma içeriğine sahip yakıtlar kullanıldığında daha yüksek güç ve yakıt verimliliği elde edilir [54]. Ancak düşük ısı değere sahip yakıtlar kullanıldığında motor gücü ve momentinde düşüşler görülebilir [51]. Yüksek ısı değeri, yakıtın içindeki enerjinin yüksek olduğunu gösterir. Ancak, yanma sonucu oluşan egzoz gazları genellikle H₂O içerdiğinden, alt ısı değeri hesaplamalarında bu kayıp dikkate alınarak yakıtın ısı değeri belirlenir. Yakıtın düşük ısı değere sahip olması, ÖYT’de artışa neden olabilir [55].

Ayrıca, yakıtın C zincirinin uzunluğu arttıkça ısı değeri de artar. H₂ ve C atomlarının sayısı O₂ moleküllerine göre fazla olduğunda ısı değeri artar [56]. Ayrıca, nano parçacıkların dizel yakıtına katılması da ısı değeri artırabilir [57].

Sonuç olarak, yakıtların ısı değeri, motor performansı ve yakıt ekonomisi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Daha yüksek ısı değere sahip yakıtlar, genellikle daha verimli bir enerji dönüşümü sağlar, ancak bu özelliklerin yanı sıra yanma sonucu emisyonları ve diğer faktörler de dikkate alınmalıdır. Bu nedenle, yakıt seçimi ve kullanımı, belirli uygulamalara ve motorlara bağlı olarak dikkatlice değerlendirilmelidir [58].

4.6. SOĞUK AKIŞ ÖZELLİĞİ

Dizel motorlar, yakıtın türüne ve özelliklerine büyük önem verirler. Bu nedenle, kullanılan yakıtın soğuk hava koşullarında nasıl davranacağını anlamak kritiktir [59]. Yakıtın soğuk havalarda yanması ve silindirlere enjekte edilmesi, bazen zorlu bir görev olabilir. Bu bağlamda, bulutlanma noktası önemli bir faktördür [39]. Bulutlanma noktası, yakıtın içinde kristalleşmenin başladığı sıcaklık noktasını temsil eder. Dizel yakıtı için bulutlanma noktası genellikle -15°C olarak kabul edilir. Bu

sıcaklığın altına düşerse, yakıtın akışkanlığı azalır, bu da motorun düzgün çalışmasını olumsuz etkileyebilir [18].

Ayrıca, yakıtın akma noktası da büyük bir öneme sahiptir. Dizel yakıtı için akma noktası genellikle -19°C 'dir. Bu özellik, yakıtın akışkanlığının düşük olduğu sıcaklığı ifade eder. Düşük akma noktasına sahip yakıt, motor enjektörlerini tıkayabilir ve yakıtın yanması zorlaşabilir. Ayrıca, bu tür yakıtların donma riski vardır, bu da yakıt sistemi sorunlarına yol açabilir [39].

Biyodizel yakıtları da ayrı bir dikkat gerektirir. Özellikle doymuş yağ asitleri içerdiğinde, bu yakıtlar daha hızlı kristalleşmeye başlayabilir. Bu, bulutlanma noktasının pozitif sıcaklıklarda gerçekleşebileceği anlamına gelir, bu da soğuk hava koşullarında kullanıldığında sorunlara neden olabilir [55].

Sonuç olarak, yakıtın iklim koşullarına uyumunu kontrol etmek için bulutlanma noktası, akma noktası ve diğer özellikler göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle soğuk bölgelerde veya mevsimlerde dizel motorlarının sorunsuz çalışabilmesi için bu parametreleri takip etmek önemlidir [60].

4.7. UÇUCULUK

Uçuculuk, dizel motorlarında kullanılan yakıtlar için benzine göre daha yüksek bir uçuculuk gereksinimi duyulsa da iyi bir çalışma performansı ve temiz bir yanma için önemlidir. Yakıtın yanabilmesi ve motorun düzgün çalışabilmesi için H/Y karışımının doğru oranda olması gereklidir. Bu nedenle, damıtma özellikleri uçuculuk hakkında önemli ipuçları sunar. İyi kaliteli petrol bazlı yakıtlar genellikle 200°C ila 300°C arasında kaynama derecelerine sahiptir [9].

Uçuculuk, yakıtın belirli sıcaklık aralıklarında buharlaşma yeteneğini ifade eder. Bu, motorun başlangıçta daha kolay çalışmasına yardımcı olur ve aynı zamanda H/Y karışımının yanma verimliliğini artırır. Dizel motorlarının verimli çalışabilmesi için buharlaşma, yanma odasına düzgün bir şekilde dağılan yakıtın hızla buharlaşması gereklidir.

Sonuç olarak, yakıtların uçuculuk özellikleri, dizel motorlarının performansı ve emisyonlarını etkileyen önemli bir faktördür. İyi bir uçuculuk, motorların daha temiz ve daha verimli bir şekilde çalışmasına yardımcı olur.

4.8. KÜKÜRT İÇERİĞİ

S (kükürt), dizel yakıtların içeriğinde bulunan ve hem partikül oluşumunu hem de korozyon riskini artırabilen zararlı bir etkidir. Aynı zamanda, S'in yakıtlardaki yağlama özelliği de göz ardı edilemez. Bilimsel çalışmalar sonucunda, biyoyakıtların düşük S içeriği nedeniyle tercih edilen bir seçenek olduğu kanıtlanmıştır [61].

S seviyeleri, partikül oluşumunu artırmanın yanı sıra korozyon riskini de artırabilir. Özellikle düşük sıcaklıklarda, motor parçalarında yüksek düzeyde korozyon oluşabilir [62]. Yakıt içindeki S, O₂ ile tepkimeye girerek SO₂ ve SO₃ emisyonlarını oluşturur. Oluşan SO₃, yanma sonu ürünlerinden H₂O birleşerek sülfürik asidi oluşturur. Bu asitler, korozyonun yanı sıra piston halkaları ve silindir duvarlarının aşınmasına da yol açabilir [59].

Biyoyakıtlar hammaddelerinde, dizel yakıtlarına kıyasla çok az miktarda S bulunur. Bu, biyoyakıtların çevresel etkileri azaltmak isteyenler için cazip bir seçenek haline getirir [63].

Motor bileşenleri, çalışma sırasında sürtünme nedeniyle aşınır. Bu aşınmaları önlemek için parçaların yağlanması gereklidir. Ancak, dizel yakıtlarının S içeriği, emisyonları azaltmak amacıyla düşük tutulurken, yağlayıcı özelliklerini azaltabilir. Bu bağlamda, biyoyakıtlar, yağlama özellikleri yüksek olan bir yakıt seçeneği sunar [64].

Sonuç olarak, S'in yakıtlara etkisi hem çevresel hem de motor performansı açısından önemlidir. Bu nedenle, düşük S içeriğine sahip biyoyakıtlar, motorlar için daha iyi bir seçenek olarak kabul edilmektedir.

4.9. SU İÇERİĞİ

Bitkisel yağlar, temel olarak H₂O içermezler. Ancak, biyoyakıt üretimi ve depolanması sırasında H₂O'nun karışması olasıdır. Bu nedenle, biyoyakıtların içindeki H₂O miktarı mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır. Standart değer üzerinde bir H₂O birikmesi, yakıtın kalitesini düşürebilir. Bu, enjeksiyon sistemlerinde aşınmaya, oksidasyona ve nihayetinde filtrelerin tıkanmasına neden olabilir [65,66].

Yakıtlarda belirli bir miktarda H₂O bulunması, motorlar için dezavantajlı bir durum olarak kabul edilmez. Belirli bir H₂O /yakıt emülsiyon oranı elde edildiğinde, yanma sıcaklığını düşürebilir ve NO_x emisyonlarını azaltabilir. Ancak, yüksek basınçlı enjeksiyon sistemlerinde H₂O ve yakıtın ayrılması gerekmektedir [25]. Bu ayrılan H₂O, enjektör sistemlerinde bölgesel çürümeye neden olabilir [64].

Sonuç olarak, bitkisel yağların içeriğindeki H₂O, motorlar için genellikle sorun teşkil etmez. Ancak, H₂O miktarının kontrol edilmesi ve belirli bir seviyede tutulması önemlidir. Bu, yakıtın yanma verimliliğini artırabilir ve emisyonları azaltabilir. Yüksek basınçlı enjeksiyon sistemleri kullanılıyorsa, H₂O ve yakıtın ayrılmasına dikkat edilmelidir, çünkü bu ayrılma enjektör sistemlerinde sorunlara yol açabilir.

4.10. ANILIN NOKTASI

Anilin noktası, bir yakıt ile anilinin eşit hacimlerde karıştığı ve homojen bir karışım oluşturduğu sıcaklık değerini ifade eder. Anilin, parafinik HC'lerin yalnızca ısıtıldığında eritebilen, ancak aromatik HC'leri doğrudan eritebilen bir eriticidir. Bu özellik, yakıtın bileşimini incelemek ve özellikle parafinik ve aromatik bileşenlerin miktarını belirlemek için kullanılır [67].

Anilin noktası testi, motorin gibi bir yakıt ile anilin karıştırılır ve karışım ısıtılır. Isıtma süreci sırasında, motorin anilin içinde tamamen erir. Ancak, eriyik soğumaya bırakıldığında, parafinik bileşenlerin yavaşça ayrıştığı ve iki ayrı tabakanın oluştuğu

gözlemlenir. İşte bu ayrışma ve tabakalaşma sürecinin gerçekleştiği sıcaklığa "anilin noktası" denir [67].

Yüksek bir anilin noktası, yakıtın düşük aromatik içeriğini gösterir. Bu, yakıtın daha fazla parafinik HC içerdiği ve belirli performans özelliklerine sahip olduğu anlamına gelir. Anilin noktası, yakıtın bileşimini ve performansını değerlendirmek için önemli bir gösterge olarak kullanılır [8].

BÖLÜM 5

DİZEL MOTORLARDA KULLANILAN NANOPARÇACIKLAR

Nanoparçacıklar, gelişen nanoteknolojinin önemli bir ürünü olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu minik parçacıklar, otomotiv, kozmetik, ilaç, biyomedikal, petrokimya, elektronik ve yakma sistemleri gibi birçok alanda geniş bir uygulama potansiyeline sahiptir. Nano boyutları ve farklı yüzey yapıları nedeniyle diğer malzemelerden üstün özelliklere sahip olan nanoparçacıklar, büyük yüzey/hacim oranı, gelişmiş mekanik dayanım, yüzey atomlarının farklı karakteristikleri, kuantum boyut etkileri ve parçacığın boyut bağımlılığına bağlı olarak benzersiz avantajlar sunmaktadır [68-70].

İçten yanmalı motorlarda, genellikle O₂ içeren katkıların emisyon ve yanma üzerinde olumlu etkileri bilinmektedir. Ancak, bu katkılar genellikle motorun küçük eklentilere veya yakıtın kimyasal ve fiziksel özelliklerinde değişikliklere ihtiyaç duymasına neden olabilir. Öte yandan, nano parçacıklar belirli oranlarda yakıtı eklenerek herhangi bir değişiklik yapmadan kullanılabilir. Bu katkıların en önemli özellikleri, yanmayı ve emisyonları iyileştirmelerinin yanı sıra motor performansını, ısı yayılımını ve termik verimi artırmaktadır. [71].

Yakıt katkıları, içten yanmalı motorlarda yanma ve yakıt kalitesini iyileştiren, verimi yükselten ve emisyon değerlerinin azalmasına yardımcı olan maddelerdir. Metal bazlı katkı maddeleri, O₂ içerikli katkı maddeleri, antioksidanlar ve setan iyileştiriciler gibi dört farklı katkı maddesi bulunmaktadır. Özellikle O₂ içerikli katkı maddeleri, uçuculuğu, parlama noktası, setan sayısı ve kalorifik değerleri üzerinde doğrudan etki yaparak yanmayı kolaylaştırır [72].

Nanoparçacıklar, 1-100 nanometre aralığında boyutlara sahip partikül dispersiyonları veya katı partiküller olarak tanımlanır. Bu minik boyutları nedeniyle nanopartiküller üstün özelliklere sahiptir. Yüksek yüzey alanı, üstün yanma özellikleri, yüksek reaktivite, daha kısa tutuşma gecikmesi ve hızlı enerji salınımı gibi avantajlar sağlar. Nanopartiküllerin yakıtta eklenmesi, NO_x ve CO emisyonlarını azaltma, motor gücünü artırma, ÖYT'yi iyileştirme ve termik verimde mükemmel etkiler gösterir. Ayrıca, kinematik viskozite, parlama noktası ve akma noktası gibi özelliklerinde de üstünlük sağlar. Nanopartiküllerin eklenmesiyle yakıtın uçuculuğu bir miktar azaltılabilir [4].

5.1. TİTANTUM OKSİT (TiO₂)

Doğal olarak oluşan TiO₂, Ti (titanyum) elementinin bir atomuna iki O₂ molekülünün bağlanmasıyla meydana gelir. Günümüzde, özellikle güneş kremleri, yiyeceklerde beyaz renk pigmenti olarak ve duvar resim boyalarında geniş bir uygulama alanına sahiptir.

İlmenit, rutil ve anataz gibi mineral kayalardan elde edilen TiO₂, dünya genelinde en çok üretilen nanometaryellerden biridir ve her yıl 9 milyon tonun üzerinde üretimi gerçekleştirilmektedir. TiO₂ nanopartikülleri, geniş yüzey alanları sayesinde diğer moleküllerle etkili bir fotokatalizör olarak kullanılmaktadır.

TiO₂'nin yakıt katkısı olarak kullanılması, yüksek yüzey alanı-hacim oranı ve reaktif yüzey alanının artmış olması nedeniyle yakıt karışımlarının hızlı oksidasyonuna sebep olur. Bu durum, yüksek yanma entalpisi sağlayarak enerji yoğunluğunu artırır. Aynı zamanda, TiO₂'nin yüksek buharlaşma hızı, daha iyi atomizasyon, akıcı H/Y karışımı ve alev sürdürülebilirliği sağlar, bu da tutuşma gecikmesinde önemli bir azalmaya yol açar.

TiO₂'nin kısa ateşleme gecikmesi, daha iyi atomizasyon ve daha hızlı, yüksek reaktif yüzey ile birleşerek silindir içinde daha yüksek miktarda ısı salınımı ve basınçla sonuçlanır. Bu nanopartiküller aynı zamanda, daha yüksek ısı transfer özellikleri ile silindir içi yanmayı katalitik bir şekilde iyileştirir [75].

Ti, dünya genelinde en yaygın bulunan elementlerden biri olup, korozyona dayanıklı olması ve hafif olmasına rağmen güçlü etkiler gösterebilmesiyle dikkat çeker. TiO_2 , yüksek yüzey alanı, güçlü metal destek etkileşimi, kimyasal kararlılık ve asidik-bazik özellikleri nedeniyle heterojen katalizör olarak büyük bir potansiyele sahiptir. TiO_2 , 1855 °C erime sıcaklığına sahip beyaz bir madde olarak bilinir ve kimyasal etkilere karşı direnç özelliği ile öne çıkar [76,77].

5.2. GRAFEN OKSİT (GO)

Grafen ailesi nanomalzemeleri, biyouyumluluk özellikleri ve üstün fizikokimyasal karakteristikleri sayesinde nanoteknoloji ve biyotıp alanlarında önemli uygulamalara sahiptir. Bu aile içerisinde, özellikle grafen (G) ve grafen oksit (GO), ilaç dağıtımı alanında sıkça kullanılan, teşhis, tedavi ve önleyici tıbbi ürünler için yeni taşıyıcılar olarak bilinen nanomalzemelerdir. Hem G hem de GO, tek C atomu tabakalarının düzenli bir şekilde iki boyutlu bir kristal kafes içinde yer aldığı malzemelerdir. Ancak, GO özel kimyasal modifikasyona sahip, H_2O 'da stabilize edici bir ajan olarak işlev gören ve küçük moleküllere kovalent olarak bağlanabilen oldukça reaktif O_2 fonksiyonel gruplarıyla özel bir kimyasal yapıya sahiptir. GO nanomalzemelerinin boyutları ve yüzey oksidasyonu, çeşitli modellerde özelliklerini ve ilişkili toksisiteyi potansiyel olarak etkileyebilmektedir.

Farklı çalışmalar, nano boyutlu GO'nun hücre plazma zarı ve yüzey reseptörleri ile etkileşime girerek girdiğini ve boyutunun GO'nun içselleştirilmesi ve hücre içi kaderi için önemini ima ettiğini göstermiştir. Hücrelerde, zarla bütünleşik bir protein olan epidermal büyüme faktörü reseptörü (EGFR) genellikle fiziksel strese ve mekanik yaralanmaya yanıt olarak aktive olmaktadır.

G, atomik olarak ince bir yapıya sahip olan ve bal peteği şeklindeki sp^2 C atomlarından oluşan iki boyutlu (2D) bir levhadır. Yüksek mekanik mukavemet, elektriksel iletkenlik, moleküler bariyer yetenekleri ve diğer birçok istenilen özelliğe sahip olduğu bilinmektedir. Bu özelliklerinden dolayı, G'nin polimer bazlı nanokompozitlere dahil edilmesi, özellikle bu alandaki araştırmalarda önemli bir odak noktası olmuştur. Ancak, bozulmamış G'nin kullanımı, zor aşağıdan yukarıya

sentez, düşük çözünürlük ve çözeltide aglomerasyon gibi zorluklar nedeniyle zordur. Alternatif olarak, G yapısına benzer bileşikler, yukarıdan aşağıya bir yöntemle grafit veya diğer C kaynaklarından sentezlenebilir. Bu bileşikler, bozulmamış G'nin avantajlarını korurken, yüzeyi işlevselleştirilmiş O₂ grupları ile doldurarak daha fazla kullanım esnekliği sağlamaktadır. Grafitin protonlanmış çözücülerde oksidasyonu, çok sayıda istiflenmiş GO katmanının oluşumuna yol açar. GO, G'ye benzer bir altıgen C yapısına sahiptir ancak aynı zamanda hidroksil (-OH), alkoksi (C-O-C), karbonil (C=O), karboksilik asit (-COOH) ve diğer O₂ bazlı fonksiyonel grupları içermektedir. Sentez kolaylığı yanında, bu O₂'li gruplar, daha yüksek çözünürlük ve nanokompozit malzemelerde kullanım için birçok fırsat sunan yüzey işlevselleştirme olasılıkları ile bilinmektedir [78,79].

5.3. ALÜMİNYUM OKSİT (Al₂O₃)

Alüminyum, kimyasal sembolü Al, atom numarası 13 ve yoğunluğu 2,70 gr/cm³ olan hafif bir metaldir. Gümüş rengindeki bu metal, asit-baz katalizör destekleri ve bileşenleri olarak yaygın olarak kullanılan Al₂O₃'ler içermektedir. Özellikle Al₂O₃'ün asit-baz özelliklerinin reform+ proseslerinde katalizör verimini güçlü bir şekilde etkilediği tespit edilmiştir.

Al, yeryüzünde O₂ ve silisyumdan sonra en bollukla bulunan elementlerden biridir. Ancak doğada saf halde bulunmaz; genellikle oksit ve silikatlar gibi bileşikler halinde bulunur. Al'ın elde edilmesi, birincil ve ikincil üretim olmak üzere iki ana yöntemle gerçekleşir. Birincil Al üretimi, doğada bulunan boksit cevheri ile yapılırken, ikincil üretim hurda Al'nın geri dönüşümü ile sağlanır.

Boksit ham maddesinden Al elde etmek için dünya genelinde tercih edilen yöntemler arasında Bayer yöntemi ön plandadır. Bu yöntemde, boksit cevherinden alümina elde edilir ve ardından elektroliz ile saf alüminyum üretilir. Örneğin, 4 ton boksit cevherinden 2 ton alümina elde edilir ve bu Al'den 1 ton saf Al üretilmiş olur. Avrupa ülkeleri, çevre sorunlarına yönelik artan duyarlılık nedeniyle ikincil Al üretimine yönelmişlerdir. Alüminyum oksitler, saflık derecelerine göre kahverengi, beyaz veya pembe renkte bulunabilirler. Bu oksitler, Al metalinin O₂'ye karşı yüksek

duyarlılığından kaynaklanır. Yüksek sertlik değerleri ve dayanım ömürlerinden dolayı yüzey işlem sektörlerinde yaygın olarak tercih edilirler ve genellikle aşındırıcı malzeme olarak kullanılırlar. Al_2O_3 'ün erime noktası $2072^\circ C$ 'dir.

Al_2O_3 , dünya genelinde en yaygın inorganik malzeme olması ve çeşitli endüstrilerde kullanılabilen termal özellikleri nedeniyle optik, manyetik, mekanik, elektronik, kesici uç, cam katkısı ve refrakter malzeme sektörlerinde önemli bir rol oynamaktadır. Al_2O_3 'ün kolay ulaşılabilirliği, düşük maliyeti ve kolay üretilebilirliği, genel olarak diğer malzemelere göre tercih sebebi olmuştur [27,80,82].

5.4 SERYUM OKSİT (CeO_2)

CeO_2 nano parçacıklarının yanma prosesi sırasındaki katalitik rolü, çoklu yanma reaksiyonlarına önemli bir katkı sağlamaktadır. CeO_2 eklenmesiyle yanma reaksiyonlarının hızı artmakta ve yanma verimi daha etkili bir şekilde gerçekleşmektedir. Bu katalitik etkinin temel sebeplerinden biri, CeO_2 nano parçacıklarının geniş yüzey/hacim oranıdır.

CeO_2 nano parçacıkları, özellikle O_2 'nin bol olduğu koşullarda, bu O_2 moleküllerini depolayabilir ve O_2 bakımından yetersiz olan bölgelere ulaştığında depolanan O_2 'yi serbest bırakarak bir O_2 tamponu oluşturabilir. Bu sayede oksidasyon süreci iyileşir, yakıt moleküllerine daha fazla O_2 ulaşır ve yanmanın verimliliği artar. Bu özellik özellikle PM emisyonlarında azalmaya katkıda bulunur.

Ce moleküllerinin yanma sürecinde bulunması, H ve C atomlarının birleşmesi için gerekli enerjiyi azaltabilir, bu da emisyon değişimlerini olumlu yönde etkileyebilir. CeO_2 nano parçacıklarının yanma sırasında silindir içi sıcaklığa etki ettiği gözlemlenmiş olup, ısıyı emerek silindir içindeki sıcaklığı düşürebilirler.

Örneğin, 10-30nm boyutlarındaki CeO_2 nano parçacıklarının iletim elektron mikroskobu (TEM) görüntüsü, malzemenin nanoskala boyutlarda olduğunu göstermektedir. Bu boyut, malzemenin yüksek reaktivite ve geniş yüzey alanı avantajlarından kaynaklanan katalitik etkinliğini artırabilir [82].

5.5. BOR OKSİT (B₂O₃)

B₂O₃ nanoparçacıkları, benzer özelliklere sahip diğer nanoparçacıklarla karşılaştırıldığında, potansiyel avantajlar sunabilir. Kimyasal sembolü "B" olan ve atom numarası 5'e sahip olan B, gümüş renkli, hafif bir metal olup, erime noktası 2077 °C ve kaynama noktası 3866 °C olan bir yarı metaldir. Doğada elementel halde bulunmayan B, çeşitli metal ve ametal elementlerle farklı özelliklere sahip bileşikler oluşturur. Bu özellik, borun çeşitli B bileşikleri (B mineralleri) şeklinde doğada bulunmasına ve geniş bir kullanım alanına sahip olmasına katkı sağlar, bu alanlar arasında cam sanayi, deterjan üretimi, metalürji, savunma sanayi, tarım, sağlık ve enerji bulunmaktadır.

Dünya genelinde 230'dan fazla B minerali bulunsa da ekonomik açıdan önemli olan yaklaşık 15 mineral bulunmaktadır. Türkiye, dünya B rezervlerinin %73'ünü barındırarak stratejik bir B kaynağına sahiptir. Son yıllarda, Türkiye'de bor ürünlerinin kullanım alanlarını genişletmeye yönelik çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmektedir.

Bor nanoparçacıkları, yüksek enerji yoğunluğu nedeniyle yakıtta eklenerek ikincil enerji taşıyıcısı olarak işlev görebilir. Ayrıca, termal iletkenlik ve ısı aktarım hızı açısından nano yakıtın termo-fiziksel özelliklerini geliştirerek yakıt kaynaklı katalizör görevi üstlenebilirler. Elementel B, sıvı H₂'den daha fazla enerji içeriğine sahip olmasıyla yüksek enerjili bir yakıt olarak değerlendirilebilir. Ancak, B'nin doğrudan yakıt olarak kullanılmasını sınırlayan yüksek tutuşma sıcaklığı, yüksek tutuşma direnci ve yanma için saf O₂'ye ihtiyaç duyması gibi faktörler bulunmaktadır. B, kristal formda kimyasal olarak inerttir; ancak yanma sırasında ortaya çıkan toksik B emisyonları insan sağlığına zarar verebilir ve yanma sonrası sistemlerde kurum/tortu birikintilerine neden olabilir.

B₂O₃ nanoparçacıkları genellikle amorf bir yapıya sahiptir ve mikron boyutlarda öğütülerek nano boyutlara indirgenebilir. Bu nanoparçacıkların özellikleri, yaklaşık 2,46 g/cm³ yoğunluğa, 460°C erime noktası sıcaklığına, 1860°C kaynama noktası

sıcaklığına, 0,345 W/mK ısı iletim katsayısına ve 10-50 m²/g aralığındaki yüzey alanına sahiptir. Bu özellikler, B₂O₃ nanoparçacıklarını yanma ve yakıt uygulamaları için potansiyel bir malzeme haline getirir [83].

BÖLÜM 6

MATERYAL VE METOT

6.1. DENEY DÜZENEĞİ VE EKİPMANLAR

Testlerde, dizel yakıt, dizel-AKPY ve dizel-AKPY-B₂O₃ karışımları kullanılmıştır. Üretilen piroliz yakıtı ve saf dizel yakıt, farklı hacim oranlarında karıştırılarak AKPY10, AKPY20, AKPY30 adlı karışımlar oluşturulmuştur. Bu karışımların performansını değerlendirmek amacıyla referans olarak dizel yakıt kullanılmıştır. Ayrıca, AKPY20 yakıtına 20, 40 ve 60 ppm miktarlarında B₂O₃ nanopartikülleri eklenerek yeni yakıt karışımları, sırasıyla AKPY20BO20, AKPY20BO40 ve AKPY20BO60 adlarıyla elde edilmiştir. Bu yakıt karışımlarının değerlendirilmesi için AKPY20 yakıtı referans olarak alınmıştır.

Deneysel çalışma, tek silindirli, dört zamanlı, hava soğutmalı, doğal emişli bir dizel motor-jeneratör seti üzerinde gerçekleştirilmiş ve motor verileri alınmadan önce motor kararlı hale gelene kadar çalıştırılmıştır.

Testler, 3000 d/dk sabit hızda ve 500 W aralıklarla 500-3000 W motor yükü aralığında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler, farklı karışımların motor performansı üzerindeki etkilerini değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Deney düzeneğinin görünümü Şekil 6.1'de gösterilmiştir.



6.1. Şekil Deney Düzenegi

Deneyisel çalışmalar, dört zamanlı tek silindri Lutian 3GF-ME dizel jeneratör üzerinde gerçekleştirilmiştir. Motor yüklemesi için yükleme ünitesi kullanılmıştır. Şekil 6.2'de dizel jeneratör gösterilmektedir. Deney motorunun teknik özellikleri Çizelge 6.1'de, ayrıca jeneratörün özellikleri Çizelge 6.2'de detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 6.2. Deneylerde kullanılan Motor ve Jeneratör

Çizelge 6.1. Deney motorunun teknik özellikleri

Motor Özellikleri	
Üretici	Lutian
Model	LT 178F
Yakıt Tipi	Dizel
Maksimum motor hızı	3000 d/dk
Silindir Hacmi	296 cc
Strok x Çap	78x62mm
Yakıt Deposu	15 lt.
Yağ Kapasitesi	1.10lt
Yakıt Tüketimi	1.6lt/saat
Motor Gücü	7 Hp
Motor Tipi	Hava soğutmalı 4 zamanlı Tek silindirli Marşlı Direkt Püskürtmeli

Çizelge 6.2 Deney jeneratörünün teknik özellikleri

Jeneratör Özellikleri	
Üretici	Lutian
Model	Lutian 3 GF-ME
Maksimum Çıkış Gücü	3,2 kW
Sürekli Çıkış Gücü	2,9 kW
Voltaj	220V
Faz	Mono faz
Frekans	50 Hz
Boyutlar	690x470x570mm
Ağırlık	69 Kg

Deneyisel çalışmalarda, motorun yüklenmesi için 500 ve 1000 watt'lık halojen ampullerden oluşan bir yükleme ünitesi kullanılmıştır. Bu yükleme ünitesi, Şekil 6.3'te yükleme ünitesi gösterilmektedir.



Şekil 6.3 Motor yükleme ünitesi.

Deneyler esnasında egzoz emisyonlarının ölçümü için Şekil 6.4'te gösterilen BİLSA marka egzoz gaz analizörü kullanılmıştır. Ayrıca, emisyon ölçümleri için Şekil 6.5'te gösterilen özel bir prob kullanılmıştır. Deneylerde bu ekipman, CO, CO₂, HC ve NO_x

gibi emisyonları hassas bir şekilde ölçebilme yeteneğine sahiptir. Egzoz gaz analizörünün ölçüm aralıkları ve hassasiyetleri, Çizelge 6.3'te detaylı olarak belirtilmiştir.



Şekil 6.4. Egzoz gaz analizörü.



Şekil 6.5. Emisyon Ölçüm Probu.

Çizelge 6.3. Egzoz emisyon cihazı ölçüm aralıkları ve ölçüm hassasiyetleri

No.	Ölçüm Türleri	Ölçüm Aralığı	Doğruluk
1	HC (ppm)	0-20.000	1%
2	NO _x (ppm)	0-5000	0.1%
3	CO konsantrasyonu (%)	0-10	0.01%
4	CO ₂ konsantrasyonu (%)	0-20	0.01%

Dizel motorlarda is emisyonlarının ölçülmesi için özel bir cihaz kullanılmaktadır. Bu amaçla BİLSA marka bir cihaz tercih edilmiş olup, söz konusu cihaz is emisyonunu hem % cinsinden hem de K faktörü olarak ölçme yeteneğine sahiptir. İs emisyonu ölçüm sonuçları, BİLSA egzoz emisyon cihazının ekranından kolaylıkla okunabilmektedir. Şekil 6.6'da ölçüm cihazının görüntüsü verilmiştir.



Şekil 6.6. İs Emisyon Ölçüm Cihazı.

Dizel-AKPY ve B₂O₃ ile gerçekleştirilen araştırmada, yakıt tüketimini ölçmek amacıyla kütleli yöntem kullanılmıştır. Yakıt tüketimi ölçüm düzenekleri, 1 gram hassasiyetine sahip elektronik teraziler aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.7'de elektronik terazi gösterilmiştir.



Şekil 6.7. Elektronik terazi.

6.2. METOT

Deneyleerde, saf dizel ve AKPY karışımları kullanılmıştır. Kullanılan dizel yakıt ve AKPY, güvenilir firmalardan temin edilmiştir. Deneyleerde kullanılacak yakıt karışımlarının oluşturulması amacıyla B_2O_3 katkı maddesinin 20 ppm, 40 ppm ve 60 ppm miktarları SF-400C marka 210 g kapasiteli hassas terazi kullanılarak gerçekleştirilmiş ve dizel yakıtına ilave edilmiştir. Bu terazi, 0,0001 g hassasiyetine sahiptir ve terazi Şekil 6.8'de gösterilmiştir. Nano parçacık katkılı yakıt karışımları hazırlanmak için yakıtlar, ilk olarak Şekil 6.9'daki ultrasonik karıştırıcı ile karıştırılmış ardından Şekil 6.10'daki manyetik karıştırıcı kullanılarak homojen bir karışım elde edilmiştir. Elde edilen AKPY-Dizel yakıtı karışımı Şekil 6.11'de, Dizel-AKPY- B_2O_3 deney yakıtları ise Şekil 6.12'de sunulmuştur. Çizelge 6.4'te kullanılan dizel yakıtın ve AKPY yakıtının özellikleri verilmiştir.



Şekil 6.8. Hassas Terazi



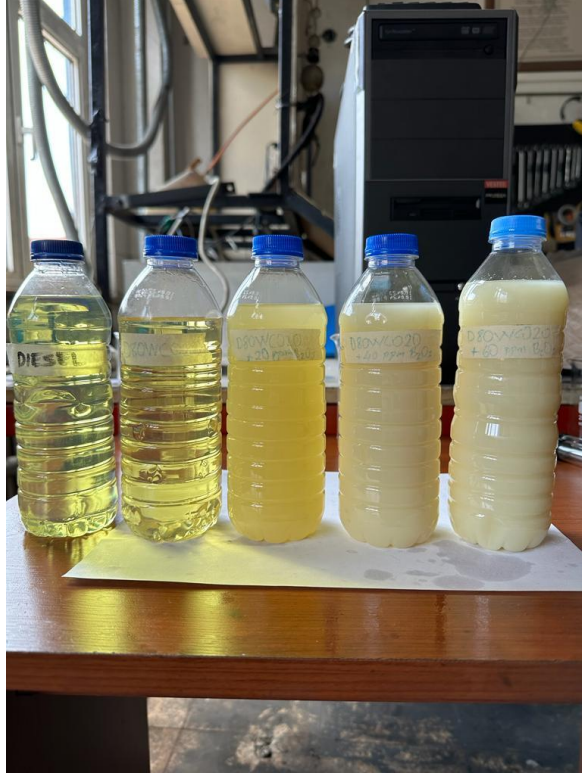
Şekil 6.9. Ultrasonik Karıştırıcı



Şekil 6.10. Manyetik Karıştırıcı



Şekil 6.11. Deney yakıtları dizel-AKPY karışımı



Şekil 6.12. Dizel-AKPY-B₂O₃ karışımı.

Çizelge 6.4. Deney Yakıtlarının Özellikleri

Özellikler	Dizel	AKPY
Kinematik Viskozite @40 ⁰ C (mm ² /s)	4,24	0,96
Alt Isıl Değer (MJ/kg)	43,2	42,5
Yoğunluk (kg/m ³)	882,5	778
Kükürt İçeriği (mg/kg)	5,5	75
Setan Sayısı	54	48

BÖLÜM 7

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMALAR

Deneysel olarak gerçekleştirilen bu çalışmada, dizel yakıtının içerisinde AKPY ve B_2O_3 nanoparçacığı ilavesinin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Motor deneyleri 6 farklı motor yükünde (500-1000-1500-2000-2500-3000 watt), standart dizel yakıtının içerisinde hacimsel olarak sırası ile %10, %20 ve %30 oranında AKPY ilave edilerek gerçekleştirilmiştir. Deneylerde AKPY20 referans olarak seçilerek içerisinde 20, 40 ve 60 ppm miktarlarında B_2O_3 nanopartikülü ilave edilmiş ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Motor performansını değerlendirmek için ölçülen ve hesaplanan parametreler arasında ÖYT yer alırken, egzoz emisyonları açısından NO_x , is, CO, CO_2 ve HC değişkenleri üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir.

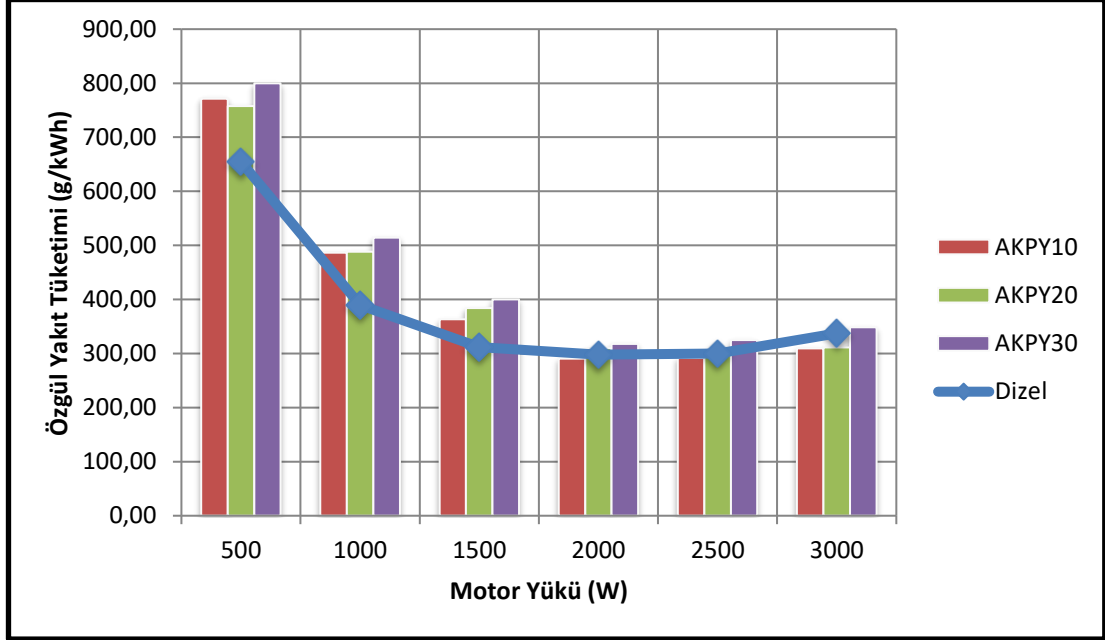
7.1 MOTOR PERFORMANS SONUÇLARI

7.1.1 Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT)

Dizel+AKPY yakıt karışımının dizele göre ÖYT'deki değişimi, farklı yük seviyelerine ve AKPY karışım oranlarına bağlı olarak değişimi Şekil 7.1'de gösterilmiştir. ÖYT, bir güç birimi başına tüketilen yakıt miktarını ifade eder. Optimal yanma koşulları sağlanmadığında, yakıt tüketimi artar [84]. Enjeksiyon sistemi, yoğunluk, viskozite, alt ısıl değer ve yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri, ÖYT'de önemli rol oynar [25].

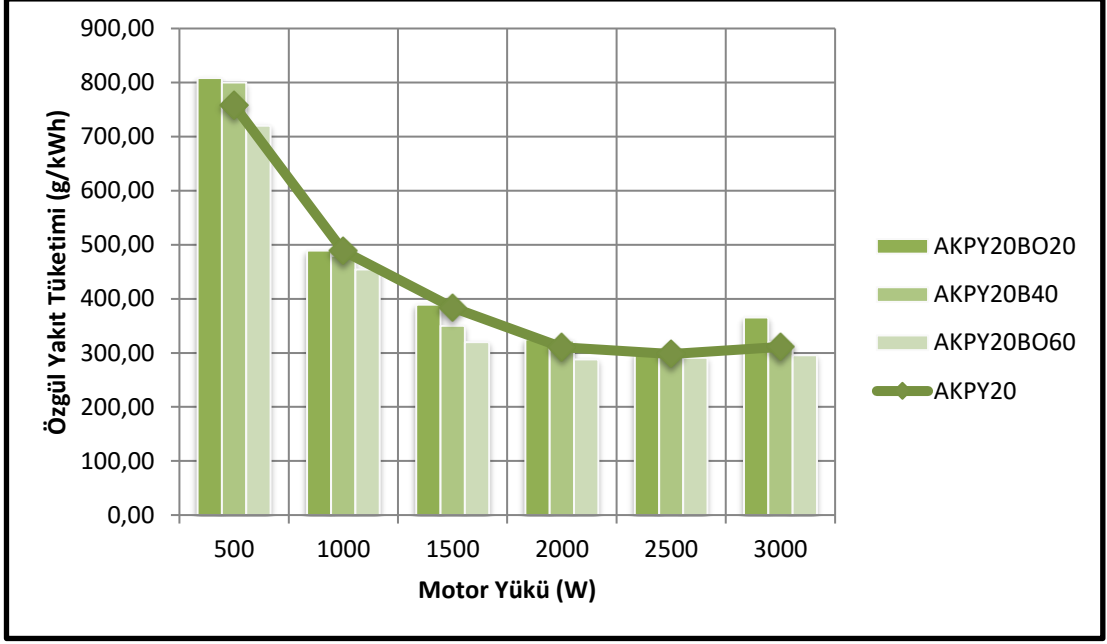
AKPY kaynaklı yakıt oranındaki artış, ÖYT değerlerinin yükselmesine sebep olur, çünkü AKPY içerikli yakıtın dizel yakıtına göre daha düşük alt ısıl değere sahip olması söz konusudur [6]. AKPY yakıtlarının alt ısıl değeri, dizel yakıtına kıyasla daha düşük olduğundan, aynı güçte çalıştırmak için daha fazla yakıt

tüketimine neden olur. Yüksek motor yüklerinde ise ÖYT dizel yakıtı göre daha düşük çıkmaktadır.



Şekil 7.1. ÖYT'nin farklı yüklere ve AKPY oranına bağlı olarak değişimi.

Dizel yakıtına eklenen AKPY miktarı arttıkça ÖYT artmıştır. Dizel yakıtı göre AKPY10, AKPY20 ve AKPY30 yakıtlarında ortalama olarak sırasıyla %7,65, %10,02 ve %16,82'lik daha fazla ÖYT değerleri sergilendiği tespit edilmiştir. %20 oranında katılan AKPY katkılı yakıt yüksek yüklerde diğer karışımlara göre daha iyi ÖYT değeri verdiği için bu karışıma 20, 40 ve 60 ppm B₂O₃ nanopartikülü katılmış ve sonuçlar Şekil 7.2'de sunulmuştur.



Şekil 7.2 AKPY20 ve B₂O₃ nanoparçacıklarının motor yüküne bağlı olarak ÖYT'ye etkisi.

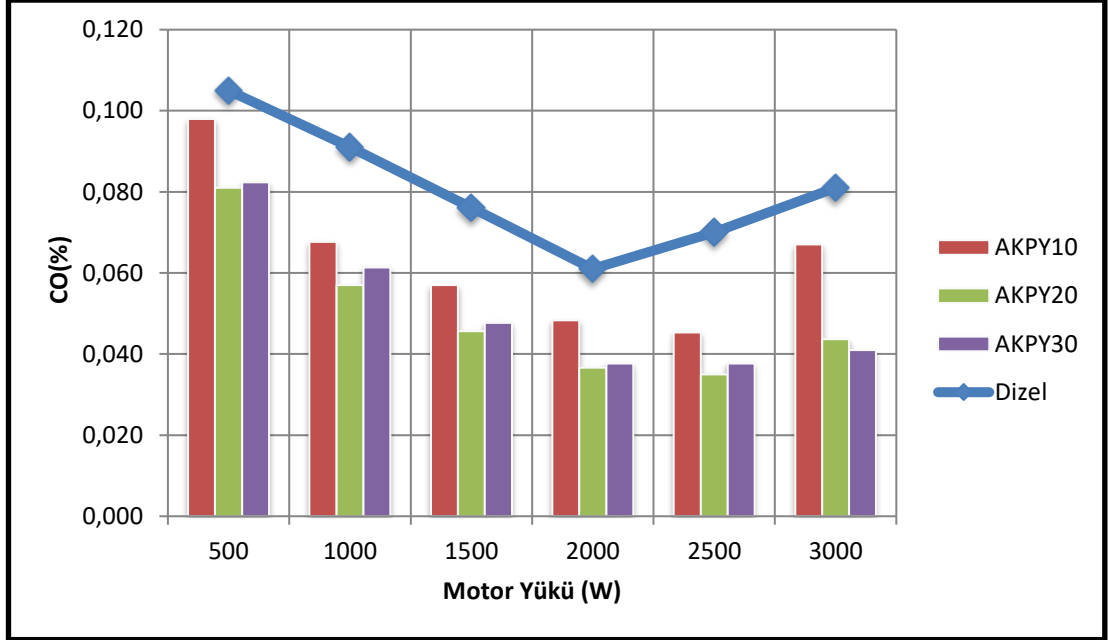
Şekil 7.2'ye yönelik analiz sonuçlarına göre, ÖYT değerlerindeki hafif değişimlerin B₂O₃ nanoparçacık konsantrasyonu ile doğru orantılı olmadığı gözlemlenmiştir. Ancak, AKPY20BO60 kullanımında, AKPY20 yakıtına kıyasla (500W'da %5; 1000W'da %6,96; 1500W'da %16,66; 2000W'da %7,2; 2500W'da %2,385; 3000W'da %4,948) ÖYT'de bir azalma gözlemlenmiştir. Bu durum, B₂O₃ nanoparçacıklarının motor performansı üzerinde olumlu bir etkinin 60 ppm konsantrasyonunda belirginleştiğini göstermektedir. 20 ppm ve 40 ppm B₂O₃ nanoparçacıkları konsantrasyonlarının motor performansını iyileştirmede yetersiz kaldığı ifade edilebilir. Ancak, genel olarak değerlendirildiğinde ÖYT'de belirgin bir fark gözlemlenmemiştir.

7.2. EGZOZ EMİSYONLARI

7.2.1. CO Emisyonu

CO, içten yanmalı motorlarda eksik yanma sonucu oluşan ve çevre ile insan sağlığı üzerinde zararlı etkilere neden olan bir emisyonudur. CO emisyonu, C ve H₂ içeren yakıtların O₂ ile yeterince oksidasyon olmaksızın yanması sonucunda meydana gelir; aynı zamanda kötü hava sürüklenmesi ve eksik yanma durumlarından

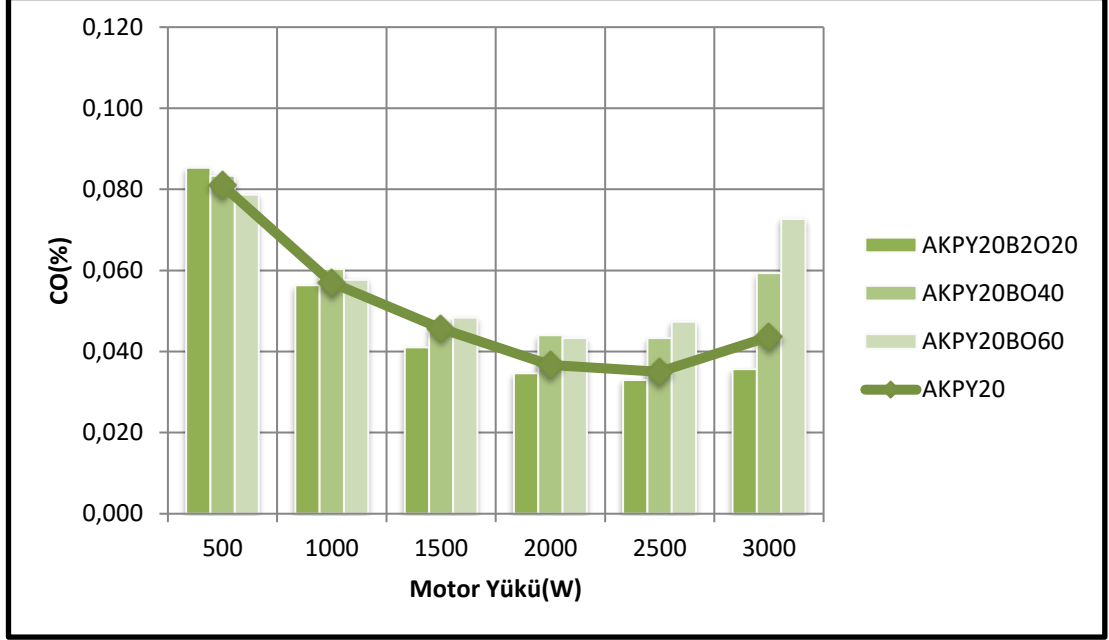
kaynaklanabilir. CO, zehirli bir gazdır ve bu nedenle kontrol altında tutulmalıdır [85]. CO gazının oluşumunda etkili olan önemli bir faktör hava fazlalık katsayısıdır. Hava fazlalık katsayısı, 1'den küçük olduğunda, yani zengin karışımda, O₂'nin yetersiz olduğu durumda yanma tamamlanamaz, bu da yakıtın yapısındaki C'nin CO'ya oksitlenmesine neden olur. Tüm silindir içi H/Y karışımının homojen olmaması veya bölgesel farklılıkların kısmi yanmayı tetiklemesi, CO oluşumunun temel nedenidir. Fakir karışımlı yanmalarda CO miktarı genellikle azalır ve bu durum genellikle dizel motorların fakir karışım oranlarında çalışmasıyla ilişkilidir [86,87].



Şekil 7.3. CO emisyonunun farklı yüklere ve AKPY oranına bağlı olarak değişimi.

Şekil 7.3'te görüldüğü üzere, standart dizel yakıtına eklenen AKPY ilavesinin CO emisyonları üzerindeki etkisi incelenmiştir. AKPY ilavesiyle birlikte CO emisyonları azalmıştır. AKPY10, AKPY20 ve AKPY30 yakıtlarında dizel yakıtına göre, CO emisyonunda ortalama olarak sırasıyla %21,78, %39,37 ve %37,56 azalma mevcuttur. CO emisyonlarındaki bu iyileşme, AKPY yapısında O₂ bulunmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, tam yük bölgesinde H/Y oranı azaldığı için bütün yakıtlarda CO miktarında bir artış gözlemlenmiştir. Şekil 7.3'te görüldüğü üzere en çok azalma AKPY20 yakıtında olmuştur. Bu azalma sebebiyle AKPY20 yakıtının

içerisine 20, 40, 60 ppm oranlarında B₂O₃ eklenmiştir. Şekil 7.4'te nanoparçacık ilavesinin etkileri sunulmaktadır.



Şekil 7.4. AKPY20 ve B₂O₃ nanoparçacıklarının motor yüküne bağlı olarak CO emisyonuna etkisi.

B₂O₃ nanoparçacıklarının kullanıldığı durumda, 40 ppm ve 60 ppm konsantrasyonlarında CO emisyonlarının arttığı, ancak 20 ppm konsantrasyonunda hafif bir düşüşün gözlemlendiği grafikten anlaşılmaktadır. AKPY20BO40 ve AKPY20BO60 yakıtları AKPY20 yakıtına göre, ortalama olarak CO emisyonu için sırasıyla %14,49 ve %20,66 oranında artırmıştır. Öte yandan, AKPY20BO20 yakıtı, ortalama CO emisyonunu %6 oranında azaltmıştır. Nanoparçacıkların katalitik etkisi, yanma verimini artırır [83] ve bu etki düşük B₂O₃ nanoparçacık konsantrasyonunda AKPY20BO20 yakıtında belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır.

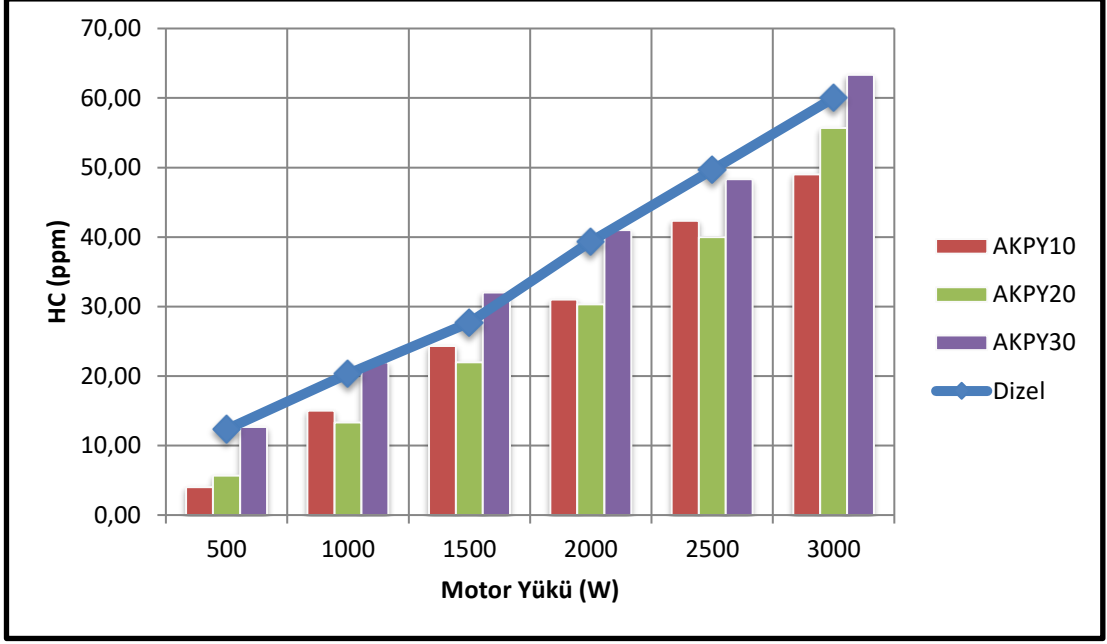
40 ve 60 ppm B₂O₃ nanoparçacık konsantrasyonunda AKPY20BO40 ve AKPY20BO60 yakıtında ise yüksek viskozite nedeniyle yanmanın olumsuz etkilendiği ve bu nedenle CO emisyonunun arttığı söylenebilir. Bu bağlamda, CO emisyonu açısından en uygun konsantrasyonun 20 ppm olduğu belirlenmiştir. Bu durum, B₂O₃ sıvı içerisindeki çözünürlüğü 20 ppm de doygunluğa ulaşmış, 40 ve 60ppm'de karışım doygunluğa ulaştığı için daha fazlası sıvı içerisinde çözünememiş buda tanecik birikmesi meydana getirmiş ve yanmayı kötü etkilemiştir. Düşük

konsantrasyonlarda katalitik etkinin belirgin bir iyileşmeye yol açtığını, ancak yüksek konsantrasyonlarda viskozite etkisi nedeniyle ters bir etkinin ortaya çıktığını göstermektedir.

7.2.2. HC Emisyonu

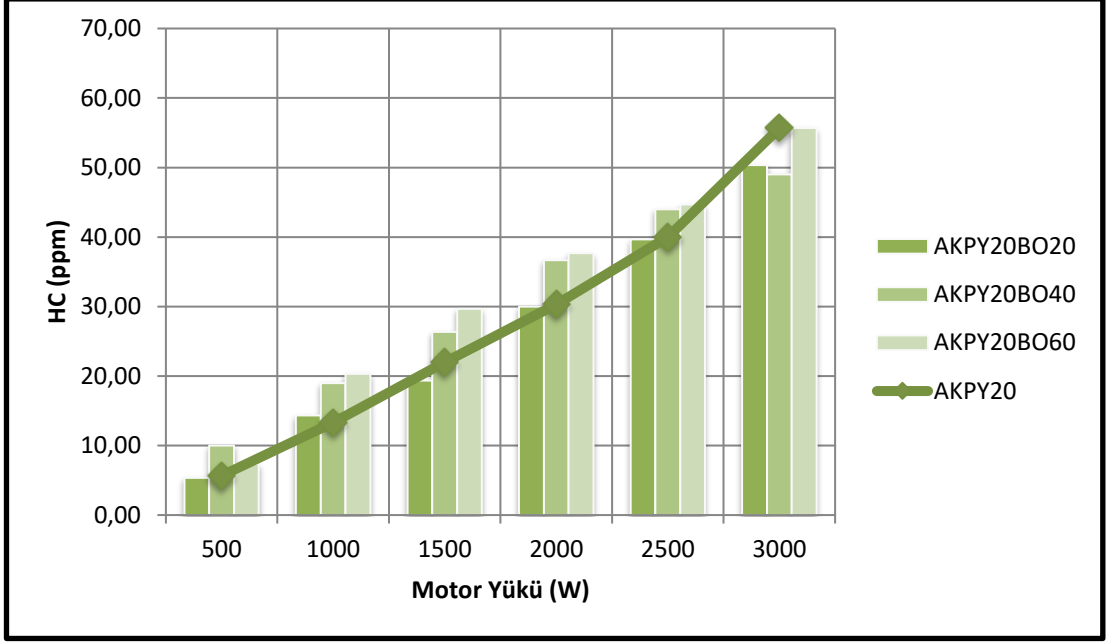
Şekil 7.5'te farklı yakıt karışımlarının ve farklı motor yüklerinin HC emisyonlarına olan etkisi incelenmektedir. Egzoz gazları içerisindeki HC emisyonu, yakıtın kısmen ya da tamamının yanmamasından kaynaklanmaktadır. HC emisyonları, silindir içindeki belirli bölgelerde, H/Y oranının çok fakir veya çok zengin olması nedeniyle eksik yanmanın meydana gelmesiyle oluşan yakıt moleküllerinden kaynaklanır ve bu durum sıcaklığın bir fonksiyonudur. Dizel motorlarında HC emisyonlarının artışının sebebi, karışımın fakirleşmesi ile yakıtın silindir içindeki belirli bölgelerde sönmesidir [88].

Şekil 7.5'e dikkat edildiğinde, AKPY oranının belirli bir seviyeye kadar arttıkça HC emisyonunun azaldığı görülmektedir. AKPY fakirleştirici etkisi nedeniyle HC emisyonlarında belirli bir seviyeye kadar bir azalma gözlemlenmiştir. En düşük HC emisyonu, AKPY20 yakıtıyla elde edilmiş ve dizel yakıtına göre ortalama olarak %26,42'lik bir azalmayı temsil etmektedir. AKPY10 ve AKPY30 yakıtlarında dizel yakıtına göre sırasıyla ortalama olarak %26,69 ve %1,47 azalmalar gözlemlenmiştir. Ancak, AKPY30 yakıtı ile karışımın daha fazla fakirleşmesiyle HC emisyonu AKPY10 ve AKPY20 yakıtlarına göre artışa geçmiştir.



Şekil 7.5. HC emisyonunun farklı yükler ve AKPY oranına bağlı olarak değişimi.

Şekil 7.6'da B_2O_3 nanoparçacık içeren yakıtların HC emisyonları üzerindeki etkisi gösterilmektedir. AKPY20BO20 yakıtının, tüm yük değerlerinde, HC emisyonunu AKPY20 yakıtına göre ortalama olarak %2 oranında azalttığı gözlemlenmiştir. Ancak, AKPY20BO40 ve AKPY20BO60 yakıtlarında %26,26 ve %24,43'lük bir artış görülmüştür. Bu sonuçlar, AKPY20BO20 yakıtındaki B_2O_3 nanoparçacıklarının katalitik etkisinden kaynaklanmaktadır. Nanoparçacıklar, yanma ortamında katalitik etki göstererek HC moleküllerinin oksitlenmesi için gerekli aktivasyon enerjisini düşürür ve daha etkili bir yanma sağlar [89]. Ancak, bu etki 40ppm ve 60ppm nanoparçacık konsantrasyonunda artan viskozite nedeniyle azalmıştır.



Şekil 7.6. AKPY20 ve B₂O₃ nanoparçacıklarının motor yüküne bağlı olarak HC emisyonuna etkisi.

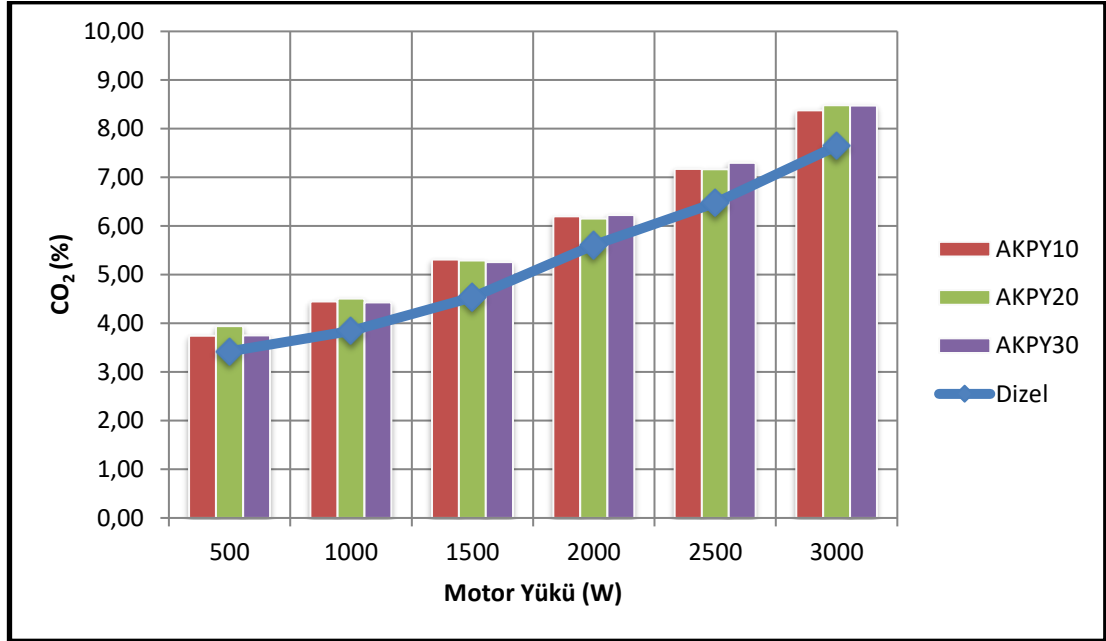
7.2.3. CO₂ Emisyonu

Şekil 7.7, CO₂ emisyonunun farklı yüklerle ve AKPY oranına bağlı olarak değişimini göstermektedir. Yakıt içerisinde bulunan yeterli O₂ miktarı, CO₂ emisyonunu artırır; çünkü CO₂, yakıt içindeki C atomlarının tam oksidasyonundan kaynaklanmaktadır. Çevresel perspektiften bakıldığında, CO₂ emisyonlarının azaltılması konusunda ciddi bir talep bulunmaktadır, zira CO₂ bileşiği sera etkisinin oluşmasında önemli ölçüde etkilidir [90].

Karışımındaki O₂ miktarı, genel olarak dizele kıyasla daha fazladır ve yük arttıkça bu miktar da artmıştır. Bu durum, başlangıçta yanmanın yeterli olduğu durumlarda CO₂ emisyonunu yükseltmiştir. Ancak, 2000W ve sonrasındaki yüklerde O₂ yetersizliği ve tam yük bölgesinde H/Y oranının azalması nedeniyle bütün yakıtlarda CO₂ miktarındaki artış azalmıştır.

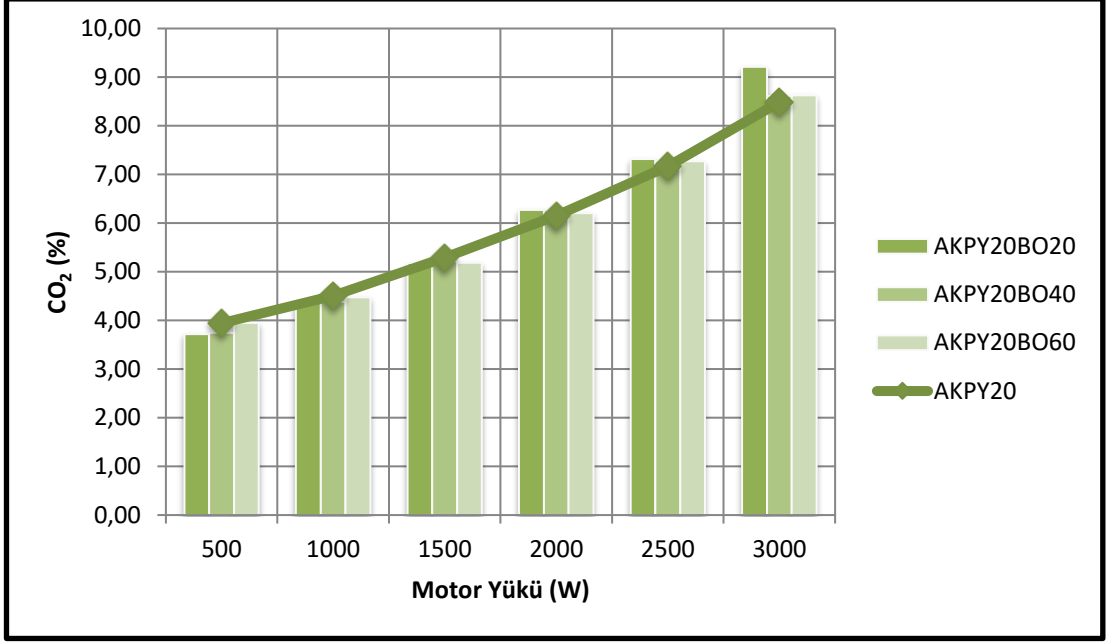
Yapılan deneyler sonucunda, dizel yakıtı kıyasla AKPY10 yakıtının minimum artan CO₂ miktarının %9,34 ile 500W yükünde görüldüğü belirlenmiştir. Benzer şekilde, AKPY20 yakıtı için bu değer 2000W'da %9,7 olarak elde edilmiş, AKPY30 yakıtında ise %9,46 ile 500W'da elde edilmiştir. Bu durumun nedeni, atık plastik

kaynaklı yakıtların dizel yakıtı göre daha yüksek C/H oranına sahip olmaları ve silindir içerisindeki C atomlarının tam oksidasyon reaksiyonlarının artmasıdır. Elde edilen bu değerler, diğer bilimsel çalışmalarla tutarlılık göstermektedir [90-92].



şekil 7.7.CO₂ emisyonunun farklı yüklere ve AKPY oranına bağlı olarak değişimi.

CO₂ miktarındaki belirgin artışın temel nedeni, CO emisyonu bağlamında önceden ifade edildiği üzere, dizel yakıtı göre daha fazla O₂ miktarının bulunmasıdır. Bu durum, tepkime sonucu dönüştürülen CO₂ miktarının artmasına neden olmaktadır.



Şekil 7.8. AKPY20 ve B₂O₃ nanoparçacıklarının motor yüküne bağlı olarak CO₂ emisyonuna etkisi.

Şekil 7.8'de, AKPY20 yakıtına farklı oranlarda eklenen B₂O₃ nanopartiküllerinin CO₂ emisyonuna etkisi gösterilmektedir. Bu grafikte, dizel yakıtı kıyasla, özellikle düşük yüklerde CO₂ emisyonlarında bir azalma ve yüksek yüklerde küçük de olsa bir artışın gözlemlendiği dikkat çekmektedir. B₂O₃ içindeki O₂'nin yüksek yüklerde katalitik etki ile açığa çıkarak oksidasyon seviyesini artırması, daha etkili bir yanmanın gerçekleşmesiyle ilişkilidir.

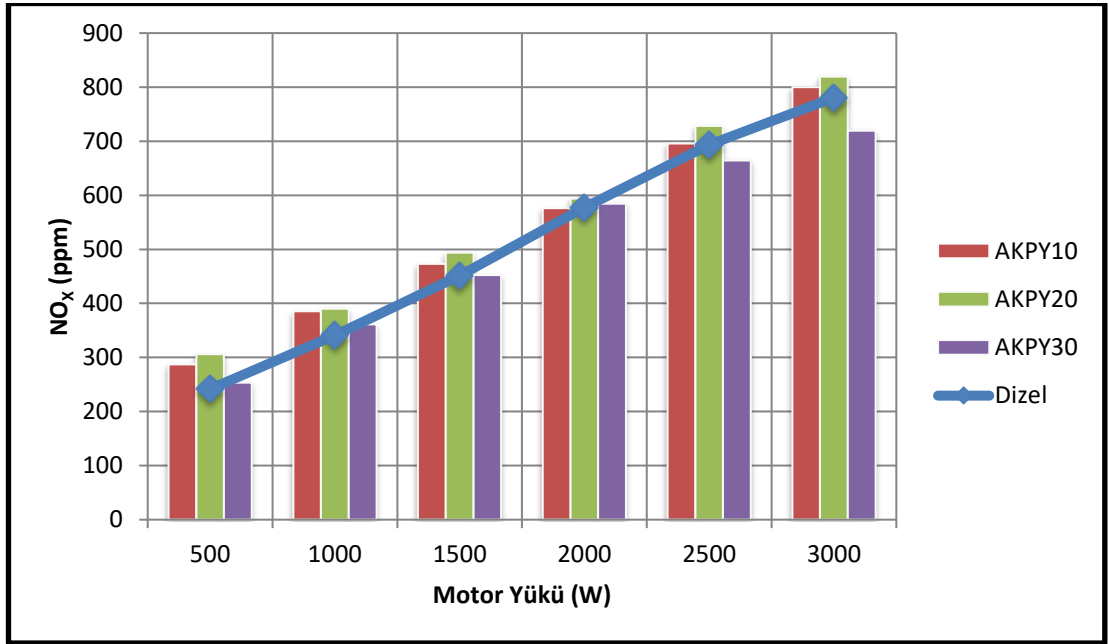
7.2.4. NO_x Emisyonu

Şekil 7.9'da standart dizel yakıtına AKPY ilavesinin NO_x emisyonları üzerindeki etkisi gösterilmektedir. Dizel motorlarında NO_x oluşumunun temel nedeni, yanma sonucu sıcaklıklarının yükselmesidir. Yüksek sıcaklıklarda, havadaki N₂'nin O₂ ile reaksiyona girmesi sonucu NO_x oluşur. Silindir içi sıcaklıkların artmasıyla NO_x oluşumunun hızla arttığı anlaşılmaktadır [93,94]. Yanma reaksiyonunun gerçekleşebilmesi için O₂ gereklidir ve alınan hava büyük ölçüde (%79) N₂ içerir.

İdeal yanma koşullarında N₂ tepkimeye girer, ancak silindir içindeki yüksek sıcaklık ve basınç nedeniyle N₂ ve O₂ tepkimeye girerek NO_x emisyonlarını oluşturur [18].

Yakıtın özellikleri de NO_x emisyonlarına etki eder. Daha önceki çalışmalarda, yakıtın içerdiği O_2 'nin artışının NO_x emisyonlarını artırdığı belirlenmiştir.

Şekil 7.9 incelendiğinde, AKPY oranındaki artış ile NO_x değerlerinin azaldığı gözlemlenmektedir. O_2 açısından zengin ve düşük enerji içeriğine sahip yakıtlar genellikle yanma sonu sıcaklıklarının düşmesine neden olur. Dizel yakıtına eklenen AKPY, ısıl enerji içeriğinin standart dizel yakıtına göre düşük olması nedeniyle silindir içindeki yanma sonu sıcaklığını doğrudan etkilemektedir. Ayrıca, AKPY'nin dizel yakıtına göre daha yüksek buharlaşma ısısına sahip olması, dizel yakıtta eklenen karışım miktarının artmasıyla silindir içinden daha fazla ısı çekerek yanma sonu sıcaklığını etkiler.

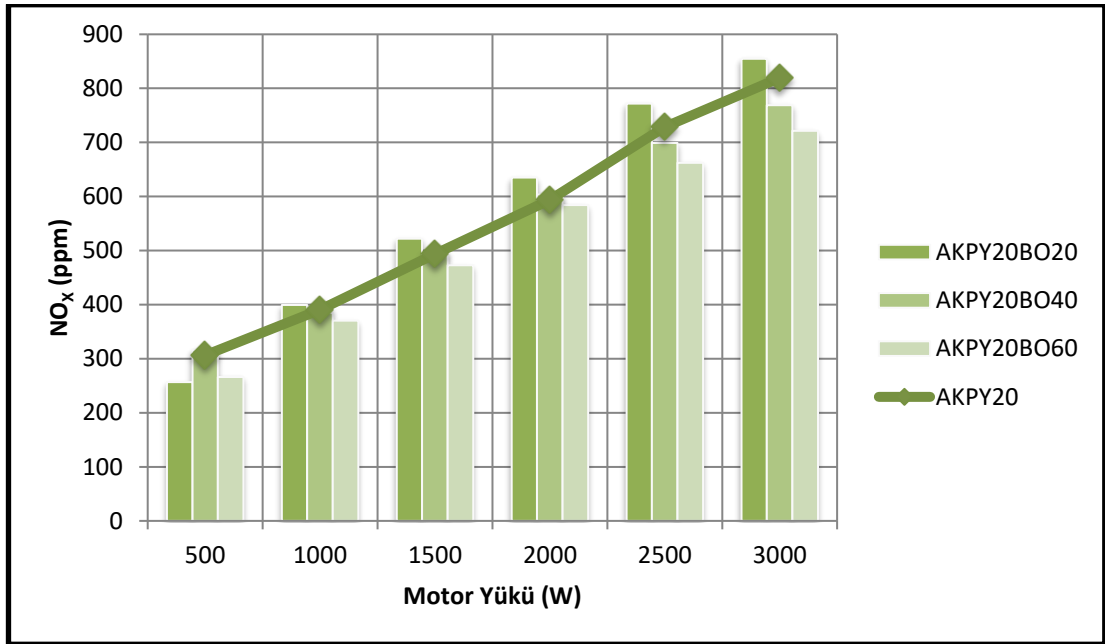


Şekil 7.9. NO_x emisyonunun farklı yükler ve AKPY oranına bağlı olarak değişimi.

Şekil 7.10'da AKPY20 ve B_2O_3 içeren yakıtların NO_x emisyonları üzerindeki etkisi gösterilmektedir. İnceleme sonucunda, AKPY20BO60 yakıtının genel olarak NO_x emisyonunu düşürdüğü, ancak diğer yakıtların NO_x emisyonunu artırdığı gözlemlenmektedir. Ortalama NO_x emisyonu değerlerine bakıldığında, AKPY20BO60 yakıtının, AKPY20 yakıtına göre NO_x emisyonunu %7,51 oranında azalttığı görülmekte; ancak AKPY20BO20 ve AKPY20BO40 yakıtlarının, AKPY20

yakıtına göre sırasıyla %14,90 ve %25,08 oranında daha yüksek NO_x emisyonu oluşturduğu tespit edilmiştir.

NO_x oluşumu, yanma süresi, sıcaklık ve yerel O₂ konsantrasyonu gibi faktörlere son derece bağlıdır. B₂O₃ nanoparçacıklarının kullanımı, yanma süresinin uzamasına bağlı olarak NO_x oluşumunu artırabilir. Ayrıca, nanoparçacıkların katalitik etkisi, yerel bölgelerde yanma sıcaklığını artırabilir ve bu etki, aynı zamanda HC emisyonunu azaltabilir. Yakıtın yüksek viskozitesi, zengin karışım bölgelerinin oluşmasına neden olarak yerel yanma sıcaklıklarının yükselmesine ve dolayısıyla daha fazla NO_x emisyonuna yol açabilir [83]. 20 ppm B₂O₃ nanoparçacık konsantrasyonunda NO_x oluşumundaki artışın bir nedeni olarak yüksek kinematik viskozitenin değerlendirilmiştir.



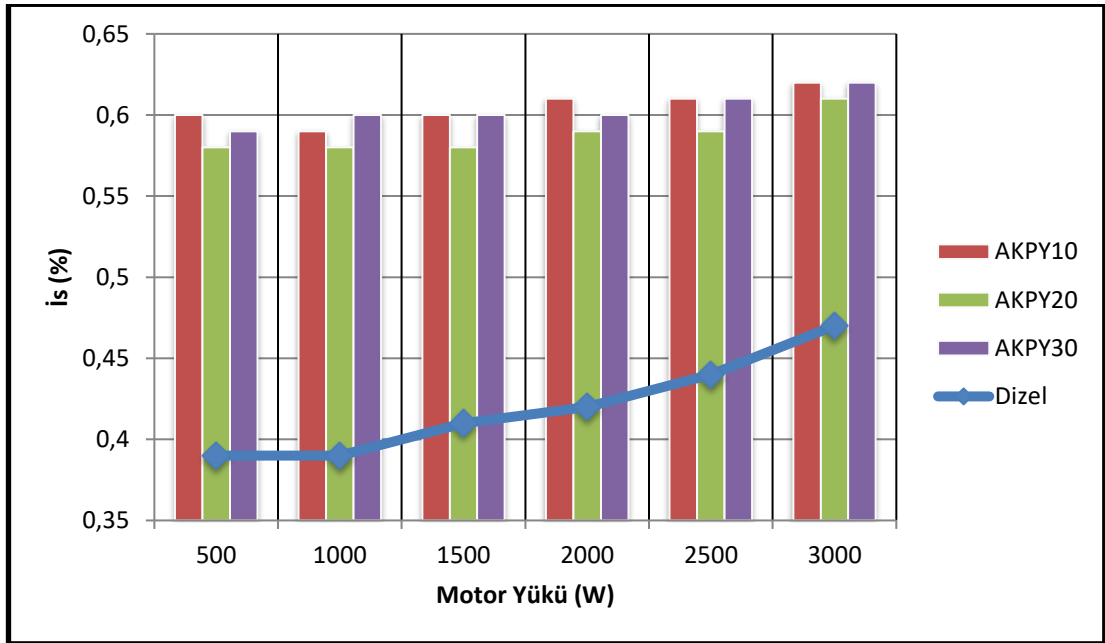
Şekil 7.10. AKPY20 ve B₂O₃ nanoparçacıklarının motor yüküne bağlı olarak NO_x emisyonuna etkisi.

7.2.5. Is Emisyonu

Şekil 7.11, dizel yakıtına AKPY ilavesinin is emisyonlarına olan etkisini göstermektedir. Görsel analize dayanarak, motor yükü arttıkça H/Y oranının azaldığı ve bu nedenle is emisyonlarının arttığı görülmektedir. Egzoz gazlarında bulunan is

miktarı, karışımın oluşum şekline, yanma işlemine, O₂'nin mevcudiyetine ve yanma başlangıcından önce püskürtülen yakıtın miktarına bağlı olarak değişmektedir. Is emisyonları, yakıtın yetersiz yanması durumunda artar; ayrıca dizel motorlarda HC'lerin eksik yanması nedeniyle egzozdaki kurum parçacıkları birleşerek daha büyük partiküllere dönüşür, bu durum da is emisyonunu artırır [4].

3000W motor yükünde, AKPY20 yakıtı ile is emisyonunda %29'luk bir minimum artış gözlemlenmiştir. Yüksek setan sayılı yakıtların kullanılması, tutuşma gecikmesinin kısa olmasıyla karakterizedir. Bu durum, yakıtın hava ile etkin bir şekilde karışmadığı ve sonuç olarak is emisyonlarının arttıracağını destekler [9].



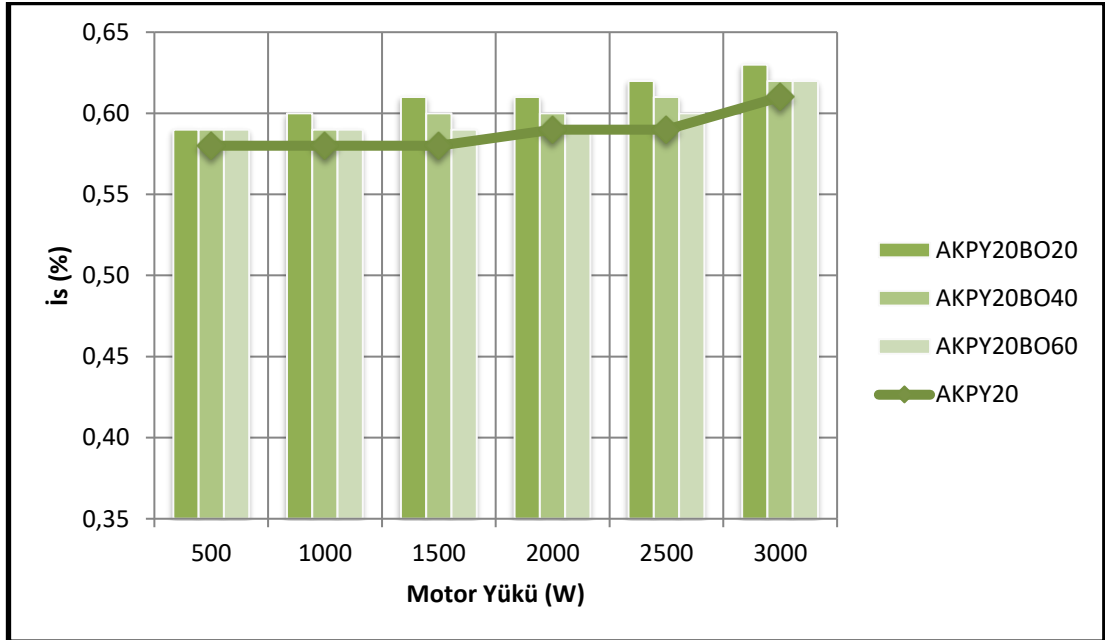
Şekil 7.11. Is emisyonunun farklı yüklere ve AKPY oranına bağlı olarak değişimi.

Şekil 7.12'de, AKPY20 ve B₂O₃ içeren yakıtların is emisyonuna olan etkisi gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde, tüm yük noktalarında yakıtların is emisyonunu artırdığı gözlemlenir. Düşük motor yüklerinde, az püskürtülen yakıt miktarı ve yüksek hava fazlalık katsayısı nedeniyle is emisyonları düşük seviyelerde kalmıştır. B₂O₃ nanoparçacıkları düşük yanma odası sıcaklığında, yakıtın buharlaşmasını kolaylaştırarak ve katalitik etki oluşturarak is oluşumunu azaltabilir. Ancak, yüksek motor yüklerinde püskürtülen yakıt miktarının artması, yanma

ortamında partikül madde oluşumunu hızlandırır, bu da nanoparçacık sayısının artmasına yol açar.

Metal esaslı nanoparçacıklar gibi, B_2O_3 nanoparçacıkları da yüksek erime noktası ($460\text{ }^\circ\text{C}$) ve kaynama noktası ($1860\text{ }^\circ\text{C}$) sıcaklıkları nedeniyle yanma ortamında katı fazda kalabilirler. Nanoparçacıklar, partikül madde oluşumunda çekirdek görevi gördüğü ve partikül sayısını artırdığı için is emisyonunu hızlandırabilirler. Katalitik etkileri sayesinde HC moleküllerinin oksidasyon sıcaklığını düşüren nanoparçacıklar, katı formda var olduklarından partikül madde emisyonunu artırabilir [83].

AKPY20BO20, AKPY20BO40 ve AKPY20BO60 yakıtları, ortalama is emisyonunu AKPY20 yakıtına göre sırasıyla %3,68, %2,27 ve %1,41 oranında artırmıştır. Bu durum, B_2O_3 nanoparçacıklarının is emisyonunu etkilemede, yakıt özelliklerinden ziyade yanma ortamındaki katı B_2O_3 nanoparçacıklarının varlığından kaynaklandığını göstermektedir. B_2O_3 nanoparçacık konsantrasyonunun artmasıyla birlikte is emisyonundaki artış, bu durumu desteklemektedir.



Şekil 7.12. AKPY20 ve B_2O_3 nanoparçacıklarının motor yüküne bağlı olarak is emisyonuna etkisi.

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

Deneysel olarak yapılan bu çalışmada, dizel yakıtı içerisine atık kablo plastiğinden piroliz yöntemi ile elde edilen AKPY üç farklı oranda (%10, %20 ve %30) dizel yakıtı ile manyetik karıştırıcı kullanılarak karıştırılmış ve oluşturulan yakıt karışımları (AKPY10, AKPY20 ve AKPY30) ve dizel olmak üzere dört farklı yakıt kullanılmıştır. Genel olarak daha iyi sonuçlar elde edilen AKPY20 yakıtı referans olarak seçilmiş ve 20, 40 ve 60 ppm miktarında B₂O₃ nanopartikül katkı maddesi ilave edilerek ultrasonik karıştırıcı ve manyetik karıştırıcı ile dizel+AKPY yakıtına homojen bir şekilde ilave edilmiş ve üç farklı yakıt (AKPY20BO20, AKPY20BO40 ve AKPY20BO60) elde edilmiştir. Oluşturulan yakıt karışımları tek silindirli dört zamanlı bir dizel motorda 500-3000W yükü aralığında test edilmiş olup motor performansı açısından ÖYT, egzoz emisyonları açısından ise CO, HC, CO₂, O₂, NO_x ve is değişkenlerinin analizi yapılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen önemli sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- AKPY yakıtının alt ısı değeri, saf dizel yakıtının alt ısı değerinden daha düşük olduğundan, aynı yükte çalıştırılan motorda AKPY kullanımı, saf dizel yakıtına göre daha fazla yakıt tüketimini beraberinde getirir. Yüksek motor yüklerinde ise ÖYT dizel yakıtına göre daha düşük çıkmaktadır. Dizel yakıtına eklenen AKPY miktarı arttıkça ÖYT artmıştır. Dizel yakıtına göre ÖYT'deki artış AKPY10, AKPY20 ve AKPY30 yakıtlarında sırasıyla ortalama olarak %7,65, %10,02 ve %16,82 şeklinde görülmüştür.
- AKPY20 karışımının içine katılan 60 ppm B₂O₃ nanoparçacığı AKPY20BO60 yakıt kullanımında AKPY20 yakıtına göre ortalama ÖYT'yi %8 oranında azalmıştır. 20 ve 40ppm oranlarında katılan B₂O₃ nanoparçacığı içeren yakıtlarda ise sırasıyla %5,16 ve %0,62'lik bir artış gözlemlenmiştir.

- Standart dizel yakıtının içerisine AKPY eklenerek elde edilen tüm karışım yakıtlarında CO emisyonu azalmıştır. Dizel+AKPY yakıtının içerisinde çoğu yükte yeterli O₂ miktarından dolayı CO emisyonunda iyileşmeler olmuştur. Maksimum CO emisyon düşüşü ortalama dizel yakıtına göre %40 ile AKPY20 yakıtı olmuştur.
- AKPY20 yakıtına göre B₂O₃ nanopartiküllü katılan karışımlarda maksimum CO emisyon düşüşü AKPY20BO20 yakıtında ortalama olarak %6 olarak gerçekleşmiştir. AKPY20 yakıtına göre AKPY20BO40 ve AKPY20BO60 yakıtlarında ise ortalama olarak %14,49 ve %20,66 oranında artış gözlemlenmiştir.
- Dizel yakıt içerisine eklenen biyoyakıtın tüm karışım yakıtlarında dizel yakıtına göre HC emisyonunda azalma olmuştur. Dizel yakıtına göre AKPY20 yakıtı ortalama olarak %26,42'lik bir emisyon azalması olmuştur. AKPY10 ve AKPY30 yakıtındaki dizel yakıtına göre azalmalar ise sırasıyla ortalama olarak %26,69 ve %1,47 olarak gözlemlenmiştir.
- AKPY20 yakıtına 20, 40 ve 60 ppm B₂O₃ nanoparçacığı eklendiği zaman HC emisyonunda artış gözlemlenmiştir fakat bu gözlemlenen artışlar dizel yakıtında çıkan HC emisyonunun altında kalmaktadır. AKPY20BO20 yakıtı AKPY20 yakıtına göre ortalama olarak %1,69 oranında bir emisyon azalmasıyla en iyi sonucu vermiştir. AKPY20BO40 ve AKPY20BO60 yakıtlarındaki artış ise sırasıyla ortalama olarak %26,26 ve %25,43 oranlarında HC emisyonunda artış gözlemlenmiştir.
- Dizel+AKPY karışımının içindeki O₂ miktarı dizele göre daha fazladır. CO₂ emisyonundaki artış motor yükünün artmasıyla orantılı şekilde artmıştır, 2000W ve sonrasındaki yüklerde O₂ yetersizliği ve tam yük bölgesinde H/Y oranı azaldığı için bütün yakıtlarda CO₂ miktarının artış miktarı azalmıştır. Yapılan deneyler sonucunda dizel yakıtına göre AKPY10, AKPY20 ve AKPY30 yakıtlarında sırasıyla ortalama olarak %12,194, %13,412 ve %12,553 oranlarında CO₂ artışı gözlemlenmiştir.
- AKPY20 yakıtı içerisine farklı oranlar katılma B₂O₃ nanopartikülünün CO₂'ye etkisi, AKPY20BO40 yakıtında AKPY20 yakıtına kıyasla ortalama olarak %0,73'lük bir emisyon azalması gözlemlenmiştir. AKPY20BO20 ve

AKPY20BO60 yakıtlarında ise sırasıyla %0,30 ve %0,24'lük CO₂ emisyonunda artış gözlemlenmiştir.

- Dizel yakıta kıyasla en iyi NO_x emisyonundaki artışlar AKPY10, AKPY20 ve AKPY30 yakıt karışımlarındaki artış sırasıyla %6,556, %10,559 ve %0,054 oranlarında gözlemlenmiştir.
- AKPY20 yakıtının içerisine katılan B₂O₃ nanopartikülleri NO_x emisyonlarında azalma meydana getirmiştir. AKPY20 yakıtına göre maksimum NO_x emisyon düşüşü AKPY20BO60 yakıtında ortalama olarak %7,51 ile gerçekleşmiştir. AKPY20BO20 yakıtında %1.52'lik bir artış görülmüştür. AKPY20BO40 yakıtındaki emisyon azalması ise ortalama olarak %1 olarak sağlanmıştır.
- Standart dizel yakıtının içerisine karıştırılan AKPY is emisyonlarında artışa neden olmuştur. Motor yükü arttıkça H/Y oranı azaldığı için is emisyonları da artmaktadır. Dizel yakıta göre minimum artış AKPY20 yakıtında ortalama %40,54'lük bir artış vardır. AKPY10 ve AKPY30 yakıtındaki is emisyonun yükselmeler ise sırasıyla ortalama olarak %44,54 ve %44,14 olarak gözlemlenmiştir.
- B₂O₃ nanoparçacık içerikli yakıt karışımlarında ise, ortalama is emisyonunu AKPY20 yakıtına göre AKPY20BO20, AKPY20BO40 ve AKPY20BO60 yakıtları sırasıyla %3,68, %2,27 ve %1,42 oranında arttırmıştır. Yakıttaki B₂O₃ nanoparçacık konsantrasyonunun artışı, is emisyonlarındaki artışı azaltmıştır. B₂O₃ nanoparçacıkları, yüksek erime ve kaynama noktası sıcaklığına sahip oldukları için yanma ortamında katı fazda kalma eğilimindedirler. Bu durum, is oluşumunda B₂O₃ nano partiküllerinin çekirdek görevi görmelerine neden olur. Çekirdek görevi göre nanoparçacık is emisyonundaki artışın ana sebeplerinden biri olarak değerlendirilebilir.

Bu çalışma konusuna göre şu öneriler yapılabilir:

- AKPY oranları ve B₂O₃ nanopartikül konsantrasyonları arasındaki etkileşimleri daha detaylı bir şekilde inceleyerek optimal karışımları belirlemek, motor performansı ve emisyonlar üzerindeki etkileri araştırılabilir.

- Farklı nanopartikül konsantrasyonları üzerinde çalışarak, en etkili CO, HC, CO₂, NO_x ve is emisyonlarına sahip karışımları belirlemek ve bunların motor performansına etkilerini değerlendirebilir.
- Özellikle yüksek motor yüklerinde AKPY ve nanopartikül katkısının performans üzerindeki etkilerini araştırarak ve bu koşullarda optimize edilmiş karışımlar geliştirebilir.

KAYNAKLAR

1. Özdemir, Z., ve Mutlubaş, H., “Biyodizel üretim yöntemleri ve çevresel etkileri”, *Kirklareli University Journal of Engineering and Science*, 2: 129-143 (2016).
2. Aksoy, L., “Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel ve Üretim Prosesleri”, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)*, Cilt 2(3): 45-52(2010)
3. Alptekin, E., ve Çanakçı, M., “Biyodizel ve Türkiye'deki Durumu” *Mühendis ve Makine*, Cilt 47 (561): 57-64 (2006).
4. Aydın, B., “Nano Yakıt Katkı Maddesi İlave Edilen Biyodizel Dizel Karışımının Motor Performans ve Emisyon Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2022).
5. Uzun, S., “ Dizel Bir Motorda Atık Lastikten Elde Edilen Pirolitik Yakıtın Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Karabük (2020).
6. Eroğlu, A., “Malatya’daki Atık Plastiklerden Piroliz Yöntemiyle Alternatif Yakıt Üretilmesi ve İçten Yanmalı BİR Motorda Yakıt Olarak Kullanılması” . Yüksek Lisans Tezi, *İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malatya (2019).
7. Bekci, K., “ATIK BİYOKÜTLE VE PLASTİK KARIŞIMLARININ TORREFAKSİYON İLE YAKIT ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ (2023).
8. 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).
9. Uslu, S., “Düşük Güçlü Bir Dizel Motorda Dietil Eter Kullanılmasının Motor Parametrelerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2015).
10. Sezer, İ., “Dietil Eter–Motorin Karışımlarının Motor Performansına Etkilerinin Deneysel İncelenmesi”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, Vol 27(1), 117-124 (2012).
11. Canbaz, E., “Kenevir Yağından Elde Edilen Biyodizelin Dizel Motor Parametrelerine Etkilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2022).
12. Çelik, M., Bayındırlı, C., Demiralp, M., ve Ciniviz, M., “Kanola Biyodizeli İçerisine n-Hexadecane İlavesinin Motor Performansına ve Eksoz Emisyonlarına

Etkisinin İncelenmesi”, *14th International Combustion Symposium (INCOS2018)*, 25-27 April (2018).

13. Şahin, H., “Dizel Motorda Etanol-Biyodizel Kullanımının Motor Parametrelerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2022).
14. Koca, A.S., “Kenevir Yağı/Dizel Yakıt Karışımları ile Çalışan Dizel Motora Titanyum dioksit Maddesi Eklenmesinin Motor Parametrelerinin Etkilerinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Aydın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, İstanbul (2022).
15. Opuz, M., “Biyodizel İçerisine Metalik Esaslı Yakıt Katkı Maddesi İlavesinin Motor Performansı ve Egzoz Emisyonları Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyonkarahisar (2022).
16. Kaya, O., “Biyodizele Farklı Türde Nanopartiküller Eklenmesinin Dizel Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Aydın Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, İstanbul (2022).
17. Tural, M., “Dizel Yakıtına Bizmut Oksit Nanopartikül Katkısının Motor Parametreleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Bolu İzzet Baysal Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Bolu (2023).
18. Çoştur, R., “Pirolize edilmiş lastik yağı ve katkı maddesi kullanılarak elde edilen yakıtın tek silindirli dizel motor performans ve emisyonlara etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2019).
19. İsmailoğlu, E., “PİROLİZE ATIK LASTİK YAĞI-MOTORİN KARIŞIMININ COMMON-RAIL DİREKT ENJEKSİYONLU BİR DİZEL MOTORDA KULLANIMI”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli (2021).
20. Ergen, G., “Ön ısıtma uygulanarak kullanılan biyodizel yakıtının motor performans ve emisyonlarına etkisinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya (2006).
21. Aydoğan, B., “Biyodizel Kullanılan Dizel Motorlarda NOX Emisyonlarının Ve NO_x Emisyonları Azaltma Yöntemlerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli (2008).
22. Afşar, M., “Bir Dizel Motorda Atık Biyodizel Kullanımının Yanma Karakteristiklerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2015).
23. Aliustaoğlu, S., “Bir Dizel Motorunda LPG-dizel Çift Yakıt Karışımları+EGR'nin Performans ve Emisyon Karakteristiklerine Etkilerinin

- İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Sakarya (2019).
24. Uyaroğlu, A., “Crambe Tohumlarından Biyodizel Üretimi Ve Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Kullanımı”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2015).
 25. Çelik, M., "Biyodizel Yakıt Özelliklerinin Motor Performansı ve Emisyon Karakteristiklerine Etkilerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Fakültesi Enstitüsü*, Ankara, (2015).
 26. Ayhan, V., “Bir Dizel Motoruna Buhar Enjeksiyonunun NO_x ve İş Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması”, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya (2009).
 27. 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).
 28. Okcu, M., “Reaktivite Kontrollü Sıkıştırma Ateşlemeli Motorlarda Düşük Sıcaklıklı Yanmanın Yanma Karakteristikleri ve Kirletici Emisyonlara Etkilerinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ (2021).
 29. Erdöl, E., “Enjektör parametrelerinin motor egzoz emisyonlarına etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 30-59 (2007).
 30. Örs, A., “Biyodizel Bütanol Karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi” Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2016).
 31. Aktaş, F., “Bir Dizel Motorda Çift Yakıt Olarak Propan-Dizel Kullanımının Yanma Rejimine, Motor Performansına ve Emisyon Değerlerine Olan Etkilerinin Sayısal Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2021).
 32. Altın , R., “Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılmasının Deneysel Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (1998).
 33. İlkılıç, C., "Çeşitli Alternatif Yakıtların Dizel Motoru Emisyonlarına Etkilerinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi", Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elâzığ, 37-39 (1999).
 34. 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).

35. 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).
36. Aslan, V., “Üretiminde Farklı Alkoller ve Katalizörler Kullanılan Biyodizellerin Yakıt Özellikleri, Motor Performansları ve Egzoz Emisyonlarının İncelenmesi”, Doktora Tezi, **Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Yozgat (2019).
37. Özcan, C., “Dizel Yakıtı ile Birlikte Lpg Kullanan Dual Yakıtlı Bir Dizel Motorun Verimlilik Performans ve Emisyon Yönünden Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara (2018).
38. Yılmaz, H., “Dizel Motorlarda Püskürtme Stratejisinin Performans ve Emisyonlara Etkisi” Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (2019).
39. Yanbuloğlu, B., “Dizel Bir Motorda Dizel, Piroliz Yağı ve Bütanol Yakıt Karışımının Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**, Karabük (2020).
40. 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).
41. Doğan, O., “Atık Taşıt Lastiğinden Üretilen Piroolitik Yakıtın Bir Dizel Motorda Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması”, Doktora Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 35-36 (2012).
42. Nuzkowski, J., Tinchler, R. R., and Thompson, G. J., “Evaluation of NOx emissions from heavy-duty diesel engines with the addition of cetane improvers”, *Journal of Automobile Engineering*, 223 (8): 1049-1060 (2009).
43. 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, 49-50 (2009).
44. Yılancılar M., “Ketencik Yağı Metil Esterine Pentanol İlavesinin Dizel Motor Performans Parametrelerine Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüst Eğitim Enstitüsü**, Sakarya, (2020).
45. Martinez-Martinez, S., Sanchez-Cruz, F. A., Riesco-Avila, J. M., Gallegos-Munoz, A., and Aceves, S. M., “Liquid penetration length in direct diesel fuel injection”, *Applied Thermal Engineering* 28 1756–1762 (2008).

46. Safgönül B., “İçten Yanmalı Motorlar”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul (2008).
47. Acaroğlu, M., Aydoğan H., Özçelik A. E., "Yakıtlar ve Yanma", *Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık*, Genişletilmiş ve Güncellenmiş 2. Basım, Ankara, 164-274 (2018).
48. Lin, Y. F., Wu, Y. P. G., & Chang, C. T. “Combustion characteristics of waste-oil produced biodieseldiesel fuel blends”, *Fuel* 86 1772–1780 (2007).
49. Murugan, S., Ramaswamy, M. C., and Nagarajan, G., “The use of tyre pyrolysis oil in diesel engines”, *Waste Management*, 28 (12) 2743-2749 (2008).
50. 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*, Volume 3, Number 3, ISSN 1995-6665 Pages 190 – 197 September (2009).
51. Azi, H., “Bir Dizel Motorda Hint Yağı Biyodizeli ve Dietil Eter Kullanımının Motor Performansına ve Emisyonlara Etkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman (2017).
52. Vellught, G., “Performance of vegetables oils and their monoester as fuels for diesel engines”, SAE 831358, *Transaction of SAE* 3.1098-3.1107 (1984).
53. Li, D.-g., Zhen, H., Xingcai, L., Wu-gao, Z. ve Jian-Guang, Y., “Physico-chemical properties of ethanol–Eurodiesel blend fuel and its effect on performance and emissions of Eurodiesel engines”, *Renewable energy*, 30 (6), 967-976 (2005).
54. 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).
55. Duran, G., “Etanol katkılı mikroalg yağının bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ (2017).
56. Kaya, C., “Biyodizelin gemi dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanımının deneysel olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2019).
57. D'Silva, R., Binu K. G., and 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).
58. Patil, D. S., Chopade, D. A, and Kumbhalkar, M. A., "Experimental investigation of effect of cerium oxide nanoparticles as a fuel additives in cottonseed biodiesel blends", *MAYFEB Journal of Mechanical Engineering*, 1: (2018).

59. Beytekin, A., “Demir klorür (FeCl₃) katkılı biyodizel-dizel yakıt karışımlarının bir dizel motorda kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, **Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Batman (2019).
60. Şahin, A., “Hardal Yağından Elde Edilen Biyodizelin Motor Performansına Etkileri ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi. **Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Afyonkarahisar (2014).
61. Karamanlı İ., “Soya Ve Fındık Yağı Karışımından Üretilen Biyodizelin Motor Performansına Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Afyonkarahisar (2015).
62. Aydın, A., “Bir dizel motorlu jeneratörde kısmi LPG kullanımının motor performansı, yanma ve egzoz emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Batman (2017).
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. Tosun, Z., “Propanolün bir dizel motorda aspir biyodizel kullanımına etkilerinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Batman (2017).
65. Yıldız, M., “Ketencik Biyodizelinin Ve Eurodiesel Karışımlarının Taşıt Performansına Ve Emisyonlarına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya (2021).
66. M. Kadir, C. Cesur, V. Aslan, and Z. Yilbasi, “The production of biodiesel from safflower (*Carthamus tinctorius* L .) oil as a potential feedstock and its usage in compression ignition engine : A comprehensive review,” **Renew. Sustain. Energy Rev.**, no. October, p. 109574, (2019).
67. Özer, S., "Bütanol kullanımının dizel motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük (2010).
68. Gürmen, S., & Ebin, B. “Nanopartiküller ve üretim yöntemleri-1”, **Metalurji Dergisi**, 150, 31–38, (2008).
69. Dong, W., & Zhu, C., “Optical properties of surface-modified CdO nanoparticles”, **Optical** (2003).
70. Liveri, V. T., “Controlled synthesis of nanoparticles in microheterogeneous systems”, **Springer Science & Business Media**, (2006).

71. Hossain, A. K., Hussain, A., "Impact of nanoadditives on the performance and combustion characteristics of neat jatropha biodiesel", *Energies*, 12 (5): 921 (2019).
72. Vijay Kumar, M., Veeresh Babu, A., & Ravi Kumar, P. "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).
73. 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).
74. Şimşek, S., "Increasing Cetane Number of the Diesel Fuel by Fuel Additives", *International Journal of Automotive Science And Technology*, 4(4), 300-306(2020).
75. Jayaraman, J., Laskar, I. U. I., Dey, K., Arunkumar, T., Appavu, P., & Joy, N., "Investigation on titanium oxide nano particles as additives for operating biodiesel fuelled engine", *Materials Today: Proceedings*, 44, 3525-3529 (2021).
76. Cunat, P.-J., "Alloying elements in stainless steel and other chromium-containing alloys", *Euro Inox*, 2004, 1-24 (2004).
77. Lagopati, N., Evangelou, K., Falaras, P., Tsilibary, E.-P. C., Vasileiou, P. V., Havaki, S., . . . Gorgoulis, V. G., "Nanomedicine: Photo-activated nanostructured titanium dioxide, as a promising anticancer agent", *Pharmacology & therapeutics*, 222, 107795, (2021).
78. Feng, L., Wu, L., & Qu, X., "New horizons for diagnostics and therapeutic applications of graphene and graphene oxide", *Advanced Materials*, 25(2), 168-186, (2013).
79. Merino, S., Martín, C., Kostarelos, K., Prato, M., & Vazquez, E., "Nanocomposite hydrogels: 3D polymer–nanoparticle synergies for on-demand drug delivery", *ACS nano*, 9(5), 4686-4697, (2015).
80. 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).
81. Özmen, T., "Alüminyum oksit partikül karakteristiklerinin parlatma süspansiyonlarının özelliklerine etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi*, Eskişehir (2016).
82. Hoang, A. T., "Combustion behavior, performance and emission characteristics of diesel engine fuelled with biodiesel containing cerium oxide nanoparticles: A review", *Fuel Processing Technology*, 106840: 218 (2021).

83. Çakmak, A., “Üretilen Farklı Yakıt Katkılarıyla Bir Dizel Motorunun Yanma, Performans ve Emisyon Karakteristiklerinin İyileştirilmesinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Samsun (2021).
84. Mirzajanzadeh, M., Tabatabaei, M., Ardjmand, M., ve Rashidi, A., “A novel soluble nano-catalysts in diesel-biodiesel fuel blends to improve diesel engine performance and reduce exhaust emissions”, *Fuel*, 139:374-382 (2015).
85. Küleri, A.K., “Fakir yanmalı buji ateşlemeli motorlarda hidrojen ilavesinin çevrimsel farklar ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri”, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi*, Erzurum (2011).
86. Altun, Ş., Öner, C., “Tek silindirli bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak susam yağı kullanımının deneysel incelenmesi”, *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, Fırat University Turkey, 2004.
87. İlkılıç, C., ve Öner, C., “Bir Dizel Motorunda Ayçiçek Yağı Metil Esteri İle Motorin Karışımı Kullanarak Egzoz Emisyonlarının İncelenmesi”, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15, 579-588(2003).
88. Bayık, M., “Dizel Yakıtına İzobütanol İlavesinin Performans ve Emisyonlara Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2010).
89. Saxena, V., Kumar, N., Saxena, V. K., “A comprehensive review on combustion and stability aspects of metal nanoparticles and its additive effect on diesel and biodiesel fuelled CI engine”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 563–588 (2017).
90. K. Ioannis, G. Tian, and S. Gu, “The utilisation of oils produced from plastic waste at different pyrolysis temperatures in a DI diesel engine”, *Energy*, 131: 179-185(2017).
91. K. Ioannis, G. Tian and S. Gu, “Combustion, performance and emission analysis of a DI diesel engine using plastic pyrolysis oil”, *Fuel Process Technol*, 157 108-115(2017).
92. M. Mani and G. Nagarajan. “Influence of injection timing on performance, emission and combustion characteristics of a DI diesel engine running on waste plastic oil”, *Energy* 34:10 1617-1623(2009).
93. A. E. Atabani, G. Uguz, G. Kumar, A. Ayanoglu, M. N. Mohammed, and H. Farouk, “Perspective of safflower (*Carthamus tinctorius*) as a potential biodiesel feedstock in Turkey : characterization , engine performance and emissions analyses of butanol – biodiesel – diesel blends,” *Biofuels*, vol. 0, no. 0, pp. 1–17, (2017).

94. Uslu S. ve Şimşek S., “Analysis of the effects of cetane improver addition to diesel on engine performance and emissions”, *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, e-ISSN: 2146 - 9067 , (2020).

ÖZGEÇMİŞ

Tuğba KAYA ilk ve orta öğretimini Zati Ağar İlkokulunda Karabük'te tamamladı. Safranbolu Atatürk Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2015 yılında Karabük Üniversitesi Raylı Sistemler Mühendisliği Bölümü'ne girdi ve 2019 yılında mezun oldu. 2021 yılında Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda tezli yüksek lisans öğretimine başladı.