



**DİZEL-BİYODİZEL YAKIT KARIŞIMLARINA
NANO PARÇACIK (B₂O₃) İLAVESİNİN MOTOR
PERFORMANSINA VE EMİSYONLARA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ, EKSERJİ ANALİZİ VE
OPTİMİZASYONU**

**2024
DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Gürşah GÜRÜF

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Samet USLU**

**DİZEL-BİYODİZEL YAKIT KARIŞIMLARINA NANO PARÇACIK (B₂O₃)
İLVESİNİN MOTOR PERFORMANSINA VE EMİSYONLARA ETKİSİNİN
İNCELENMESİ, EKSERJİ ANALİZİ VE OPTİMİZASYONU**

Gürşah GÜRÜF

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Samet USLU**

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

**KARABÜK
Şubat 2024**

Gürşah GÜRÜF tarafından hazırlanan “DİZEL-BİYODİZEL YAKIT KARIŞIMLARINA NANO PARÇACIK (B₂O₃) İLAVESİNİN MOTOR PERFORMANSINA VE EMİSYONLARA ETKİSİNİN İNCELENMESİ, EKSERJİ ANALİZİ VE OPTİMİZASYONU” başlıklı bu tezin Doktora 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 Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.29/02/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

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

.....

Üye : Doç. Dr. Samet USLU (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Mehmet ÇELİK (KBÜ)

.....

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

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa AYDIN (PAÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora 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.

Gürşah GÜRÜF

ÖZET

Doktora Tezi

DİZEL-BİYODİZEL YAKIT KARIŞIMLARINA NANO PARÇACIK (B_2O_3) İLAVESİNİN MOTOR PERFORMANSINA VE EMİSYONLARA ETKİSİNİN İNCELENMESİ, EKSERJİ ANALİZİ VE OPTİMİZASYONU

Gürşah GÜRÜF

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Samet USLU

Şubat 2024, 87 sayfa

İçten yanmalı motorlu araçların kullanımının artması neticesinde emisyon değerlerinin yüksek miktarlara ulaşması nedeniyle araştırmacılar fosil yakıtlara alternatif olabilecek yakıt arayışına doğru yönelmişlerdir. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda hali hazırda dizel yakıt kullanılmaktadır. Dizel yakıtı alternatif olabilecek doğalgaz, hidrojen gibi alternatif yakıtlar motor üzerinde belli başlı modifikasyonlara ihtiyaç duymaktadır. Maliyetler ve kimyasal özellikler düşünüldüğünde dizel yakıtı en iyi alternatifin biyodizel olabileceği öngörülmektedir. Biyodizel yakıtlar dizel yakıt ile karıştırılarak kullanılabilirliği gibi tek başına da kullanılabilir. Araştırmacılar biyodizel yakıtların motor performanslarını iyileştirmek adına son yıllarda yakıt katkı maddeleri kullanmıştır. Bunun ile birlikte biyodizel-dizel yakıt karışımlarının yakıt katkı maddeleri ile birlikte kullanımı sonucunda motor performansı ve emisyonları incelenmiş ve dizel yakıtı en iyi alternatif yakıt elde edilmeye çalışılmıştır.

Bu çalışma kapsamında, hayvansal yağlardan elde edilen biyodizel (HYB) ve atık kızartma yağından elde edilen biyodizel (AKYB) yakıtlar 4 farklı oranda (%10, %20, %30 ve %40) dizel yakıt ile karıştırılarak 8 farklı yakıt karışımı elde edilmiştir. Elde edilen bu yakıt karışımları içerisinde en yüksek ekserji verimine ve en düşük emisyonlara sahip yakıt hesaplamalar ve ölçümler vasıtası ile bulunmuş ve bu yakıtta 3 farklı miktarda (20 ppm, 40 ppm ve 60 ppm) bor oksit (B_2O_3) nano parçacığı ilave edilmiş ve 3 farklı yakıt karışımı elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında ekserji verimi yüksek ve emisyonları düşük olan optimum nano parçacık miktarı ve motor yükü yanıt yüzey yöntemi (RSM) vasıtası ile belirlenmiştir.

Deneylelerden elde edilen sonuçlara göre AKYB'nin emisyon ve ekserji verimi özelinde en iyi sonuçları verdiği görülmektedir. Emisyonlar özelinde yakıt karışımı içerisindeki AKYB oranı artıkça emisyonlarda azalma meydana geldiği fakat %40 oranına gelindiğinde viskozitenin de artmasına bağlı olarak emisyonlarda artış olmaya başladığı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde ekserji verimine bakıldığında emisyon ile ters olarak ekserji veriminin arttığı ve %40 oranına gelindiğinde azalmaya başladığı görülmektedir. D70B30 olarak isimlendirilen %30 AKYB yakıt içeren yakıt karışımı emisyonları en düşük değerlere sahipken ekserji veriminde de en yüksek değere sahip olduğu bulunmuştur. D70B30 yakıtı D100 yakıtı ile kıyaslandığında karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonlarını sırası ile %52 ve %41 oranında azalttığı ve karbondioksit (CO_2), azot oksit (NO_x) ve ekserji verimini ise sırası ile %36, %34 ve %13,87 oranında artırmıştır.

Bu çalışmanın ikinci aşamasında D70B30 yakıtına nano parçacık ilavesi gerçekleştirilmiş ve RSM ile optimizasyon yapılmıştır. Gerçekleştirilen deneyler ve hesaplamalar kapsamında emisyonlar ve ekserji verimleri RSM ile analiz edilerek korelasyon denklemleri oluşturulmuş ve bu denklemler vasıtası ile optimum parametreler belirlenmiştir. RSM amacı olarak ise ekserji veriminin maksimum, diğer bütün emisyonların minimum olması istenmiş ve bu amaca göre optimizasyon yapılmıştır. Yapılan optimizasyon neticesinde D70B30 yakıtına 10 ppm miktarında B_2O_3 nano parçacığı ilavesinin 1250 W motor yükünde optimum sonuçları vereceği bulunmuştur. Sonrasında aynı şartlarda deney yapılarak optimizasyonun sonuçları

doğrulanmış ve ortalama %2,30 bağıl hata ile optimizasyonun başarılı olduğu belirlenmiştir.

Bu alışma sonucunda AKYB'nin dizel yakıt ile karıştırılarak iyi bir alternatif yakıt olabileceği ve B₂O₃ nano parçacığının 10 ppm miktarında eklenerek yakıt özelliklerinde iyileştirme sağlayabileceği ortaya çıkmıştır. Ayrıca birçok parametre özelinde yakıtların incelenmesi gerektiğinden dolayı RSM yönteminin uygun olduğu yapılan doğrulama deneyi ile tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Bor oksit, Nano parçacık, Biyodizel, Ekserji analizi, Yanıt Yüzey Yöntemi

Bilim Kodu : 91413

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ADDITION OF NANO PARTICLES (B₂O₃) TO DIESEL-BIODIESEL FUEL MIXTURES ON ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS, EXERGY ANALYSIS, AND OPTIMIZATION

Gürşah GÜRÜF

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

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Samet USLU

February 2024, 87 pages

As a result of the increasing use of internal combustion engine vehicles, which has led to high emission levels, researchers have turned towards the search for alternative fuels to fossil fuels. Compression ignition engines currently use diesel fuel. Alternative fuels such as natural gas and hydrogen, which could replace diesel fuel, require certain modifications to the engine. Considering costs and chemical properties, biodiesel is anticipated to be the best alternative to diesel fuel. Biodiesel fuels can be used either mixed with diesel fuel or alone. In recent years, researchers have used fuel additives to improve the performance of biodiesel fuels in engines. Additionally, the use of fuel additives with biodiesel-diesel fuel blends has been studied to examine engine performance and emissions, aiming to obtain the best alternative fuel to diesel.

Within the scope of this study, biodiesels obtained from animal fats (HFB) and waste cooking oil (WCO) were mixed with diesel fuel in 4 different proportions (%10, %20, %30, and %40) to obtain 8 different fuel blends. Among these fuel blends, the fuel with the highest exergy efficiency and the lowest emissions was determined through calculations and measurements. To this fuel, varying amounts of boron oxide (B_2O_3) nanoparticles were added in 3 different quantities (20 ppm, 40 ppm, and 60 ppm), resulting in 3 different fuel blends. In this study, the optimum amount of nanoparticles and engine load, which yield high exergy efficiency and low emissions, were determined using the response surface methodology (RSM).

According to the results obtained from the experiments, it is observed that WCO the best results in terms of emissions and exergy efficiency. Concerning emissions, it has been observed that as the proportion of WCO in the fuel blend increases, emissions decrease; however, when it reaches 40%, there is an increase in emissions due to the increase in viscosity. Similarly, when looking at exergy efficiency, it is observed that exergy efficiency increases inversely with emissions and starts to decrease when it reaches 40%. The fuel blend containing 30% WCO, denoted as D70B30, has been found to have the lowest emissions and the highest exergy efficiency. When compared to D100 fuel, the D70B30 blend has reduced carbon monoxide (CO) and hydrocarbon (HC) emissions by 52% and 41%, respectively, and increased carbon dioxide (CO_2), nitrogen oxide (NO_x), and exergy efficiency by 36%, 34%, and 13.87%, respectively.

In the second phase of this study, nanoparticle addition was performed on the D70B30 fuel blend, and optimization was carried out using the RSM. Through experiments and calculations, emissions and exergy efficiencies were analyzed with RSM to form correlation equations, and optimal parameters were determined using these equations. The objective of RSM was to maximize exergy efficiency while minimizing all other emissions, and optimization was performed accordingly. As a result of the optimization, it was found that adding 10 ppm of B_2O_3 nanoparticles to the D70B30 fuel blend would yield optimum results at a 1250 W engine load. Subsequently, experiments were conducted under the same conditions to verify the results of the optimization, and it was determined that the optimization was successful with an average relative error of 2.30%.

As a result of this study, it has been revealed that blending WCO with diesel fuel can be a good alternative fuel, and the addition of B₂O₃ nanoparticles at a concentration of 10 ppm can improve fuel properties. Furthermore, it has been determined through validation experiments that RSM is suitable due to the need for examining fuels across various parameters.

Key Words : Boron Oxide, Nano particle, Biodiesel, Eksergy analysis, Response Surface Methodology

Science Code : 91413

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen ve aynı zamanda kendimi geliőtirmemde önemli bir rol oynayan değerli hocam Sayın Doç. Dr. Samet USLU'a en içten teşekkür ve saygılarımı sunarım. Ayrıca tez çalıőmam boyunca yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Mustafa Bahattin ÇELİK, Dr. Öğr. Üyesi Süleyman ŞİMŞEK ve Doç. Dr. Süleyman ÜSTÜN hocalarıma sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme, hayatımın her anında sevgi ve hoşgörü ile yaklaşan ve beni sevgisi ve neőesi ile ayakta tutan kıymetli eşime ve hayatıma girerek neőe katan her hareketi ile umut olan canım kızıma tüm kalbimle sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR.....	x
İÇİNDEKİLER	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR TARAMASI	3
BÖLÜM 3	9
DİZEL MOTORLARDA ALTERNATİF YAKITLAR VE YAKIT KATKI MADDELERİ	9
3.1. ALTERNATİF YAKITLAR	9
3.1.1. Alkoller	10
3.1.2. Biyoetanol.....	11
3.1.3. Doğalgaz.....	12
3.1.4. Hidrojen	13
3.1.5. Biyodizel.....	13
3.2. YAKIT KATKI MADDELERİ.....	14
3.2.1. Organik Yakıt Katkı Maddeleri.....	14
3.2.2. İnorganik Yakıt Katkı Maddeleri	15
3.2.3. Nano Yakıt Katkı Maddeleri	15

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 4	17
MATERYAL VE METOT	17
4.1. DENEY YAKITLARININ HAZIRLANIŞI	17
4.1.1. Biyodizel Özellikleri ve Yakıt Karışımlarının Hazırlanışı.....	17
4.1.2. Nano Parçacık Özellikleri ve Yakıt Karışımlarının Hazırlanışı.....	19
4.2. DENEY EKİPMANLARI VE DENEY YAPILIŞI	22
4.2.1. Test Motoru.....	23
4.2.2. Yükleme Ünitesi ve Veri Kayıt, Kontrol Ünitesi	24
4.2.3. Egzoz Emisyonu ve İS Emisyonu Ölçüm Cihazı.....	27
4.2.4. Yakıt Tüketimi Ölçüm Ünitesi	29
4.2.5. Hava Debisi Ölçüm İşlemi	29
4.2.6. Deneyin Yapılışı.....	30
4.3. EKSERJİ ANALİZİ	31
4.4. YANIT YÜZEY YÖNTEMİ (RSM) İLE OPTİMİZASYON	36
BÖLÜM 5	38
BULGULAR VE TARTIŞMA.....	38
5.1. BİYODİZEL-DİZEL KARIŞIMLARININ ANALİZİ.....	38
5.1.1. Egzoz Emisyon Analizi	38
5.1.1.1. Karbonmonoksit.....	38
5.1.1.2. Hidrokarbon	40
5.1.1.3. Karbondioksit.....	42
5.1.1.4. Azot Oksit	44
5.1.1.5. İS Emisyonu	46
5.1.2. Ekserji Analizi	48
5.2. D70B30 YAKITINA B ₂ O ₃ EKLENTİSİNİN ANALİZİ	52
5.2.1. Egzoz Emisyon Analizi	52
5.2.1.1. Karbonmonoksit.....	52
5.2.1.2. Hidrokarbon	54
5.2.1.3. Karbondioksit.....	55
5.2.1.4. Azot Oksit	56
5.2.1.5. İS Emisyonu	58

	<u>Sayfa</u>
5.2.2. Ekserji Analizi	59
5.3. YANIT YÜZEY YÖNTEMİ (RSM) İLE OPTİMİZASYON	64
BÖLÜM 6	75
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR	78
ÖZGEÇMİŞ	87

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Alternatif yakıtlar ve yakıt katkı maddeleri.	9
Şekil 4.3. B ₂ O ₃ nano parçacığının TEM görüntüsü.	20
Şekil 4.4. B ₂ O ₃ nano parçacıklı yakıt karışımlarının hazırlanma süreci.	21
Şekil 4.5. B ₂ O ₃ nano parçacığının miktarını belirleme süreci.	22
Şekil 4.6. Elde edilen yakıt karışımları.	22
Şekil 4.7. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.	23
Şekil 4.8. Test motoru.	24
Şekil 4.9. Veri kayıt, kontrol ve yükleme ünitesi.	25
Şekil 4.10. Masaüstü programın elektrik yükü kontrol arayüzü.	26
Şekil 4.11. Masaüstü programın veri kayıt arayüzü.	27
Şekil 4.12. Emisyon ölçüm cihazı.	28
Şekil 4.13. Egzoz kanalı ve emisyon probu yerleşimi.	28
Şekil 4.14. Yakıt tüketimi ölçümü.	29
Şekil 4.15. Anemometre.	30
Şekil 4.16. Dizel motorun kontrol hacmi.	33
Şekil 5.1. CO emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimi.	39
Şekil 5.2. HC emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimi.	41
Şekil 5.3. CO ₂ emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimi.	43
Şekil 5.4. NO _x emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimi.	45
Şekil 5.5. İS emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimi.	47
Şekil 5.6. Ekserji veriminin motor yüküne bağlı değişimi.	49
Şekil 5.7. 2500 W motor yükünde ekserji analizi değişimi.	50
Şekil 5.8. CO emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimi.	53
Şekil 5.9. HC emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimi.	54
Şekil 5.10. CO ₂ emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimi.	56
Şekil 5.11. NO _x emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimi.	57
Şekil 5.12. İS emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimi.	58
Şekil 5.13. Ekserji veriminin motor yüküne bağlı değişimi.	60
Şekil 5.14. 2500 W motor yükünde ekserji analizi değişimi.	62
Şekil 5.15. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde CO çıktısına etkisi.	66
Şekil 5.16. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde HC çıktısına etkisi.	67

Sayfa

Şekil 5.17. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde CO ₂ çıktısına etkisi.....	68
Şekil 5.18. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde NO _x çıktısına etkisi.....	69
Şekil 5.19. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde is çıktısına etkisi.....	70
Şekil 5.20. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde ekserji verimi çıktısına etkisi.....	71
Şekil 5.21. RSM ile optimizasyon.	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Butanol, pentanol ve dizelin temel özellikleri.	10
Çizelge 3.2. Biyoetanol ve dizelin temel özellikleri.	11
Çizelge 3.3. Doğalgaz ve dizelin temel özellikleri.	12
Çizelge 3.4. Hidrojen ve dizelin temel özellikleri.	13
Çizelge 4.1. Kullanılan biyodizellerin özellikleri.	18
Çizelge 4.2. Nano parçacık eklentili yakıtların özellikleri.	21
Çizelge 4.3. Test motorunun özellikleri.	24
Çizelge 4.4. Test motorunun çevresi için egzoz gazı bileşenlerinin mol kesri.	35
Çizelge 5.1. Çıktı parametrelerinin girdi parametrelerine göre regresyon eşitlikleri.	64
Çizelge 5.2. Regresyon eşitliklerinin korelasyon katsayıları.	65
Çizelge 5.3. ANOVA ile elde edilen p-değerleri.	65
Çizelge 5.4. RSM ile optimizasyon için parametreler ve değerleri.	72
Çizelge 5.5. RSM sonuçlarının doğrulanması.	74

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

$E\dot{x}$: Ekserji oranı
T	: Sıcaklık
H_u	: Alt ısı değer
\dot{m}	: Kütleli debi
T	: Tork
h	: Entalpi
\bar{R}	: Evrensel gaz sabiti
y	: Mol kesri
\dot{Q}	: Isı transferi
ψ	: Ekserji verimi
R^2	: Korelasyon katsayısı
$Düz. R^2$: Düzeltilmiş korelasyon katsayısı
$Tah. R^2$: Tahmin edilmiş korelasyon katsayısı
H	: Hidrojen Miktarı
C	: Karbon miktarı
O	: Oksijen Miktarı
α	: Sülfür miktarı
ω	: Açısal hız
ex	: Ekserji
s	: Entropi
$\epsilon_{yakıt}$: Yakıtın kimyasal ekserji faktörü

KISALTMALAR

HYB	: Hayvansal yağdan elde edilen biyodizel
AKYB	: Atık kızartma yağından elde edilen biyodizel
RSM	: Yanıt Yüzey Yöntemi
CO	: Karbonmonoksit
HC	: Hidrokarbon
NO _x	: Azot oksit
B ₂ O ₃	: Bor oksit
CO ₂	: Karbondioksit
D100	: Dizel yakıt
D90B10	: %90 dizel ile %10 AKYB yakıtlarının karışımı
D80B20	: %80 dizel ile %20 AKYB yakıtlarının karışımı
D70B30	: %70 dizel ile %30 AKYB yakıtlarının karışımı
D60B40	: %60 dizel ile %40 AKYB yakıtlarının karışımı
D90HB10	: %90 dizel ile %10 HYB yakıtlarının karışımı
D80HB20	: %80 dizel ile %20 HYB yakıtlarının karışımı
D70HB30	: %70 dizel ile %30 HYB yakıtlarının karışımı
D60HB40	: %60 dizel ile %40 HYB yakıtlarının karışımı
D70B30BO20	: %70 dizel ile %30 AKYB yakıtlarının karışımına 20 ppm B ₂ O ₃ ilavesi
D70B30BO40	: %70 dizel ile %30 AKYB yakıtlarının karışımına 40 ppm B ₂ O ₃ ilavesi
D70B30BO60	: %70 dizel ile %30 AKYB yakıtlarının karışımına 60 ppm B ₂ O ₃ ilavesi

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Teknolojide yaşanan gelişmeler neticesinde insanlar konforlu bir yaşam tercihinine yönelmişlerdir. Bu eğilim sonucunda içten yanmalı motorlu araç sayısında dünya genelinde bir artış meydana gelmiştir. Teknolojik gelişmelerin yanı sıra dünya nüfusunda yaşanan artış yine içten yanmalı motorlu araç sayısının artmasına sebep olmuştur. Tüm bu durumlar neticesinde içten yanmalı motorlu araçların kullanılması için gereken fosil yakıt rezervlerinde ciddi bir azalış görülmektedir. Aynı zamanda, bu konu ile ilgilenen bilim insanları, önümüzdeki birkaç sene içerisinde fosil yakıt rezervlerinin artan talebi karşılayamayacağını bildirmektedirler [1]. Fosil yakıt rezervlerinde oluşan talep sorunlarının yanı sıra içten yanmalı motorlu araçlarda kullanılan yakıtlardan dolayı oluşan emisyonlar (CO, HC, NO_x) çevreye büyük zararlar vermektedir. Araştırmacılar, bahse konu bu durumlardan dolayı fosil yakıtların alternatifi olabilecek alternatif yakıtlar üzerine çalışmalar yapmaya başlamışlardır [2–4]. Bir yakıtın içten yanmalı motorlu araçlarda kullanılabilmesi ve fosil yakıtlara alternatif olabilmesi için öncelikle ekonomik olması, ısıl değerinin yüksek olması ve emisyonlarının düşük olması gerekmektedir [1]. Alternatif yakıtlar arasında elektrik ve hidrojen gibi içten yanmalı motorlarda kullanılacak yenilenebilir enerji kaynakları olsa da bu kaynakları kullanabilmek için motor veya araç üzerinde büyük oranda modifikasyonlar yapmak gerekmektedir. Yapılması gereken modifikasyonların yüksek maliyetleri düşünüldüğünde, araştırmacılar dizel yakıt ile benzer termo-fiziksel özelliklere sahip olan biyodizel yakıtlara yönelmişlerdir. Biyodizel yakıtlar, fosil yakıtların yerine kullanıldığında emisyonları azaltmanın yanı sıra içten yanmalı motorlarda hiçbir değişiklik yapılmadan kullanılabilmesi ile dikkat çekmektedir. Biyodizel yakıt, bitkisel yağlar, hayvansal yağlar, endüstriyel atıklar ve evsel atıklardan elde edilmiş olan biyoyağların içten yanmalı motorlarda kullanılacak özelliklere sahip olması için çeşitli proseslerden geçirilerek elde edilmektedir. [5–7].

Biyodizel yakıtlar kimyasal özellikleri bakımından fosil yakıtlara benzemesine rağmen içerisinde kükürt gibi bazı zararlı bileşikler içermektedir [8,9]. Biyodizel yakıtların emisyonuna yönelik yapılan araştırmalarda, CO, sülfür oksit, karbon dioksit (CO₂) ve HC gibi çevre kirletici özelliğe sahip emisyonların biyodizel yanması esnasında diğer fosil yakıtlara kıyas ile daha az açığa çıktığı görülmektedir. Ancak biyodizelin yanması sonucunda diğer emisyonların azalmasına rağmen NO_x emisyonunun arttığı gözlemlenmiştir [10–12]. Araştırmacılar gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarda NO_x emisyonunu azaltmak ve biyodizel yakıtın yanma performansını artırmak için biyodizel-dizel karışımı yakıtta çeşitli nano parçacıklar eklemişlerdir. Bu çalışmalar sonucunda NO_x emisyonunun azaldığı ve biyodizel-dizel yakıt karışımının yanma performansının arttığı gözlemlenmiştir [10,12,13].

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde biyodizel-dizel yakıt karışımının içten yanmalı motorda kullanımı ile ilgili çok sayıda çalışma olmasına rağmen B₂O₃ nano parçacığı eklentili biyodizel-dizel yakıt karışımı ile ilgili çalışma mevcut değildir. Ayrıca literatürde bulunan nano parçacık eklentili biyodizel-dizel yakıt karışımı ile ilgili çalışmalarda sonuçların çok yönlü irdelenmesi gerekmektedir. Literatürde sonuçların çok yönlü irdelendiği çalışma sayısı çok az sayıda olduğu görülmektedir.

Huang vd. tarafından yapılan çalışmada Çin fıstığı yağı ve jatropha yağından iki farklı biyodizel elde etmiş ve saf dizel yakıt ile karıştırarak dizel motor performansı ve emisyonları üzerine deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda öncelikle dizel motorun her iki biyodizel ile farklı yüklerde ve hızlarda iyi çalıştığı ve güç çıkışlarının istikrarlı olduğu görülmüştür. Sonrasında ise biyodizel yakıtların dizel yakıtlara göre emisyonlarda bir miktarda olsa iyileşme olduğu aynı zamanda is emisyonlarında ise belirgin bir fark olduğu bulunmuştur [14]. Benzer bir çalışma olarak Rasim tarafından atık hamsi balığı yağından elde edilmiş biyodizel ile dizel yakıtı karıştırarak içten yanmalı motor üzerinde emisyon ve motor performansı üzerine denemeler yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda özgül yakıt tüketiminde artış gözlemlenmişken CO₂, CO ve HC emisyonlarında azalma gözlemlenmiştir. Sonuç olarak bu çalışma neticesinde atık hamsi balığı yağından elde edilen biyodizelin, dizel motorlarda dizel yerine kullanılabilir olduğu görülmüştür [15].

Literatürde biyodizel-dizel yakıt karışımlarının dizel motorlar üzerinde motor performansı ve emisyon seviyeleri özelinde incelendiğinde biyodizel yakıtının motor performansını düşürdüğü ve NO_x emisyonunu da artırdığı görülmektedir [16,17]. Örneğin; Nantha Gopal ve Thundil Karupparaj pongamia yağından elde edilmiş biyodizel yakıtı farklı oranlarda dizel yakıt ile karıştırarak dizel motor üzerinde test

etmişlerdir. Testler sonucunda NO_x emisyonunun arttığını ve motor performansının azaldığını belirtmişlerdir [18]. Aynı zamanda Vinodraj vd. tarafından juliflora biyodizel-dizel karışımlarının dizel motor üzerinde farklı yükler altından motor performansları, yanma verimliliği ve emisyon miktarları incelenmiştir. Çalışma kapsamında yapılan deneyler su soğutmalı bir motorda, 17.5:1 sıkıştırma oranıyla, sabit 1500 devir/dakika hızında gerçekleştirilmiştir. Bu koşullar altında biyodizel-dizel karışımının tüm durumlarda NO_x emisyonunu artırdığı ve motor performansını azalttığı görülmüştür [19].

Biyodizel yakıtlarının motor performanslarını artırmak ve NO_x emisyonu başta olmak üzere tüm emisyonların miktarlarını azaltmak için araştırmacılar çeşitli yakıt eklentileri kullanmışlardır. Örneğin; Senthil vd. tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, kanola yağından elde edilmiş biyodizel ile çeşitli miktarlarda antioksidan (L askorbik asit) ilave edilerek dizel motor üzerinde motor performansı ve emisyon miktarları üzerine deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda özellikle NO_x ve HC emisyonlarında önemli ölçüde azalmalar meydana geldiği görülmüştür [20]. Benzer bir çalışmada ise Rajendran tarafından annonadan elde edilen biyodizel yakıtına antioksidan katkı maddeleri eklenerek dizel yakıt ile karıştırılmış ve dizel motor üzerinde emisyon miktarları incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda, biyodizel-dizel karışımına %25,4 oranında antioksidan katkı maddesi ilave edilen yakıt karışımının NO_x emisyonunda azalma olduğu gözlemlenmiştir [21]. Bir başka çalışmada ise Rashed vd. tarafından biyodizelin düşük oksidasyon stabilitesine dikkat çekerek en etkili oksidasyon maddesini (4-phenylenediamine (DPPD)) Calophyllum inophyllum biyodizeli ile karıştırmış ve dizel motor üzerinde motor performansı ile emisyon miktarlarını incelemişlerdir. Bu inceleme neticesinde özgül yakıt tüketiminin nispeten azaldığı aynı zamanda NO_x emisyonun belirgin bir şekilde iyileştiği görülmüştür [22]. Bahse konu bu çalışmalarda kullanılan antioksidan katkı maddesinin yanında biyodizel yakıtına karbon nanotüp katkı maddesi, çok katmanlı karbon nanotüp, polioksümetilen dimetil eter, dietil eter, demir tozu içeren akışkan, genişletilmiş polistiren, aseton, hindistan cevizi kabuğu, nano parçacık ve su gibi katkı maddeleri de motor performansını ve özellikle NO_x emisyonunu azaltmak için kullanılmaktadır [23].

Son yıllarda biyodizel dizel karışımının performansı artırmak ve emisyon değerlerini düşürmek amacı ile araştırmacılar yakıt karışımına çeşitli katkı maddelerinden biri olan nano parçacık katkı maddesini eklemişlerdir [24–26]. Örneğin; Hoseini vd., Güneşdamlası (*Oenothera lamarckiana*) bitkisinden elde edilmiş olan biyodizel-dizel karışımına grafen oksit nano parçacık eklentisinin dizel motor performansı ve emisyon değerleri üzerine etkisi incelemiştir. Eklenen nano parçacıkların motor performansını az da olsa iyileştirdiği, CO ve HC emisyonlarını azalttığı ve CO₂ ve NO_x emisyonlarında ise hafif bir artış yaptığını gözlemlemiştir. Tüm bu sonuçları göz önüne aldıklarında biyodizele grafen oksit nano parçacığı eklentisinin motor üzerinde herhangi bir modifikasyon olmaksızın motor performansını artırmak ve emisyon özelliklerini azaltmak için umut verici bir teknik olduğunu vurgulamışlardır [27]. Perumal ve Hangkumaran, Pongamia yağından üretilmiş olan biyodizel içerisine bakır oksit nano parçacığı ekleyerek motor performansı ve emisyonları incelemiştir. Bu çalışma neticesinde araştırmacılar bakır oksit nano parçacık eklentisinin motor performansını önemli ölçüde iyileştirdiği ve emisyonları önemli ölçüde azalttığını gözlemlemiştir. Araştırmacılar bu sonuçları, kullanılan biyodizel ile nano parçacıkların iyi bir şekilde karışarak katalizör ve aynı zamanda oksijen güçlendirici gibi hareket etmesine bağlamışlardır [28]. Diğer çalışmalardan farklı olarak Lamore vd. tarafından hint yağından elde edilen biyodizel-dizel karışımına hibrit seryum oksit (CeO₂) ve alüminyum oksit (Al₂O₃) nano parçacıkları eklenerek emisyon ve motor performansı incelenmiştir. Yapılan deneylerde sabit motor yükünde değişken hızlarda tek silindirli sıkıştırma ateşlemeli bir motor kullanılmıştır. Başlangıçta nano parçacıklar 80 ve 100 ppm olarak karıştırılmış olup sonrasında ise her iki nanoparçacıkta aynı miktarda (50 ppm CeO₂ ve 50 ppm Al₂O₃) karıştırılıp farklı bir yakıt elde edilmiştir. Denenen tüm yakıtlar karşılaştırıldığında %20 biyodizel %80 dizel yakıt karışımına 50 ppm CeO₂ ve 50 ppm Al₂O₃ karıştırılan yakıtın motor performansını iyileştirdiği ve NO_x emisyonunu azalttığı görülmektedir [29].

Literatür incelendiğinde bu çalışma kapsamında da kullanılacak olan AKYB-dizel karışımı ile ilgili olan çalışmalara rastlanmıştır. Örneğin; Utlu ve Koçak atık kızartma yağından elde ettiği metil ester yakıtını dizel motor üzerinde kullanmış ve motor performansı ile emisyon miktarı üzerine çalışma yapmışlardır. Bu çalışma sonucunda motor performansının dizel yakıt ile hemen hemen aynı olduğunu ve emisyon

miktarlarının azaldığını görmüşlerdir [30]. Hemanandh vd. atık balık kızartma yağından elde edilen biyodizel-dizel karışımını 4 zamanlı tek silindri dizel motor üzerinde motor performansı ve emisyon karakteristikleri özelinde deneysel olarak çalışmışlardır. Atık balık kızartma yağından biyodizel elde etmek için NaOH katalizörünün yanında metanol kullanmışlar ve 3 farklı yakıt karışımı elde etmişlerdir [31]. Şanlı vd. diğer çalışmalardan farklı olarak kızartma yağından metanol ve etanol elde etmiş ve karşılaştırmalı olarak dizel motor üzerinde çalışmışlardır. Etil ester biyodizelin metil ester biyodizele göre daha iyi bir emisyon karakteristiğine sahip olduğunu ve yine aynı şekilde daha iyi bir motor performansına sahip olduğunu gözlemlemişlerdir [32].

Son yıllarda yapılan çalışmalarda araştırmacılar biyodizel-dizel karışımının enerji performansının yanında ekserji, eksergoekonomik, sürdürülebilirlik ve çevresel analizlerinde yapılması gerektiğini vurgulamış ve bu alanda çalışmalar yapmaya başlamışlardır [33,34]. Örneğin; Karagöz vd., atık yemek yağından üretilmiş olan biyodizel-dizel karışımına metal oksit nano parçacıkları ekleyerek ekserji ve eksergoekonomik analizi yapmışlardır. Sonuç olarak metal oksit nano parçacık eklentili dizel-biyodizel karışımının en iyi performansı verdiğini gözlemlemişlerdir [35]. Benzer bir şekilde Manimaran vd., dizel yakıtına göre biyodizelin fazla miktarda NO_x emisyonuna sebep olduğuna vurgu yaparak bu dezavantajı ortadan kaldırmak adına yeşil sentezli CeO₂ nano parçacığını trichosanthes cucumerina yağından elde edilen biyodizel ile karıştırarak dizel motor üzerinde motor performansı, emisyon miktarları ve bunların yanında ekserji analizini yapmışlardır. Gerçekleştirilen analizler sonucunda %20 biyodizel %80 dizel yakıt karışımına 30 ppm CeO₂ eklentisinin aynı yakıt karışımının nano parçacık eklentisi olmayan hali ile karşılaştırıldığında daha düşük enerji yok oluşuna ve daha yüksek enerji payına sahip olduğu görülmüştür [36]. Ağbulut diğer çalışmalardan farklı olarak kanola yağından elde edilmiş biyodizel-dizel karışımına farklı boyutlarda nano parçacık eklentisinin termodinamik ve çevresel etkisini (enerji, ekserji, termoekonomik, eksergoekonomik ve sürdürülebilirlik açısından) incelemiştir. Bu çalışma kapsamında 28, 45 ve 200 nm boyutlarında titanyum oksit nano parçacıklarını biyodizel-dizel karışımına ilave etmiştir. Sonuç olarak enerji ve ekserji verimliliği bakımından 28 nm boyuttaki titanyum oksit nano parçacık eklentili yakıt karışımının en iyi sonucu verdiği görülmüştür [37].

Biyodizel-dizel karışımlarında motor performansı, emisyon miktarlarında oluşan değişimler gibi birçok parametre önem arz ettiğinden dolayı doğru yakıt karışımının bulunması optimizasyon tekniklerinin uygulanması ile mümkün hale gelmektedir. Literatür incelendiğinde çeşitli optimizasyon teknikleri uygulanmış olup en fazla karşılaşılan ve optimizasyon teknikleri arasında en uygun sonuçları verdiği öngörülen tekniklerden bir tanesi RSM olduğu görülmektedir. RSM ile Şimşek ve Uslu tarafından yapılmış bir çalışmada, kanola, safran çiçeği ve atık sebze yağı karışımlarından elde edilen biyodizelin 2 etilhekzil nitrat (EHN) ile karıştırılması sonucunda motor performansı ve emisyonları üzerine etkiler incelenmiş ve sonrasında RSM ile optimizasyonu yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda %100 biyodizel oranı %1,1 EHN oranı ve 1515 W motor yükünde optimum motor performansı ve emisyon değerlerine sahip olduğu bulunmuştur [38]. Biyodizel-dizel karışımının yanında yakıtta nano parçacık eklenti oranının da motor performansı ve emisyon miktarlarına doğrudan etkisinin bulunması optimum çalışma şartlarını belirlemeyi daha da zor hale getirmektedir. Araştırmacılar bu gibi çalışmalarda öncelikle biyodizel-dizel karışımının en optimum şartlarını belirledikten sonra çeşitli miktarlarda nano parçacık eklentisi gerçekleştirerek optimum nano parçacık miktarını belirlemektedir. Örneğin; Uslu vd. yapmış oldukları çalışmalarında %30 kenevir tohumu yağından elde edilmiş biyodizel ve %70 dizel eklenerek elde edilen yakıt karışımına 25, 50, 75 ve 100 ppm oranlarında titanyum oksit (TiO_2) nano parçacık eklentisini eklemiş ve dizel motor üzerinde motor performansı ve emisyonlara etkisini incelemişlerdir. Bu inceleme neticesinde RSM uygulayarak optimizasyon üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Optimizasyon neticesinde optimum nano parçacık miktarının 75 ppm ve motor yükünün ise 2000 W olduğu bulunmuştur. Aynı zamanda optimum sonuçların 0,7665 gibi yüksek bir uyumluluk değerine sahip olduğunu vurgulamışlardır [39].

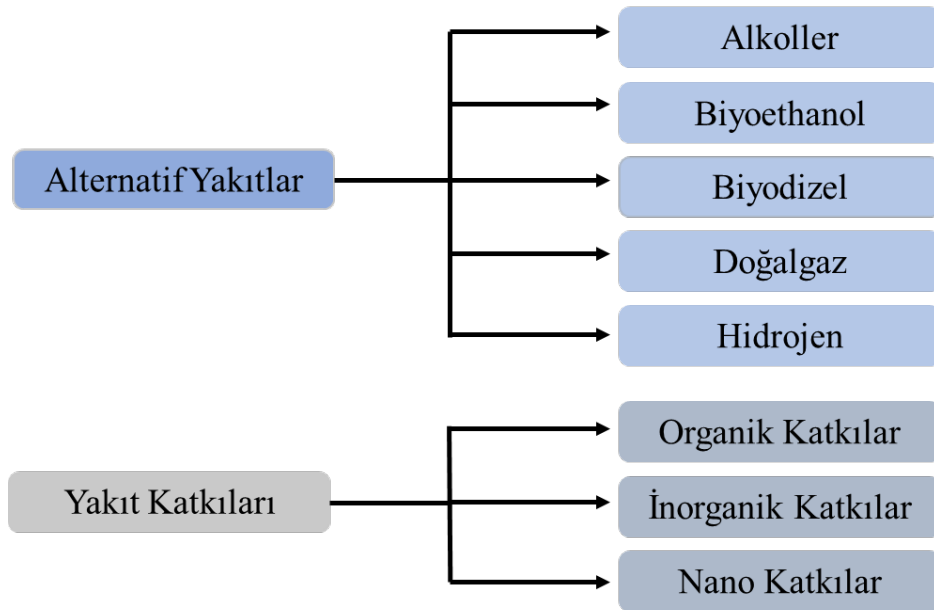
Bu çalışmada, iki farklı biyodizel, (HYB ve AKYB) dizel yakıt ile karıştırılmış ve emisyon ve ekserji analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca biyodizel-dizel karışımının performansını artırmak adına yakıt karışımlarına B_2O_3 nano parçacığı eklenmiştir. Bu çalışma kapsamında elde edilen bütün yakıtların motor performansı, emisyon ve ekserji analizleri irdelenerek deney sonuçları ışığında optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu sayede optimum biyodizel, nano parçacık oranları her bir

motor yüküne göre belirlenmiştir. Yukarıdaki literatür taramasından da görüldüğü üzere AKYB-dizel karışımına nano parçacık eklentisi olmadığı anlaşılmıştır. Ayrıca B_2O_3 nanoparçacığının yakıt eklentisi olarak kullanılmadığı görülmektedir.

BÖLÜM 3

DİZEL MOTORLARDA ALTERNATİF YAKITLAR VE YAKIT KATKI MADDELERİ

Araştırmacılar hem çevre kirlenmesi hem de fosil yakıtların tükenme eğiliminde olmasından dolayı dizel motorlarda kullanılan fosil yakıtı alternatif yakıtlar arama eğilimine girmişlerdir. Şekil 3.1’de de gösterilen alternatif yakıtlar birçok araştırmacının araştırmalarına konu olmuş ve dizel yakıt ile kıyaslanmıştır. Ayrıca alternatif yakıtların kullanımında oluşan dezavantajları ortadan kaldırmak için yakıt katkı maddeleri kullanılmış ve bu katkı maddeleri yine Şekil 3.1’de gösterildiği gibi 3 ana başlığa ayrılmıştır [40].



Şekil 3.1. Alternatif yakıtlar ve yakıt katkı maddeleri [40].

3.1. ALTERNATİF YAKITLAR

Alternatif yakıtlar, petrol tabanlı yakıtlara nazaran temiz, sürdürülebilir ve çevre dostu yakıtlar olarak öne çıkmakta ve bahse konu bu durumlardan dolayı önem

kazanmaktadır. Dizel motor üzerinde petrol tabanlı olan dizel yakıt yerine kullanılabilir olan alternatif yakıtlar alkol, biyoethanol, biyodizel, doğalgaz, hidrojen olarak isimlendirilmektedir. Bir yakıtın alternatif yakıt olabilmesi için araştırmacılar tarafından aranan özellikleri;

- Motor performansını azaltmaması,
- Motor üzerine büyük bir değişiklik yapılmadan kullanılabilir olması,
- Düşük maliyetli olup aynı zamanda kolay prosesler ile üretilebilir olması,
- Yanma sonucunda düşük emisyon üretebilir olmasıdır.

3.1.1. Alkoller

İçerisinden 3 veya daha fazla karbon atomu bulunduran alkollere yüksek alkoller denir. Örneğin; etanol (C_2H_5OH) gibi kısa karbon zincirlerine sahip olmayan, propanol (C_3H_7OH), pentanol ($C_5H_{11}OH$), butanol (C_4H_9OH) gibi uzun karbon zincirlerine sahip olan alkol türlerine yüksek alkoller denmektedir. Yüksek alkollerin oksijen içermesi, fizikokimyasal özellikleri, motorlardaki yüksek yanma ve düşük emisyonları nedeni ile dizel motorlar için alternatif yakıt olarak kabul edilmektedir [41–43]. Yüksek alkoller alternatif yakıt olarak tek başına kullanımının yanı sıra dizel, biyodizel, biyodizel-dizel karışımı, düşük alkol-dizel karışımı ile de birlikte bir yakıt katkısı olarak da kullanılmaktadır. Bu tür kullanımın amacı yakıtın kimyasal özelliklerini değiştirerek motor performansını artırıp aynı zamanda emisyon miktarlarını iyileştirmektir [44,45]. Çizelge 3.1’de butanol ve pentanolun temel özellikleri verilmiştir. Bu çizelgeden de görüldüğü üzere karbon zincirleri arttıkça setan sayısı, alt ısı değer, kinematik viskozite gibi temel özelliklerde artmaktadır.

Çizelge 3.1. Butanol, pentanol ve dizelin temel özellikleri [44].

Özellikler	Dizel	Butanol	Pentanol
Kimyasal Formül	$C_{13}H_{28}$	C_4H_9OH	$C_5H_{11}OH$
Kinematik Viskozite (mm^2/s)	2,72	2,22	5
Yoğunluk (kg/m^3)	820-840	809,8	814,6
Parlama Noktası ($^{\circ}C$)	75	37	43
Alt Isıl Değer (MJ/kg)	42,8	33,9	34,65
Setan Sayısı	45-55	17	20
Oksijen İçeriği (% Ağırlık)	0	21,59	18,15
Stokiyometrik Hava-Yakıt Oranı	14,8	11,27	11,84

3.1.2. Biyoetanol

Biyoetanol, şeker kamışı, buğday, mısır gibi tarım ürünlerinden veya odun gibi atıklardan elde edilen, yani tamamı ile bitkisel kaynaklardan elde edilen bir biyoyakıt türüdür. Geleneksel etanol ile kimyasal bileşiği aynı olsa da etanol petrokimyasal kaynaklardan üretilirken, biyoetanol bitkisel kaynaklardan üretilmektedir [46,47]. Biyoetanol %35 oksijen içeren bir yakıt olduğundan dolayı içten yanmalı motorlarda yanmayı iyileştirerek emisyonların azalmasını sağlamaktadır [48]. Biyoetanol benzin ile karşılaştırıldığında daha yüksek oktan sayısına, daha yüksek entalpiye ve daha yüksek alev hızına sahip olduğundan dolayı tek başına benzin yerine kullanılabilir [49]. Biyoetanol benzinli motorlarda benzin yerine tek başına kullanılabilirken dizel motorlarda dizel yakıt ile karıştırılarak kullanılması birçok araştırmacı tarafından önerilmektedir. Bunun sebebi ise dizel yakıt ile karşılaştırıldığında düşük enerji yoğunluğu, yüksek korozif yapısı ve düşük buharlaşma basıncı olarak gösterilmektedir. Düşük enerji yoğunluğundan dolayı biyoetanol tüketiminin artacağı, yüksek korozif yapısından dolayı temas ettiği metal parçalarda yüksek aşınma veya dayanıklılığında azalma olacağı ve düşük buharlaşma basıncından dolayı ise soğuk hava koşullarında motor çalışmasının zorlaşacağı öngörülmektedir. Fakat biyoetanol dizel ile veya dizel biyodizel karışımı ile karıştırıldığında yakıtın fizikokimyasal özelliklerinde iyileşme olacağı, bu sayede de motor performansının artacağı ve emisyonların azalacağı araştırmacılar tarafından rapor edilmiştir [50–53]. Biyoetanol yakıtının dizel ile karşılaştırılmalı bir şekilde Çizelge 3.2’de temel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.2. Biyoetanol ve dizelin temel özellikleri [52].

Özellikler	Dizel	Biyoetanol
Kimyasal Formül	C ₁₃ H ₂₈	C ₄ H ₉ OH
Kinematik Viskozite (mm ² /s)	2,72	1,4
Yoğunluk (kg/m ³)	820-840	790
Parlama Noktası (°C)	75	13
Alt Isıl Değer (MJ/kg)	42,8	26,95
Setan Sayısı	45-55	8
Oksijen İçeriği (% Ağırlık)	0	34,8
Stokiyometrik Hava-Yakıt Oranı	14,8	9,06

3.1.3. Doğalgaz

Doğalgaz, doğada bulunan organik malzemelerin çürümesi sonucunda ve fosil yakıtların oluşması sırasında doğal yollar ile oluşmaktadır. Doğalgaz, genellikle oluşma aşamalarının gereklilikleri gereği petrol yatakları ve kömür madenleri yakınında fazla bir şekilde bulunabilmektedir. Genellikle metan (CH_4) gibi hidrokarbonlardan oluşmasına rağmen etilen (C_2H_4), propan (C_3H_8) ve bütan (C_4H_{10}) hidrokarbon karışımları da içeriğinde rastlanabilmektedir [54]. Doğalgazın herhangi bir masraf oluşturmadan doğal yollarla oluşması ve doğada çokça bulunması kullanım alanlarını genişletmektedir. Hali hazırda doğalgaz ev ısıtma, elektrik üretimi ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır. Son yıllarda ise dizel motorların emisyonlarının standartlar üzerinde kalmasından dolayı doğalgaz alternatif bir yakıt olarak değerlendirilmeye başlanmıştır [55,56]. Dizel motor içerisinde doğrudan doğalgaz kullanımı vurutu gibi farklı sorunlara yol açtığından dolayı araştırmacılar motor üzerinde modifikasyonlar veya elektronik kontrolcüler vasıtası ile kontroller gerçekleştirmişlerdir. Dizel motorda doğalgaz kullanılması için emme manifolduna doğalgaz enjekte edilerek hava ile birlikte motor içerisine doğalgaz alımı gerçekleştirilmiş olup dizel yakıt ile birlikte çalışması sağlanmıştır. Literatür incelendiğinde özellikle emisyonlarda ciddi iyileştirmeler rapor edilmiştir [57,58]. Çizelge 3.3'te doğalgazın dizel ile karşılaştırılmalı bir şekilde temel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.3. Doğalgaz ve dizelin temel özellikleri [59].

Özellikler	Dizel	Doğalgaz
Kimyasal Formül	$C_{13}H_{28}$	CH_4
Kinematik Viskozite (mm^2/s)	2,72	1,8
Yoğunluk (kg/m^3)	820-840	710
Parlama Noktası ($^{\circ}C$)	75	95
Alt Isıl Değer (MJ/kg)	42,8	47,17
Setan Sayısı	45-55	-
Oksijen İçeriği (% Ağırlık)	0	0
Stokiyometrik Hava-Yakıt Oranı	14,8	16,79

3.1.4. Hidrojen

Hidrojen, atomsal olarak incelendiğinde tek proton ve tek elektrona sahip olup en hafif element olarak bilinmektedir. Hidrojen, kokusuz, renksiz bir yanıcı gaz olarak tanımlanmaktadır. Hidrojen, çeşitli özelliklerinden dolayı birçok alanda kullanılmaya başlanmış ve birçok alanda önem kazanmıştır. Son yıllarda, alt ısı değerinin yüksek olması, yüksek yanma hızına sahip olması ve içerisinde karbon bulundurmaması gibi sebeplerden dolayı ise içten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılmaya başlanmıştır [60]. Hidrojen yakıtının alt ısı değerinin yüksek olmasına rağmen yoğunluğunun düşük olmasından dolayı içten yanmalı motorlarda yeterli menzilin oluşabilmesi adına büyük bir depolama alanına ihtiyaç duyulacağından tek başına dizel yakıtı alternatif olarak kullanılamamıştır. Bu yüzden araştırmacılar tarafından dizel motor çift yakıtlı hale getirilerek deneyler yapılmıştır. Doğalgazda olduğu gibi hidrojen yakıtı emme kanalından hava ile birlikte dizel motor içerisine gönderilmekte ve dizel yakıt ile karıştırılarak yanması sağlanmaktadır. Literatür incelendiğinde özellikle emisyonlarda ciddi iyileştirmeler rapor edilmiştir [60]. Çizelge 3.4'te hidrojen yakıtının dizel ile karşılaştırılmalı bir şekilde temel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.4. Hidrojen ve dizelin temel özellikleri [61].

Özellikler	Dizel	Hidrojen
Kimyasal Formül	C ₁₃ H ₂₈	H ₂
Kinematik Viskozite (mm ² /s)	2,72	0,76
Yoğunluk (kg/m ³)	820-840	0,084
Parlama Noktası (°C)	75	-
Alt Isıl Değer (MJ/kg)	42,8	119,93
Setan Sayısı	45-55	-
Oksijen İçeriği (% Ağırlık)	0	0
Stokiyometrik Hava-Yakıt Oranı	14,8	29,53

3.1.5. Biyodizel

Biyodizel, dizel motorlar özelinde önemli bir alternatif yakıt olarak gösterilmektedir [62,63]. Bu durum biyodizelin dizel yakıt ile karşılaştırıldığında kimyasal ve fiziksel

özelliklerinin büyük oranda benzer olması ile açıklanabilmektedir. Biyodizel, hayvansal veya bitkisel yağlardan elde edilebilmekte olup bu özelliğinden dolayı çevresel olarak da önemli bir yere sahiptir. Ayrıca biyodizel kullanımı motor üzerinde herhangi bir modifikasyona gerek duymadan kullanılabilir olması da dizel motorlar için güçlü bir alternatif yakıt olma özelliği kazandırmaktadır. Biyodizel öncelikle biyoyağ adı verilen bitkisel ya da hayvansal yağlardan elde edildikten sonra kimyasal işlemlere tabi tutularak yakıt haline getirilmektedir. Kimyasal işlemler sırasında reaksiyona girdiği birleşikler vasıtası ile içeriğinde oksijen oluşmaktadır. Bu sayede yanma verimini artırmaktadır. Yanma veriminin artması neticesinde emisyonlarda düşme ve motor performansında artma durumu söz konusu olmaktadır [64,65].

3.2. YAKIT KATKI MADDELERİ

Yakıt katkı maddeleri, alternatif yakıtlar, yakıt karışımları, dizel veya benzin gibi yakıtların bazı özelliklerini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Yakıt katkı maddelerinin başlıca işlevleri; temizleyici, yanma iyileştirici, emisyon azaltıcı, depolama stabilizatörü, soğuk hava performansı artırıcı ve sürtünme azaltıcı şeklindedir. Alternatif yakıtlar veya yakıt karışımları dizel yakıtların emisyon ve performansında bazı noktaları iyileştirirken bazı noktaları kötüleştirir. Araştırmacılar ise bu kötüleşen noktalarında iyileşmesi için kullandıkları test yakıtlarına yakıt katkı maddeleri ekleyerek performansta iyileştirme amaçlamışlardır. Bu tez konusunun da amacı tam olarak yanmayı iyileştirmek ve emisyonu azaltmaktır. Bu amaç doğrultusunda yakıt katkı maddesi kullanılmıştır.

3.2.1. Organik Yakıt Katkı Maddeleri

Organik yakıt katkı maddeleri doğal veya sentetik yollar ile üretilen ve genellikle organik maddelerden oluşan maddeler olarak tanımlanmaktadır. Bahse konu bu katkı maddeleri yakıtın kimyasal ve fiziksel özelliklerini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Organik yakıt katkı maddelerinden olan oksijenatörler yakıtın oksijen içeriğini artırarak yanma verimliliğini artırmaktadır. Oksijenatörler haricindeki diğer bütün organik yakıt katkı maddeleri yakıtı koruma, depolama ve temizleme işlemleri için kullanılmakta olup yanma verimine herhangi bir katkısı bulunmamaktadır.

3.2.2. İnorganik Yakıt Katkı Maddeleri

İnorganik yakıt katkı maddeleri, doğal mineraller veya sentetik kimyasallardan oluşmaktadır. İnorganik yakıt katkı maddeleri, organik yakıt katkı maddeleri ile kıyaslandığında karbon içermemektedirler. Bahse konu bu katkı maddeleri, yakıtın performansını artırmak, motorun korunmasını sağlayarak ömrünü uzatmak ve emisyonları azaltarak çevreyi temiz tutmak gibi amaçlar için kullanılmaktadır. İnorganik yakıt katkı maddelerinden olan metal katkılar yakıtın yanma özellikleri iyileştirerek motor performansını artırmak için kullanılmaktadırlar. Metal katkı maddelerine örnek olarak kurşun tetraetil, demir, bakır ve manganez gibi elementler gösterilebilmektedir. Antioksidanlar, yakıt dökme önleyici katkı maddeleri, yakıt renklendirici katkı maddeleri ve anti-korozif katkı maddeleri ise yakıt depolama, motor ömrü uzatma gibi işlemler için kullanılmaktadır.

3.2.3. Nano Yakıt Katkı Maddeleri

Nano yakıt katkı maddeleri nano boyuttaki parçacıkların kullanıldığı maddelere olarak tanımlanmaktadır. Yakıt veya yakıt karışımına nano boyuttaki parçacıklar eklenerek motor performansının iyileştirilmesi ve emisyonların azaltılması amaçlanmaktadır. Motor performansının iyileştirilmesi ve emisyonların azaltılması amacı ile oksijen içeriği yüksek katkı maddelerinin kullanılması araştırmacılar tarafından deneysel yöntemlerle uygun görülmüştür. Alternatif yakıtlar dizel yakıt ile karıştırıldığında kimyasal ve fiziksel özelliklerinde değişimlere sebep olabilirken nano parçacıklar yakıt içerisine eklendiğinde yakıtın kimyasal ve fiziksel özelliklerinde herhangi bir değişime sebep olmadan kullanılabilir. Nano yakıt katkı maddeleri olarak kullanılan nano parçacıkların boyutları nano mertebesinde adlandırılabilmesi için 100 µm'den küçük olması gerekmektedir. Bu kadar düşük boyutlu olması aynı zamanda yüzey alanını artırdığından dolayı homojen bir yakıt karışımı elde edilmesine ve dolayısı ile homojen bir yanma performansı sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Ayrıca nano parçacıklar yanma sırasında katalitik bir etki oluşturduklarından dolayı yanma hızının artmasını sağlamaktadırlar. Aynı zamanda ısı iletim kapasitesini artırarak tutuşma gecikmesini kısaltmaktadırlar. Yakıt katkı maddesi olarak kullanılan nano parçacık olan seryum oksit (CeO_2) özellikle düşük üretim maliyetleri sebebi ile tercih

edilmektedir. Oksijen bakımından yüksek bir içeriğe sahip olması sebebi ile emisyonların azalmasını ve aynı zamanda yanma performansının iyileşmesine katkı sağlamaktadır [66]. Bir diğer nano parçacık katkı maddesi olan TiO_2 ise doğada kendiliğinden bulunan bir parçacıktır. Düşük maliyetli ve oksijen bakımından zengin olduğundan dolayı tercih sebebi olmaktadır [67].

BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOT

Bu çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiş olup her bir aşama için önce deneyler, sonrasında da hesaplamalı analizler yapılmıştır. Bahse konu aşamalardan birincisi dizel yakıtta farklı oranlarda iki farklı biyodizel yakıt eklenmesi olup sonrasında ise analizler neticesinde en verimli olduğu belirlenen yakıt karışımına nano parçacık eklenerek en iyi sonuçların elde edildiği şartlar tespit edilmiştir.

4.1. DENEY YAKITLARININ HAZIRLANIŞI

Çalışmanın bu kısmında gerçekleştirilen deneylerde kullanılan yakıtların hazırlanma süreci anlatılmıştır. Öncelikle biyodizel ile dizel yakıtlar karıştırılarak biyodizel-dizel yakıt karışımları hazırlanmış ve hazırlık süreci ve kullanılan yakıtların özellikleri detaylı bir şekilde verilmiştir. Son olarak ise deney sonuçları neticesinde belirlenen biyodizel-dizel yakıt karışımına nano parçacık eklenerek yakıt karışımları hazırlanmış ve yine bu hazırlık süreci ve nano parçacık eklentili yakıt karışımlarının özellikleri detaylı bir şekilde verilmiştir.

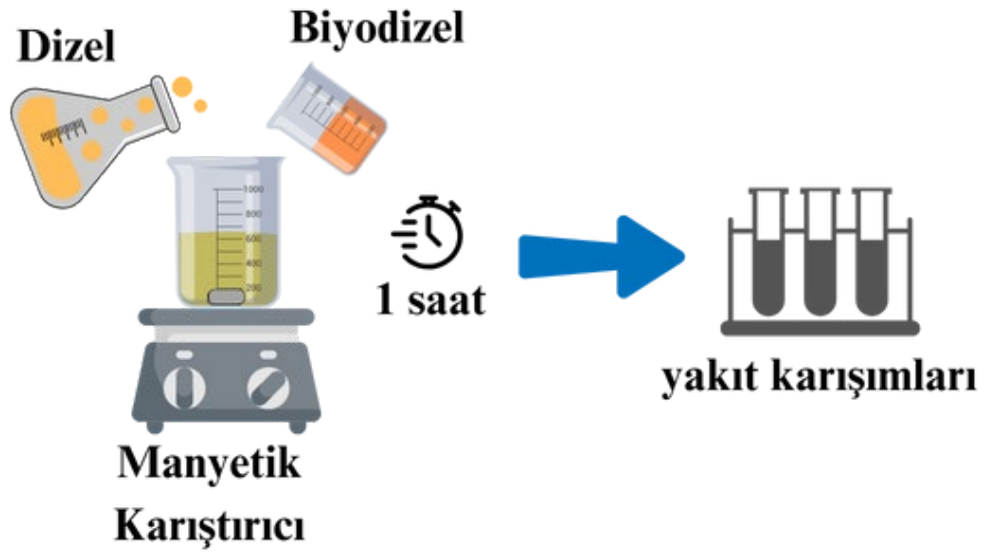
4.1.1. Biyodizel Özellikleri ve Yakıt Karışımlarının Hazırlanışı

Deneylerde kullanılan dizel, HYB ve AKYB yakıtlarının özellikleri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Çizelge 4.1’de verilen kimyasal formülden görüldüğü üzere kullanılan biyodizel yakıtlar içerisinde oksijen bulunmakta olup bu da emisyonun azalmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Fakat alt ısı değerindeki azalma ve aynı zamanda kinematik viskozitenin yüksek olması enerji verimi bakımından olumsuz etkiler oluşturabilir.

Çizelge 4.1. Kullanılan yakıtların özellikleri.

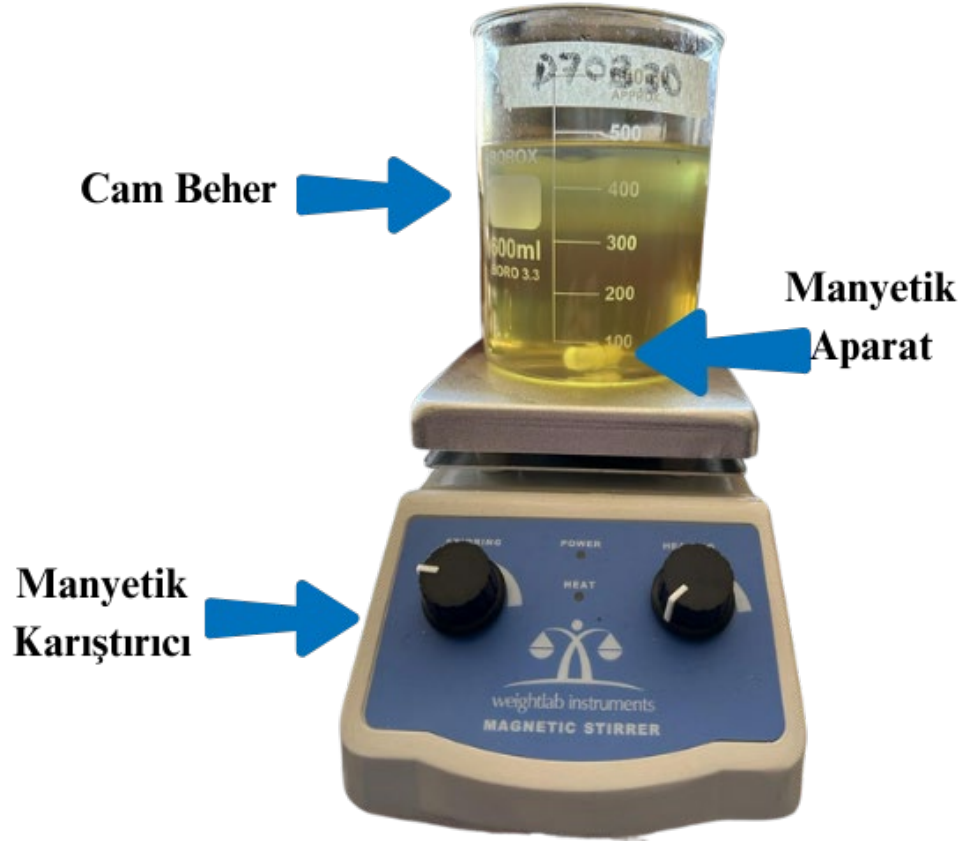
Özellikler	Dizel	HYB	AKYB
Kimyasal Formül	$C_{13}H_{28}$	$C_{18,89}H_{35,12}O_2$	$C_{16,82}H_{28,92}O_{1,99}$
Kinematik Viskozite (mm^2/s)	4,24	5,56	5,42
Yoğunluk (kg/m^3)	863,5	882,04	898
Setan Sayısı	54	58,7	59,2
Oksijen İçeriği (% Ağırlık)	0	10,89	12,16
Alt Isıl Değer (MJ/kg)	43,2	39,6	35,2

Bu çalışmada kullanılan biyodizel yakıtlar dizel yakıt ile 600 ml kapasiteye sahip olan cam beherler vasıtası ile ml olarak ölçülerek karıştırılmıştır. Oluşturulan tüm yakıtlar Şekil 4.1’de de gösterildiği gibi oransal olarak cam behere eklendikten sonra minimum 1 saat boyunca manyetik karıştırıcı vasıtası ile karıştırılmış ve sonrasında ise pet şişelere aktarılmıştır.



Şekil 4.1. Yakıt karışımlarının hazırlanışının şematik gösterimi.

Karıştırma işlemi Şekil 4.2’de gösterildiği gibi manyetik karıştırıcı üzerine yerleştirilen cam beher içerisine bırakılan manyetik etkiye sahip bir aparat vasıtası ile karıştırılmaktadır. Bu süreçte manyetik karıştırıcının oluşturmuş olduğu manyetik alana tepki gösteren manyetik aparat dönme hareketi yaparak cam beher içerisindeki yakıt karışımını karıştırarak homojen hale getirmektedir.



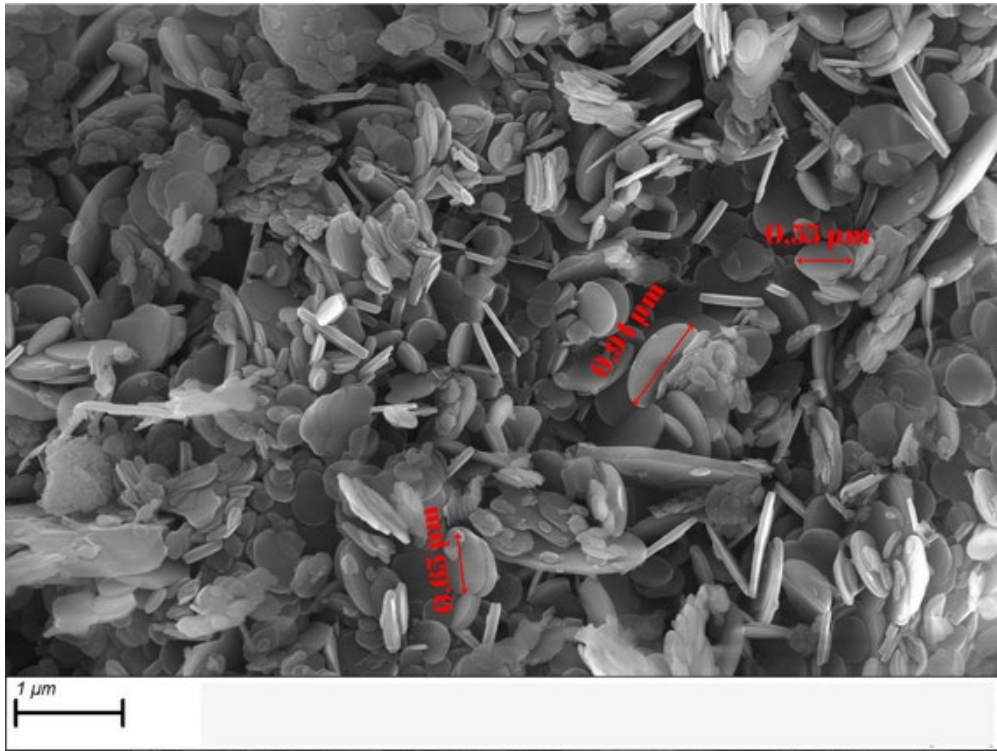
Şekil 4.2. Yakıt karışımlarının hazırlanışı.

Deneyle için elde edilen yakıtların içeriğine ve hacimsel karıştırılma oranına göre isimlendirilmesi yapılmış olup tüm yakıtlar Şekil 4.2’de de gösterildiği gibi etiketlenmiştir. AKYB’in %10, %20, %30 ve %40 oranlarında eklendiği yakıt karışımlarının isimlendirmesi sırası ile D90B10, D80B20, D70B30 ve D60B40 şeklindedir. Aynı şekilde HYB’in %10, %20, %30 ve %40 oranlarında eklendiği yakıt karışımlarının isimlendirmesi sırası ile D90HB10, D80HB20, D70HB30 ve D60HB40 şeklindedir.

4.1.2. Nano Parçacık Özellikleri ve Yakıt Karışımlarının Hazırlanışı

Bu çalışmada nano parçacık yakıt katkı maddesi olarak B_2O_3 nano parçacıkları kullanılmıştır. Kullanılan nano parçacıkların boyutundan dolayı enjektörü tıkama riskine karşın taramalı elektron mikroskopunda (TEM) görüntüleri alınarak analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda kullanılan nano parçacığın topaklanma yapıp

yapmadığı ve her bir nano parçacık taneciğinin maksimum çapı görüntülenmiştir. B_2O_3 nano parçacığının TEM görüntüsü Şekil 4.3'te verilmiştir. Şekil 4.3'ten de görüldüğü üzere nano parçacıkların en büyük 0,94 μm çapa sahip olduğu, en düşük 0,55 μm çapa sahip olduğu ve ortalamada ise tüm nano parçacık tanecikleri düşünüldüğünde 0,65 μm çapa sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca TEM görüntüsünden de anlaşıldığı üzere B_2O_3 nano parçacığında herhangi bir topaklanma görülmemektedir. Tüm bu özellikler düşünüldüğünde nano parçacığın kullanımının motora herhangi bir zararı olmayacağı kanaatine varılmıştır.



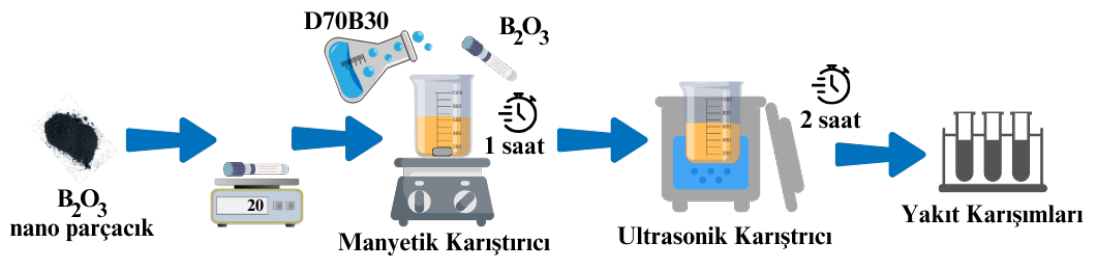
Şekil 4.3. B_2O_3 nano parçacığının TEM görüntüsü.

Birinci aşamada performansı en iyi çıkan D70B30 yakıt karışımına B_2O_3 eklenerek yeni yakıt karışımları elde edilmiştir. Elde edilen bu yeni yakıt karışımları D70B30BO20, D70B30BO40 ve D70B30BO6020 olarak isimlendirilmekte olup, içerisinde sırası ile 20, 40 ve 60 ppm B_2O_3 nano parçacığı bulunmaktadır. Tüm yakıtların bazı temel özellikleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Çizelge 4.2'den de görüldüğü gibi yakıt karışımı içerisindeki nano parçacık miktarı setan sayısı, alt ısı değer ve kinematik viskozite de artmaktadır.

Çizelge 4.2. Nano parçacık eklentili yakıtların özellikleri.

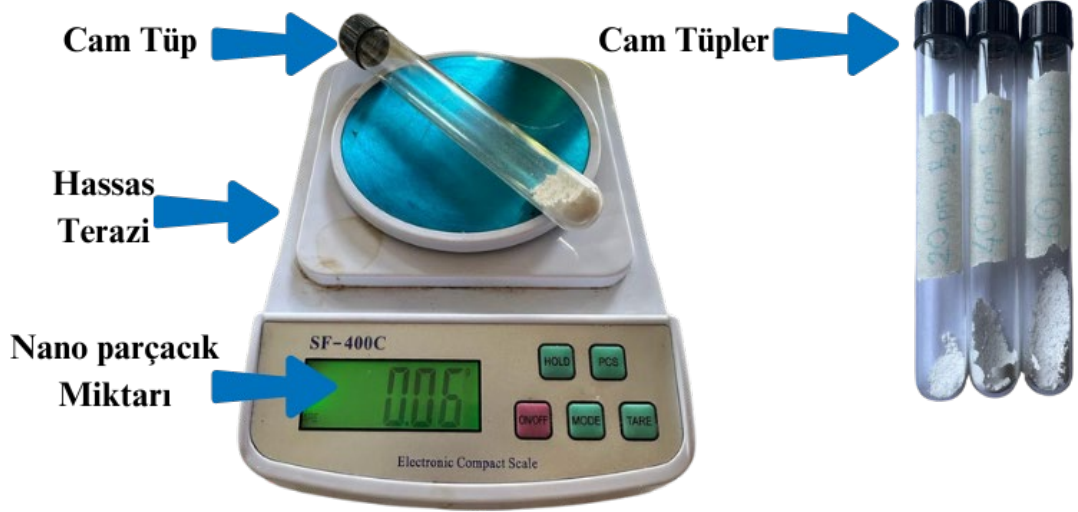
Özellikler	D70B30	D70B30BO20	D70B30BO40	D70B30BO60
Yoğunluk (kg/m ³)	873,85	873,5	873,5	873,5
Kinematik				
Viskozite (mm ² /s)	3,62	3,82	4,05	4,1
Setan Sayısı	54,6	54,8	55,1	55,3
Alt Isıl Değer (MJ/kg)	40,810	40,937	41,064	41,191

D70B30 yakıtı ile B₂O₃ nano parçacığı içeren yakıt karışımlarının hazırlanış prosesi Şekil 4.4'te verilmiştir. Öncelikle B₂O₃ cam tüplerin içerisine eklenerek hassas terazi vasıtası ile tartılmıştır. Daha sonra ayrı bir cam beher içerisine D70B30 yakıtı ile cam tüp içerisindeki B₂O₃ eklenmiştir. Manyetik karıştırıcı vasıtası ile minimum 1 saat boyunca karıştırılarak homojen bir yakıt elde edilmeye çalışılmıştır. Sonrasında ultrasonik karıştırıcıya yerleştirilen yakıt karışımı burada da minimum 2 saat boyunca ultrasonik dalgalar vasıtası ile karıştırılmıştır. Cam beher incelendiğinde gözle görülür bir çökeltme ve topaklanma görülmezse eğer yakıt karışımları çok bekletilmeden deney yapılmak üzere konulmuştur. Eğer herhangi bir topaklanma ve çökeltme görülürse daha önce bahse konu olan süreler uzatılarak topaklanma ve çökeltme giderilmiştir.



Şekil 4.4. B₂O₃ nano parçacıklı yakıt karışımlarının hazırlanma süreci.

Şekil 4.5'te B₂O₃ nano parçacığının miktarının belirlenme süreci ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir. Kullanılan hassas terazi 0,01 gram ölçüm hassasiyetine sahiptir. Şekil 4.5'te gerçekleştirilen tartım sonrasında ise Şekil 4.4'te de anlatıldığı gibi yakıt karışım işlemleri gerçekleştirilerek kullanılacak yakıtlar hazırlanmıştır.



Şekil 4.5. B₂O₃ nano parçacığının miktarını belirleme süreci.

Cam tüpler içerisinde bulunan B₂O₃, D70B30 yakıt karışımı ile karıştırıldıktan sonra Şekil 4.6'da gösterildiği gibi görülmektedir. B₂O₃ D70B30 yakıt karışımına eklenerek yakıt renginde değişime neden olmuş ve viskozitenin yüksek olmasından kaynaklı akışkanlığında azalmaya sebebiyet vermiştir.

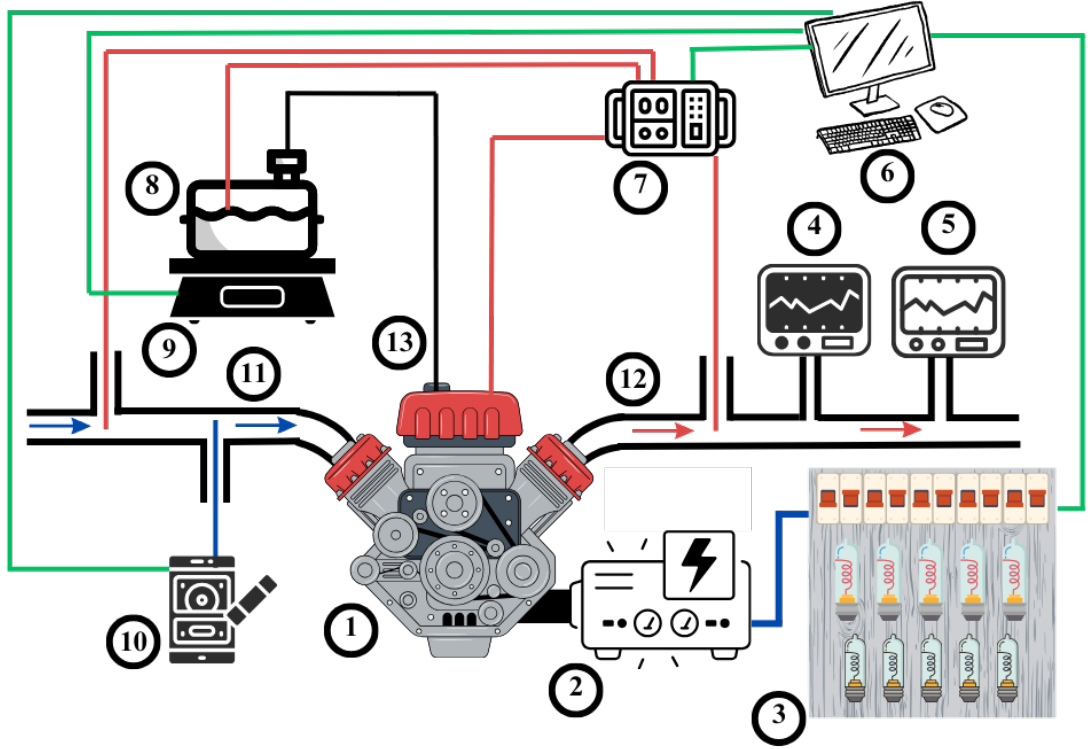


Şekil 4.6. Elde edilen yakıt karışımları.

4.2. DENEY EKİPMANLARI VE DENEY YAPILIŞI

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen tüm deneyler Lutian 3GF-ME marka dizel jeneratör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kullanılan test motoru dört zamanlı, tek silindri, direkt enjeksiyonlu, hava soğutmalı ve sıkıştırma ile ateşlemeli dizel motordur. Test motorunun özellikleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3'te özellikleri verilen test motoru ve deney ekipmanları kullanılarak oluşturulan deney düzeneği Şekil 4.7'de verilmiş olup deney düzeneğinde kullanılan tüm ekipmanlar sırası ile numaralandırılmıştır. Şekil 4.7'de gösterilen kırmızı çizgiler kullanılan 4 adet ısı çifti (termokupl) temsil etmektedir. Bu çalışma kapsamında emme havasının sıcaklığı, yakıt tankı içerisindeki yakıtın sıcaklığı, motor blok sıcaklığı ve egzoz sıcaklığı ölçülmüştür. Bu ölçümlerin gerçekleştirildiği yerler yine Şekil 4.7'de kırmızı çizgiler ile gösterilmiştir. Yeşil kablolar ise kontrol kablolarıdır. Kullanılan bilgisayar üzerinden ve bu çalışma özelinde c# dilinde yazılan masaüstü bir uygulama vasıtası ile tüm veriler ve kontroller gerçekleştirilmiştir.



1-2 : Dizel Jeneratör, 3 : Yükleme Ünitesi, 4-5 : Egzoz Emisyon Cihazı, 6 : Bilgisayar, 7: Veri Kayıt Cihazı, 8 : Yakıt Tankı, 9 : Hassas Terazi, 10 : Anemometre, 11 : Emme Kanalı, 12 : Egzoz Kanalı, 13 : Yakıt Kanalı

Şekil 4.7. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.

4.2.1. Test Motoru

Şekil 4.7'de 1 numara ve 2 numara ile gösterilen test motoru ve jeneratör bütünleşik bir şekilde hazır olarak temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan motorun özellikleri Çizelge 4.3'te verilmiş olup görseli ise Şekil 4.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Test motorunun özellikleri.

Özellikler	
Model	Lutian 3GF-ME
Silindir Hacmi	211 cm ³
Maksimum Güç	7 hp
Maksimum Hız	3000 rpm

Dizel jeneratör üzerinde bu çalışmanın amacına uygun olarak modifikasyonlar gerçekleştirilmiştir. Öncelikle Şekil 4.8’de de görünen motor üzerinde bulunan yakıt deposu yakıt beslemesinin kontrol edilebilir şekilde olması ve yakıt tüketiminin ölçülebilmesi amacı ile yakıt deposu sökülmüştür. Sökülen yakıt deposu yerine Şekil 4.7’de 8 ve 9 numara ile gösterildiği gibi yerleştirilmiştir.

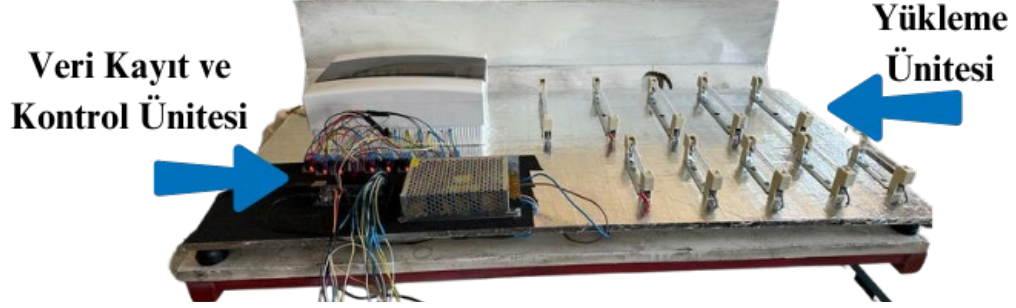


Şekil 4.8. Test motoru.

4.2.2. Yükleme Ünitesi ve Veri Kayıt, Kontrol Ünitesi

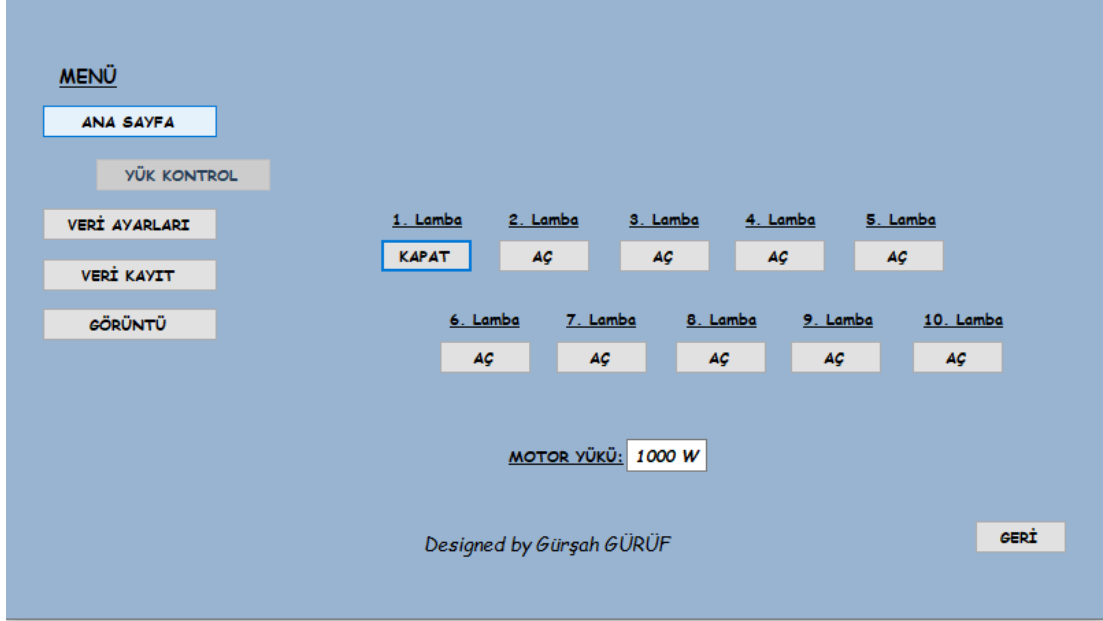
Şekil 4.7’de 3 ve 7 numara ile gösterilen yükleme ünitesi ve veri kayıt, kontrol ünitesinin görseli Şekil 4.9’da verilmiştir. Yükleme ünitesi 5 adet 1000 W ve 5 adet 500 W halojen çubuk ampullerden oluşmakta olup toplamda 7500 W elektrik yükü oluşturabilmektedir. Ayrıca 500 W halojen çubuk ampullerin yerleştirildiği duylar aynı zamanda 250 W halojen çubuk ampulleri de destekleyebilmektedir. Bu sayede

yükleme ünitesi vasıtası ile jeneratöre 250 W veya 500 W artırımlarla elektrik yükü oluşturulabilmektedir.



Şekil 4.9. Veri kayıt, kontrol ve yükleme ünitesi.

Yükleme ünitesi yanında bulunan sigorta kutusundaki elektrik sigortaları vasıtası ile manuel olarak kontrol edilebilmektedir. Aynı zamanda kullanım kolaylığı olabilmesi açısından kontrol ünitesi vasıtası ile bilgisayar üzerinden de uzaktan kontrol edilebilmektedir. Her bir halojen ampul hem elektrik sigortasına hem de 5V röleye bağlıdır. 5V röle ise bağlı olduğu Arduino Mega olarak isimlendirilen mikrodenetleyici ile bilgisayar üzerinden yazılmış olan bir masaüstü program sayesinde haberleşebilmektedir. Şekil 4.10'da masaüstü programın elektrik yükü kontrol arayüzü verilmiştir. Arayüzden de görüldüğü gibi yükleme ünitesi üzerinde bulunan bütün halojen ampuller tek bir buton vasıtası ile açılıp kapanabilmektedir. Açılan halojen ampulün tükettiği elektrik gücü ise motor yükü olarak isimlendirilen kutucukta belirtilmiştir. Bu sayede motor yüklemesi yapılırken ne kadar artırılmalı veya azaltılmalı anlaşılabilmiştir. Masaüstü program üzerinden belirlenen elektrik yükü yükleme ünitesi vasıtası ile jeneratöre iletilmektedir. Jeneratör ise bu elektrik yükünü karşılayabilecek gücü entegre olduğu motordan almaktadır. Bu sayede motor çeşitli yükler ile yüklenmekte olup bu yükler altında motorun performansı ve emisyonları ölçülebilmektedir.



Şekil 4.10. Masaüstü programın elektrik yükü kontrol arayüzü.

Masaüstü program aynı zamanda Şekil 4.11’de de verilen veri kayıt arayüzü sayesinde ölçülen sıcaklıkları kayıt altına almaktadır. Sıcaklık ölçümleri Max6675 modülüne bağlı bulunan k tipi ısıl çiftler ile gerçekleştirilmiştir. Bahse konu ısıl çiftlerin kalibrasyonları yapılarak doğru sıcaklık değerlerini verebilmesi için bir katsayı belirlenmiştir. Şekil 4.11’de okunan değer yazısının altında bulunan kutucuklar direk ısıl çiftlerin okuduğu sıcaklık değerlerini vermekte ve bu değerler otomatik olarak ısıl çiftlerden alınmaktadır. Çarpan yazısının altında bulunan kutucuklar ise kalibrasyonları sırasında bulunan katsayılar olup bu değerler manuel olarak yazılmaktadır. Veri yazısının altında bulunan kutucuklar ise okunan değer ile çarpanın çarpımı sonucunda bulunan sıcaklık verileridir. Masaüstü program bu bulunan sıcaklık verilerini kayıt altına almaktadır.

	Okunan Değer	Çarpan	Veri
Motor Blok Sıcaklığı :	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Emme Havası Sıcaklığı :	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Egzoz Gaz Sıcaklığı :	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Yakıt Sıcaklığı :	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Şekil 4.11. Masaüstü programın veri kayıt arayüzü.

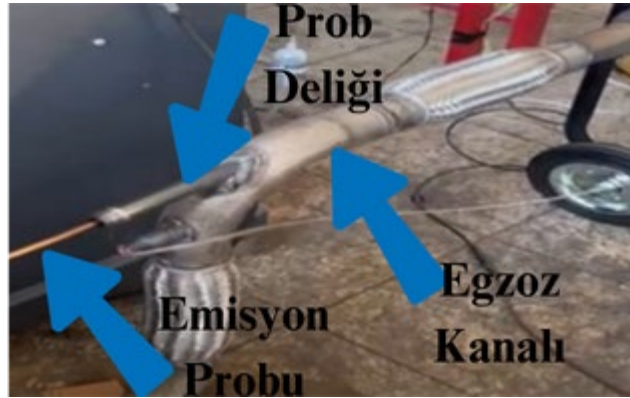
4.2.3. Egzoz Emisyonu ve Is Emisyonu Ölçüm Cihazı

Şekil 4.7’de 4 ve 5 numara ile gösterilen egzoz emisyonu ve is emisyonu ölçüm cihazlarının görseli Şekil 4.12’de verilmiştir. Her iki cihaz Bilsa marka olup şekilde de gösterildiği gibi entegre bir şekilde temin edilebilmektedir. Üretici firma tarafından yazılmış bir yazılım vasıtası ile kendi içerisinde yer alan bilgisayar üzerinden kullanılan program arayüzüne emisyon verileri aktarılmaktadır. Tüm verilerin aynı yerde olması adına bu bilgisayar üzerinden okunan veriler sıcaklık ölçümlerinin kayıt altına alındığı bilgisayara anlık olarak aktarılmıştır.



Şekil 4.12. Emisyon ölçüm cihazı.

Egzoz emisyon ve is emisyon ölçüm cihazının ölçüm problemleri test motoru çıkışı için özel olarak dizayn edilmiş olan egzoz çıkış kanalı içerisine daldırılarak ölçümler alınmıştır. Bu daldırma işlemi için Şekil 4.13'te de görüldüğü gibi kanal üzerine ölçüm problemlerinin çapına uygun delikler açılmış ve prob kullanılmadığı zaman kapatılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu kapatma işlemi iç dişli bir kör tapa vasıtası ile yapılmaktadır.



Şekil 4.13. Egzoz kanalı ve emisyon probu yerleşimi.

4.2.4. Yakıt Tüketimi Ölçüm Ünitesi

Şekil 4.7’de 8 ve 9 numara ile gösterilen yakıt tankı ve hassas terazi Şekil 4.14’te verilen yakıt tüketimi ölçüm düzeneğinde kullanılmıştır. Öncelikle hassas terazi üzerine yerleştirilen yakıt tankının darası alınarak sıfırlama işlemi yapılmıştır. Sonrasında ise tank içerisine yakıt konularak yakıtın deney öncesindeki ağırlığı tespit edilmiştir. Deney başladığı andan itibaren çalıştırılan kronometre deney sona erdiğinde durdurulmuş ve hassas terazi vasıtası ile harcanan toplam yakıt miktarı tespit edildikten sonra yakıt tüketimi kg/s cinsinden bulunmuştur. Yakıt, yakıt tankından motora iletilirken yakıtın geçtiği kanal Şekil 4.7’de 13 numara ile gösterilmiştir. 13 numaralı kanal tankın içerisindeki bütün yakıtı motora iletebilmesi adına tankın yan yüzeyinin en altında bulunan bir delikten tank içerisine gönderilmiştir.



Şekil 4.14. Yakıt tüketimi ölçümü.

4.2.5. Hava Debisi Ölçüm İşlemi

Şekil 4.7’de 10 numara ile gösterilen emme havasının debisini belirlemek için kullanılan sıcak tel anemometresi Şekil 4.15’te verilmiştir. Kullanılan anemometre ile emme havasının hızı ölçülerek kanal çapı ve hava sıcaklığına bağlı olarak hava yoğunluğu belirlenmiş ve havanın debisi hesaplanmıştır. Şekil 4.7’de 11 numara ile

gösterilen emme havası kanalının iç çapı 26,40 mm olarak ölçülmüştür. Anemometre havanın hızını emme havası kanalı üzerine açılan deliğe yerleştirilerek ölçmektedir.



Şekil 4.15. Anemometre.

4.2.6. Deneyin Yapılışı

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneyler aşağıdaki adımlar takip edilerek yapılmıştır.

- Öncelikli olarak deney aşamasında kullanılacak olan yakıt karışımları hazırlanarak cam beherler içerisine alınmıştır.
- Nano parçacık eklentili yakıt karışımı hazırlandığı aşamada öncelikle hassas terazi ve deney tüpleri kullanılmış ve nanoparçacıklar miktar olarak belirlenip cam tüpler içerisinde yakıtı karıştırılmak üzere hazırlanmıştır.
- İçerisinde nano parçacık eklentisi olmayan yakıt karışımları sadece manyetik karıştırıcı vasıtası ile homojen bir karışım elde edilene kadar karıştırılmıştır.
- İçerisinde nano parçacık eklentisi olan yakıt karışımları ise manyetik karıştırıcının yanında ultrasonik karıştırıcı da kullanılarak yakıt karışımı homojen hale gelene kadar karıştırma işlemi tekrarlanarak gerçekleştirilmiştir.

- Deneş başlamadan önce motor çalışma sıcaklığına erişebilmesi adına saf dizel yakıt ile belli bir süre çalıştırılmıştır. Çalışmadan sonra yakıt tankı saf dizelden arındırılarak diğer yakıtın eklenmesi için zemin hazırlanmıştır.
- Kullanılmak üzere hazır hale getirilen yakıtlar daha önceden hassas terazide darası alınmış yakıt tankına ilave edilmiştir. Hassas terazi üzerindeki bilgiler kayıt altına alınmıştır.
- Bilgisayar üzerinden yükleme ünitesi ve kayıt altına alınan veriler kontrol edilmiştir. Düzgün çalışmayan bir yer varsa deneyden önce müdahale edilerek deney esnasında oluşabilecek olası sorunların önüne geçilmiştir.
- Yükleme ünitesi jeneratör üzerindeki prizlere fiş vasıtası ile takılmıştır.
- Emisyon ölçüm cihazı aktif hale getirilerek entegre olduğu yazılım açılmış ve testleri gerçekleştirilmiştir.
- Anemometre emme havası kanalına takılmış ve veri akışı kontrol edilmiştir.
- Tüm kontroller gerçekleştirildikten sonra motor marşına basılarak motorun çalışması sağlanmıştır. Yükleme ünitesi ile gerekli motor yüküne getirilmiş ve sonra olarak kronometre çalıştırılmıştır.
- Tüm yükleme işlemleri bilgisayar üzerinden mikrodenetleyici ile yükleme ünitesi kontrol edilerek gerçekleştirilmiştir.
- Emisyon problemleri egzoz kanalına yerleştirilerek deney sonuna kadar veriler alınmaya başlanmış ve emisyonların sabit kaldığı nokta tespit edildikten sonra deney bitirilmiştir.
- Deneş sonunda kronometre durdurulmuş ve hassas terazi üzerindeki veriler kayıt altına alınmıştır.
- Yükleme işlemi sonlandırılarak motorun soğuyup yeni yapılacak deneye hazır olması sağlanmıştır.

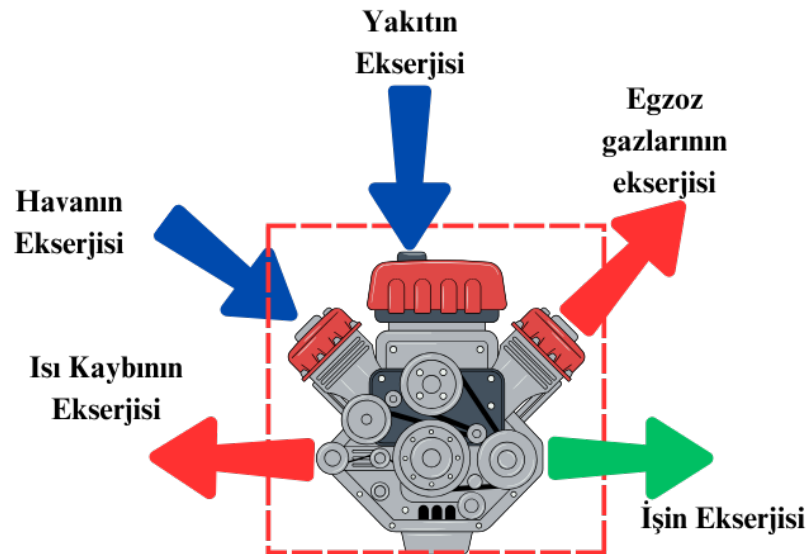
4.3. EKSERJİ ANALİZİ

Ekserji, termodinamik bir kavramdır ve sistemin çevresiyle etkileşimi sonucunda maksimum iş yapabilme potansiyelinin bir ölçüsüdür [68]. Bir başka ifadeyle, ekserji, enerjinin kullanılabilirlik ya da işe dönüştürülebilirlik derecesini ifade etmektedir [69,70]. Tüm bu kavramlar göz önüne alındığında, ekserjinin sistem tarafından elde edilen işin kalitesi ile doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. Ekserji analizi, enerji

sistemlerini daha verimli ve sürdürülebilir hale getirmek amacıyla gerçekleştirmekte olup enerji transferi ve dönüşüm süreçlerindeki kayıpları belirlemek ve optimize etmek için en ideal termodinamik analizlerden bir tanesi olarak bilinmektedir. Ekserji analizi genellikle endüstriyel tesisler, enerji üretim sistemleri ve motorlu araçlar gibi çeşitli sistemlerde uygulanır [68,71–75].

Bu çalışmada, termodinamiğin ikinci yasası kullanılan dizel motor üzerinde ekserji analizi yapılmış ve motor performansı ekserji analizi bakımından değerlendirilmiştir. Dizel motor Şekil 4.16’te de gösterildiği gibi termodinamik anlamda kapalı bir hacim olarak kabul edilmiş ve kontrol hacmi içerisine alınmıştır. Belirlenen kontrol hacmi içerisinde ekserji analizi yapılmadan önce hesaplamaları basitleştirmek amacı ile aşağıdaki varsayımlar yapılarak formüller çıkartılmıştır [33,76].

- Yanma havası ve egzoz gazı ideal gaz olarak kabul edilmiştir.
- Referans sıcaklık 25°C ve referans basınç değeri 101 kPa olarak belirlenmiştir.
- Yanma reaksiyonu kimyasal olarak dengede olarak gerçekleştiği kabul edilmiştir.
- Yanma havasının içerisinde %79 azot ve %21 oksijen olduğu kabul edilmiştir.
- Sistem, hava, egzoz gazları ve yakıtın kinetik ve potansiyel enerjileri ihmal edilmiştir.
- Sistemin stabil bir konumda olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 4.16. Dizel motorun kontrol hacmi.

Bir kontrol hacminde enerji analizi gerçekleştirilirken enerji dönüşüm yasası gereği giren enerjilerin çıkan enerjilere eşit olması gerekmektedir. Fakat ekserji analizinde ekserjinin korunumu söz konusu olmadığından dolayı sistem içerisinde ekserji kaybı oluşmaktadır. Bu ekserji kaybına ekserji yıkımı denilmekle birlikte giren ekserji, çıkan ekserji ve ekserji yıkımına eşit olduğu bilinmektedir [35,77]. Şekil 4.16’te gösterilen kontrol hacminin ekserji dengesi Eşitlik 4.1’de verilmiştir. Eşitlik 4.1’den de anlaşıldığı üzere ekserji yıkımının düşük olması istenmektedir. Ekserji yıkımı düştükçe çıkan ekserji artacak ve sistemin iş yapma potansiyeli artacaktır.

$$\sum E\dot{x}_{giris} = \sum E\dot{x}_{çiktis} + \sum E\dot{x}_{yikim} \quad (4.1)$$

Eşitlik 4.1’de genel formda verilen ekserji dengesi eşitliğinin açılmış hali Eşitlik 4.2’de verilmiş olup Şekil 4.16’te de görüldüğü üzere giren ekserjiler mavi renk, çıkan ekserjiler kırmızı renk ve işe dönüşen ekserjiler yeşil renk ile gösterilmiştir.

$$E\dot{x}_{hava} + E\dot{x}_{yakıt} = E\dot{x}_{iş} + \sum E\dot{x}_{egzoz} + E\dot{x}_{kayıp} + E\dot{x}_{yikim} \quad (4.2)$$

Eşitlik 4.2’de verilmiş olan test motoruna giren havanın ekserjisi Eşitlik 4.3’teki gibi bulunmuştur.

$$E\dot{x}_{hava} = \dot{m}_{hava} [(h_{hava} - h_0) - T_0 (s_{hava} - s_0)] \quad (4.3)$$

Burada 0 alt indisi referans sıcaklık ve basınçtaki havanın özelliklerini ifade etmektedir. Aynı şekilde hava alt indisi ise o anki sıcaklık ve basınçtaki havanın özelliklerini ifade etmektedir. Yine Eşitlik 4.2’de verilen test motoruna giren yakıtın ekserjisi Eşitlik 4.4’te verildiği gibi bulunmuştur.

$$E\dot{x}_{yakıt} = \dot{m}_{yakıt} \varepsilon_{yakıt} H_u \quad (4.4)$$

Eşitlik 4.4’te verilen $\varepsilon_{yakıt}$ yakıtın kimyasal ekserji faktörünü, H_u yakıtın alt ısıl değerini ve $\dot{m}_{yakıt}$ yakıtın debisini ifade etmektedir. Yakıt debisi deney sırasında

hesaplanmakta olup alt ısı değer ise laboratuvar ortamında yakıtlar test edilerek tespit edilmiştir. Yakıtın kimyasal ekserji faktörü Eşitlik 4.5'te verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$\varepsilon_{yakıt} = 1.0401 + 0.1728 \frac{H}{C} + 0.0432 \frac{O}{C} + 0.2169 \frac{\alpha}{C} \left[1 - 2.0628 \frac{H}{C} \right] \quad (4.5)$$

Eşitlik 4.5'te verilen H yakıt içerisindeki hidrojen miktarını, O oksijen miktarını, C karbon miktarını ve α ise sülfür miktarını ifade etmektedir. Tüm bu değerler yakıt analizi ile belirlenmiştir. Eşitlik 4.2'de verilen motorun yapmış olduğu işin ekserjisi Eşitlik 4.6'da verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$E\dot{x}_{iş} = \omega T \quad (4.6)$$

Eşitlik 4.2'de verilen motorun egzoz gazının ekserjisi Eşitlik 4.7'de verildiği gibi bulunmuştur.

$$E\dot{x}_{egzoz} = \sum_{i=1}^n \dot{m}_i (ex_{termomekanik,i} + ex_{kimya,i}) \quad (4.7)$$

Eşitlik 4.7'de i egzoz gazlarını ifade etmekte olup, $ex_{termomekanik,i}$ ve $ex_{kimya,i}$ ifadeleri ise sırası ile i inci egzoz gazının termomekanik ve kimyasal ekserjilerini temsil etmektedir. Eşitlik 4.8 ve Eşitlik 4.9'da bahse konu ifadeler hesaplanmıştır.

$$ex_{termomekanik,i} = (h_{egzoz} - h_0) - T_0 (s_{egzoz} - s_0) \quad (4.8)$$

$$ex_{kimya,i} = \bar{R}T_0 \ln \left(\frac{y_i}{y_{\text{cev},i}} \right) \quad (4.9)$$

Eşitlik 4.9'da verilen \bar{R} ifadesi universal gaz sabitini temsil etmektedir. y_i sembolü ise egzoz içerisindeki egzoz gazlarının i inci bileşeninin mol kesrini ifade ederken $y_{\text{cev},i}$ normal şartlar altında egzoz gazı içerisindeki egzoz gazlarının i inci bileşeninin mol kesrini temsil etmektedir.

Çizelge 4.4. Test motorunun çevresi için egzoz gazı bileşenlerinin mol kesri [78].

Referans Bileşenler	Mol Kesirleri (%)
N ₂	75,67
O ₂	20,35
H ₂ O	3,03
CO ₂	0,0345
CO	0,0007
SO ₂	0,0002
H ₂	0,00005
Diğer	0,91455

Tüm bu ekserji oranlarına ek olarak, Eşitlik 4.2’de verilen test motorunu soğutmadan kaynaklanan ekserji kaybı Eşitlik 4.10’da gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$E\dot{x}_{kayıp} = \dot{Q}_{kayıp} \left(1 - \frac{T_0}{T_{motor}} \right) \quad (4.10)$$

Burada $\dot{Q}_{kayıp}$ test motoru hava soğutmalı bir motor olduğu için enerji dengesi yazılarak hesaplanmaktadır. Enerji dengesinde giren enerji yakıtın enerjisi olmak ile birlikte çıkan enerji havaya aktarılan enerji, motorun ürettiği enerji ve egzoz gazları vasıtası ile atılan enerji olmaktadır. Bahse konu bu enerji dengesi yazıldığında tek bilinmeyen $\dot{Q}_{kayıp}$ hesaplanabilmektedir. T_{motor} ise motor blok sıcaklığını ifade etmektedir. Bu çalışma kapsamında motor blok sıcaklığı deneysel olarak ölçülmüştür.

Ekserji verimi Eşitlik 4.11’deki gibi hesaplanmaktadır. $E\dot{x}_{i\dot{s}}$ faydalı ekserjiyi temsil etmek ile birlikte bu faydalı ekserjinin oluşabilmesi için motora verilen ekserjiyi $E\dot{x}_{yakıt}$ ve $E\dot{x}_{hava}$ toplamı temsil etmektedir.

$$\psi = \frac{E\dot{x}_{i\dot{s}}}{E\dot{x}_{hava} + E\dot{x}_{yakıt}} \quad (4.11)$$

4.4. YANIT YÜZEY YÖNTEMİ (RSM) İLE OPTİMİZASYON

RSM, matematiksel ve istatistiksel teknikleri kullanarak bir sistemin yanıtını modellemek ve optimize etmek için kullanılan bir deney tasarımı ve analiz tekniğidir [79–81]. RSM; deney tasarımı, regresyon analizi ve matematiksel optimizasyon yöntemlerini içeren bir dizi istatistiksel teknikten oluşmaktadır. RSM temel olarak, sistemin belirli bir tasarım alanındaki performansını iyileştirmek veya optimize etmek amacıyla gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarından elde edilen verileri, matematiksel modeller aracılığıyla analiz eder ve sistem parametrelerini optimize etmeye çalışır. RSM, endüstri, mühendislik, malzeme bilimi, kimya ve biyoloji gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu yöntemin, tasarım süreçlerini iyileştirmek, ürün kalitesini artırmak veya maliyetleri azaltmak gibi etkileri bir dizi uygulamada görülmüştür.

RSM’de kullanılan en basit model Eşitlik 4.12’de verilen lineer bir fonksiyona dayanmaktadır [82].

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \varepsilon \quad (4.12)$$

Burada, y bağımlı değişkeni, β_0 sabit terimi, β_i lineer parametrelerin katsayısını, x_i bağımsız değişkenleri ve ε denemeler ile ilişkilendirilebilen artığı ifade etmektedir. Bu eşitlik birinci dereceden lineer bir eşitliği ifade ettiği için yanıtların sadece lineer olduğu durumlarda kullanılabilir. Eğer elde edilen yanıtlar lineer olarak değişim göstermiyor ise bu durumu temsil edebilecek ikinci dereceden eşitlikler kullanılmalıdır. Bu eşitlikler farklı bağımlı değişkenlerin birbiri ile etkileşimini de ifade eden terimler içermelidir. Bu bahse konu durum Eşitlik 4.13’te verilmiştir.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j \geq 1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (4.13)$$

Burada i lineer katsayıları, j ikinci dereceden katsayıları, x_i ve x_j bağımsız değişkenleri, β_{ij} etkileşimli katsayıları ifade etmektedir. RSM güvenilirliği korelasyon katsayısı (R^2), düzeltilmiş korelasyon katsayısı (düz. R^2) ve tahmin edilmiş korelasyon katsayısı

(tah. R^2) ile belirlenebilmektedir. R^2 , düz. R^2 ve tah. R^2 sırası ile aşağıdaki Eşitliklerde verilmiştir.

$$R^2 = 1 - \left[\frac{SS_{kalan}}{SS_{kalan} + SS_{model}} \right] \quad (4.14)$$

$$düz. R^2 = 1 - \left[\left(\frac{SS_{kalan}}{df_{kalan}} \right) / \left(\frac{SS_{kalan} + SS_{model}}{df_{kalan} + df_{model}} \right) \right] \quad (4.15)$$

$$tah. R^2 = 1 - \left[\frac{PRESS}{SS_{kalan} + SS_{model}} \right] \quad (4.16)$$

$$PRESS = \sum_{i=1}^n (e - 1)^2 \quad (4.17)$$

$$(e - 1) = \frac{e_i}{1 - h_{ii}} \quad (4.18)$$

Bu çalışma kapsamında nano parçacık eklentili AKYB-dizel yakıt karışımının emisyon ve ekserji analizi özelinde optimum yakıt karışımını ve motor yükünü belirlemek için RSM kullanılmıştır. Optimizasyon gerçekleştirilirken emisyonların düşük, ekserji veriminin yüksek olması istenmiş ve MİNİTAB programı kullanılarak bu işlem gerçekleştirilmiştir.

BÖLÜM 5

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma deneysel ve sayısal aşamalardan oluşmaktadır. İlk olarak iki farklı biyodizel yakıt, dizel yakıt ile karıştırılarak deneyler gerçekleştirilmiş, emisyon ölçümleri yapılmış ve sayısal olarak ekserji analizi gerçekleştirilmiştir. Sonrasında ise en iyi deney sonuçlarına sahip yakıt karışımına farklı miktarlarda B₂O₃ nanoparçacığı ilave edilerek deneyler gerçekleştirilmiş, aynı ölçüm ve analizler yapılmıştır. Nanoparçacık eklentili yakıt karışımlarının ekserji ve emisyon analizi sonuçları RSM ile optimize edilerek optimum nano parçacık miktarı ve motor yükü tespit edilmiştir.

5.1. BİYODİZEL-DİZEL KARIŞIMLARININ ANALİZİ

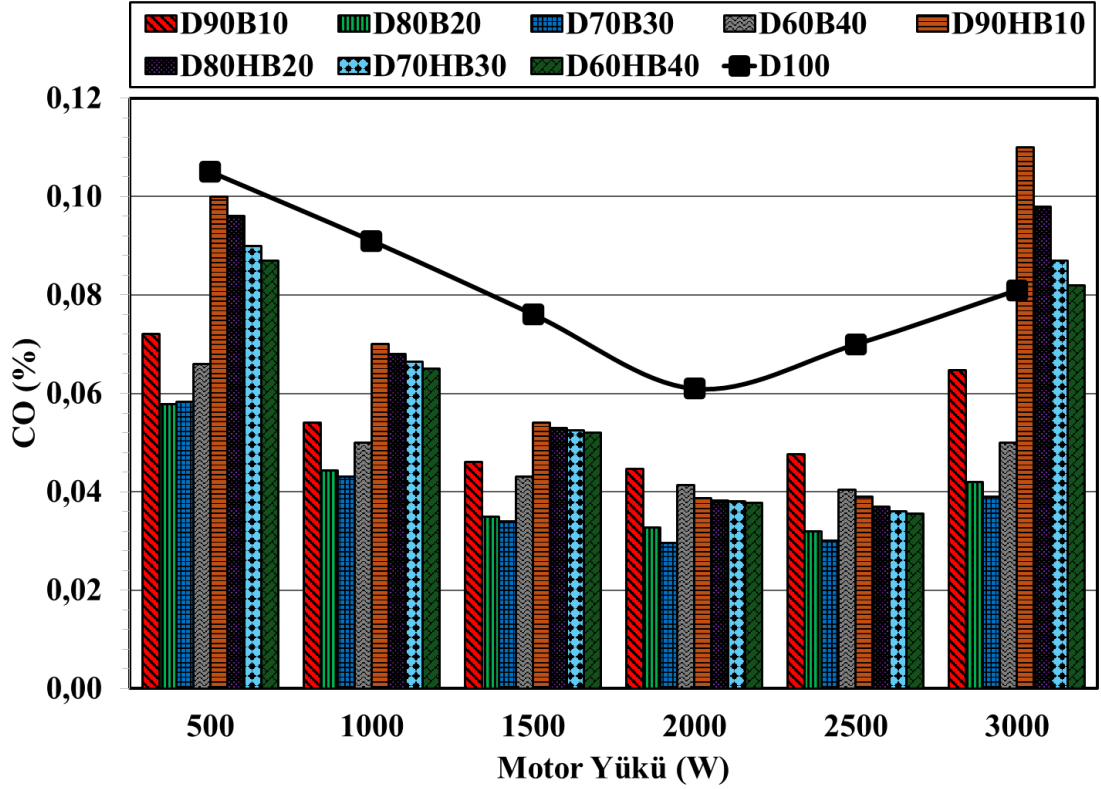
Bu çalışma kapsamında iki farklı biyodizel kullanılmış olup her bir biyodizel-dizel yakıt karışımları sırası ile %10, %20, %30 ve %40 oranlarında biyodizel içerecek şekilde hazırlanmıştır. Elde edilen yakıt karışımları sabit hızda (3000 d/d) ve farklı motor yüklerinde (500, 1000, 1500, 2000, 2500 ve 3000 W) test edilmiş, emisyon ve ekserji sonuçları kıyaslanmıştır.

5.1.1. Emisyon Sonuçları

5.1.1.1. Karbonmonoksit

CO, karbon ve oksijen bileşenlerinden oluşan, eksik yanma veya yanma sürecinin yetersiz olduğu durumlarda ortaya çıkan zehirli bir gazdır. Bu zehirli gazın miktarı solunan hava içerisinde arttıkça kana geçer ve normalde oksijen taşınması gereken hemoglobinle bağlanarak oksijenin dokulara taşınmasına engel olur. Bu durum hücre

ölümlerine neden olur. Bu gibi durumlardan dolayı CO emisyonlarının azaltılması insan sağlığı ve atmosfer için büyük bir öneme sahip olduğu görülmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmanın amaçlarından bir tanesi biyodizel kullanımı ile CO emisyonunu azaltmaktır. Deneylede kullanılan yakıtların, motor yüküne göre CO emisyonunun değişimi Şekil 5.1’de verilmiştir.



Şekil 5.1. CO emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimi.

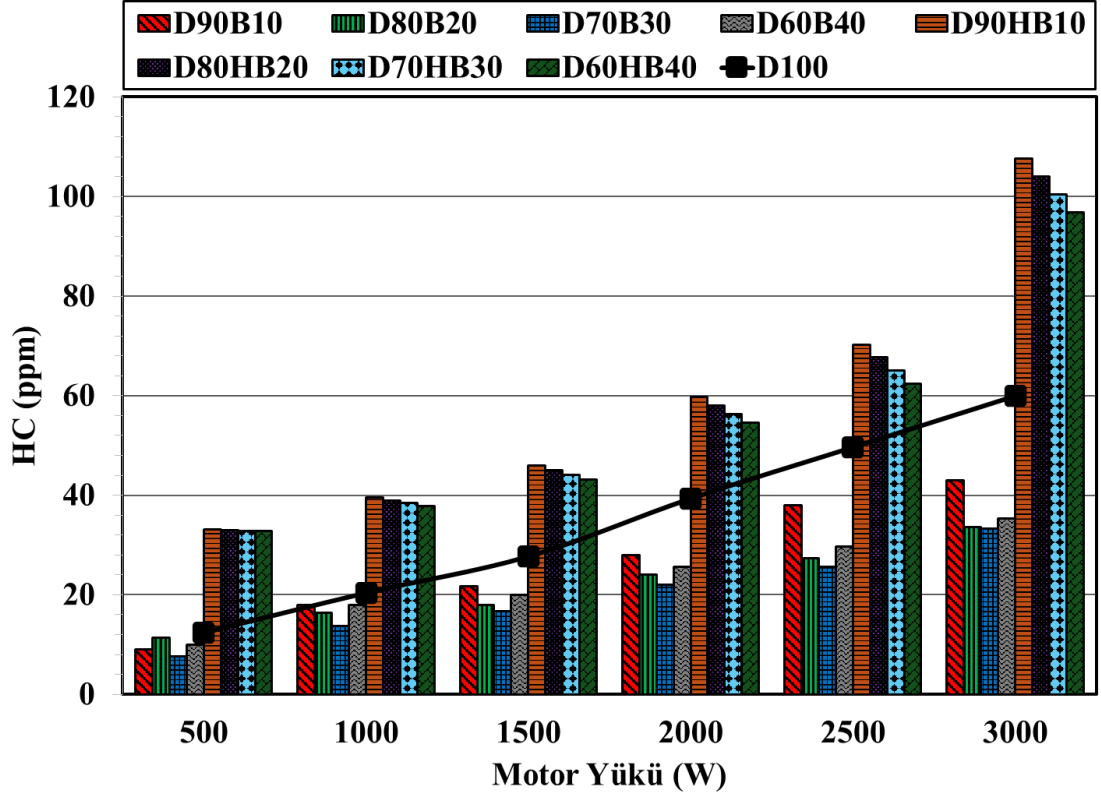
CO emisyonu 2000 W motor yüküne kadar azalmakta olup 2000 W motor yükünden sonra ise artmaktadır. Şekil 5.1’de bu durum belirgin bir şekilde görülmekte olup kullanılan tüm yakıtlar aynı trendde sahiptir. 500, 1000 ve 1500 W motor yüklerinde silindir içi sıcaklık tam yanma için yeterli olmadığından dolayı 2000 W motor yüküne göre CO emisyonları yüksektir. Fakat motor yükü arttıkça silindir içi sıcaklığında artması CO emisyonlarının azalmasını sağlamıştır. 2000 W üzerindeki motor yüklerinde ise daha fazla yakıt tüketimi gerçekleşmektedir. Bu durumdan dolayı tam yanmanın oluşabilmesi için gerekli olan oksijen miktarının silindir içine alınamamış olması CO emisyonlarının artmasına neden olmuştur [83–86]. D100 yakıtının 3000 W motor yükü haricindeki tüm motor yüklerinde en yüksek CO emisyonuna sahip olduğu

görülmektedir. Bunun başlıca sebebi ise D100 yakıtı haricindeki diğer tüm yakıtların içeriğinde oksijen bulundurmasıdır. Hava ile alınan oksijene ilave olarak silindir içerisine yakıt ile birlikte oksijen girmesi yanmayı iyileştirmektedir [87,88]. İçerisinde HYB ile AKYB bulunan yakıtlar ayrı ayrı incelendiğinde AKYB içeren yakıt karışımları tüm motor yüklerinde en düşük CO emisyonuna sahip oldukları görülmektedir. Bunun başlıca sebepleri ise HYB ile karşılaştırıldığında AKYB içerisinde daha az karbon atomlarının bulunması, düşük kinematik viskoziteye sahip olması ve yüksek setan sayısına sahip olması gösterilebilir. Yakıt içerisinde karbon atomlarının az olması CO emisyonu oluşturabilecek ana elementin silindir içerisinde az bulunması ile CO emisyonunun az oluşabileceğini göstermektedir [89]. Kinematik viskozitenin düşük olması homojen yanma için yakıtın daha rahat hareket etmesini sağlayacak olup yanma verimini yükseltecek bir durum olarak ortaya çıkmaktadır [90]. Setan sayısının yüksek olması ise tutuşma gecikmesini kısıltacağından dolayı yanma verimini iyileştirecek bir durum olarak ön plana çıkmaktadır [91]. AKYB ve dizel karışımları özelinde CO emisyonları incelendiğinde D90B10 yakıtının tüm motor yüklerinde en yüksek değerlere sahip olduğu ve D70B30 yakıtının en düşük CO emisyonu değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum test yakıtları içerisinde D70B30 yakıtının optimum oksijen içeriğine ve optimum kinematik viskoziteye sahip olduğunu göstermektedir. D60B40 yakıtında oksijen miktarının fazla olmasına rağmen homojen bir karışım elde edilemediği için yanma veriminin düştüğü görülmektedir. D90B10 ve D80B20 yakıtlarında ise D70B30 yakıtı ile kıyaslandığında yeteri kadar oksijen olmadığı anlaşılmaktadır. D70B30 yakıtı, D100 yakıtı ile kıyaslandığında tüm motor yüklerinde CO emisyonunu ortalama %52 oranında azalttığı görülmektedir. Ayrıca D70B30 yakıtı, 2000 W motor yükünde %0,03 ile en düşük CO emisyonuna sahiptir.

5.1.1.2. Hidrokarbon

HC, hidrojen ve karbon bileşenlerinden oluşan, CO gibi eksik yanma veya yanma sürecinin yetersiz olduğu durumlarda ortaya çıkan insan sağlığı için zararlı bir gazdır. Bu zararlı gazın miktarı solunan hava içerisinde arttıkça insan sağlığında önemli zararlı etkiler görülebilmektedir. Ayrıca hava içerisinde HC miktarının artması atmosferde büyük sorunlara neden olmaktadır. Bütün bu durumlardan dolayı HC emisyonlarının

azaltılması büyük bir öneme sahip olup bu çalışmada kullanılan yakıtlar ile HC emisyonunu azaltmak amaçlanmıştır. Bu amaç göz önünde bulundurularak gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar ışığında, HC emisyonunun motor yüküne göre değişimi Şekil 5.2’de verilmiştir.



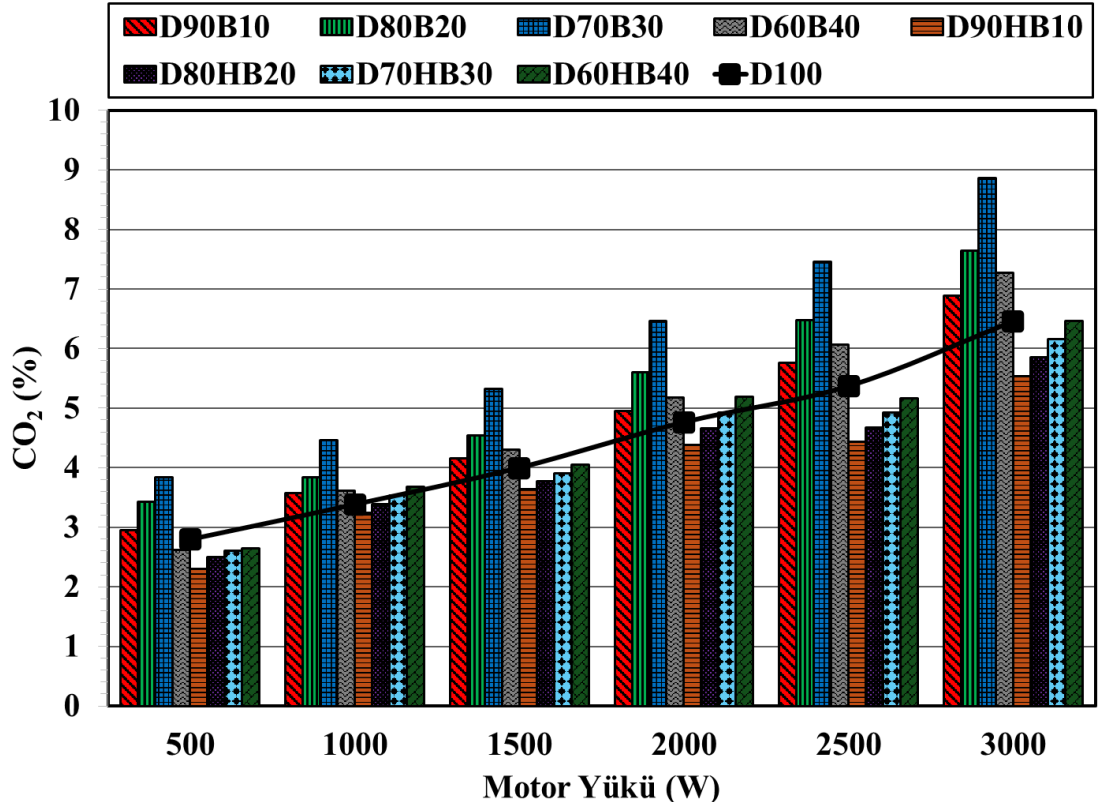
Şekil 5.2. HC emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimi.

Şekil 5.2’de de görüldüğü gibi HC emisyonu motor yükü arttıkça artış göstermek ile birlikte bütün yakıtlarda aynı artış görülmektedir. HC emisyonu CO emisyonu gibi oksijen yetersizliğinden dolayı artış göstermektedir. Bu durum ise motor yükü arttıkça yakıt tüketiminde oluşan artışa karşılık silindir içerisine yeterli oksijen alınamamasından kaynaklanmaktadır [92,93]. HYB içeren yakıtlar, diğer yakıtlar ile karşılaştırıldığında bütün motor yüklerinde daha yüksek HC emisyonuna sahip oldukları görülmektedir. Bunun başlıca sebebi diğer yakıtlar ile karşılaştırıldığında içerisinde daha fazla karbon elementi bulunması ve karbon elementi ile kimyasal reaksiyona girebilecek silindir içi oksijen miktarının yetersiz olması şeklinde açıklanabilmektedir [94]. D100 yakıtı ile AKYB içeren yakıt karışımları karşılaştırıldığında içerisinde bulunan oksijen miktarından dolayı AKYB yakıtı içeren

karışımlar daha az HC emisyonuna sahip olduğu görülmektedir. D90B10, D80B20, D70B30 ve D60B40 yakıtları karşılaştırıldığında ise en yüksek HC emisyonuna D90B10, en düşük HC emisyonuna ise D70B30 yakıtının sahip olduğu yapılan deneyler sonucunda bulunmuştur. D70B30 yakıtı D100 yakıtı ile karşılaştırıldığında HC emisyonunu ortalama %41 oranında azalttığı görülmekte olup 2000 W motor yükünde 22 ppm HC emisyonu ile en düşük değere sahiptir. 2000 W motor yükünde D100, D90B10, D80B20, D70B30 ve D60B40 yakıtları sırası ile 39,33 ppm, 28 ppm, 24 ppm, 22 ppm ve 25,67 ppm değerlerine sahip olduğu deneyler sonucunda bulunmuştur. Aynı zamanda bütün yakıtlar 500 W motor yükünde en düşük HC emisyonuna sahipken 3000 W motor yükünde en yüksek HC emisyonuna sahiptir.

5.1.1.3. Karbondioksit

CO₂, bir karbon ve iki oksijen atomundan oluşan, tam yanmanın olduğu durumlarda ortaya çıkan atmosferdeki doğal sera gazlarından biridir. CO₂ canlı organizmaların yaşam döngüsünde önemli bir rol oynamakta olup fotosentez sürecinde bitkiler ve diğer fotosentetik organizmalar tarafından atmosferden emilerek oksijen üretiminde kullanılır. CO₂ emisyonu sera etkisine neden olan ve iklim değişikliğinde rolü bulunan önemli bir faktör olarak kabul edilmektedir. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerde kullanılan yakıtların motor yüküne göre bahse konu CO₂ emisyonunun değişimi Şekil 5.3'te verilmiştir.



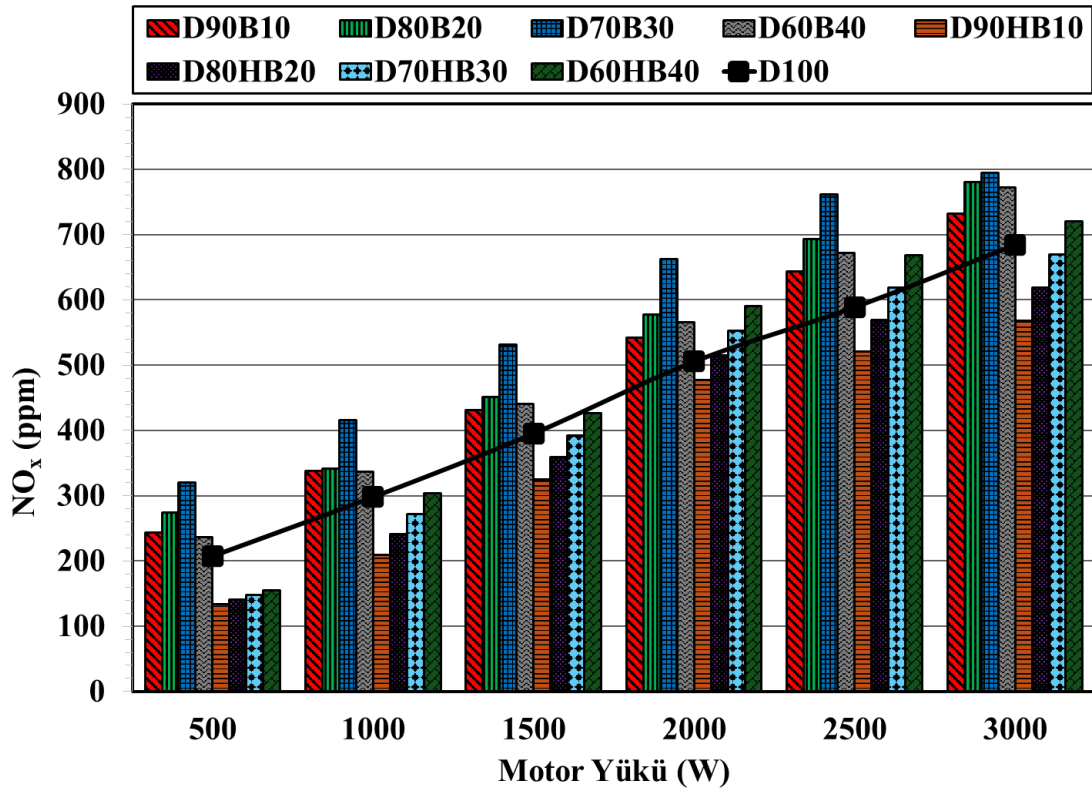
Şekil 5.3. CO₂ emisyonlarının motor yüküne bağılı değışimi.

Motor yükü artııkça CO₂ emisyonu da artmaktadır. Bahse konu bu artış bütün yakıtlarda görülmekte olup Şekil 5.3'te verilmiştir. Motor yükü artııkça CO₂ emisyonunun artış göstermesinin en önemli sebebi gerekli güç eldesi için silindir içersine daha fazla yakıt gönderilmesi olarak nitelendirilebilir. [95–97]. CO ve HC emisyonları eksik yanma, CO₂ tam yanma ürünü olduğı bilinmekte olup tüm yakıtlar birbiri arasında kıyaslandığıında tam yanma için en verimsiz olduğı görülen HYB içeren yakıt karışımları en az CO₂ emisyonu değıerine sahiptir. AKYB içeren yakıt karışımlarının ise en yüksek CO₂ emisyonlarına sahip olduğı görülmektedir. Bu durumun bir diğer sebebi ise yakıt karışımlarının C/H oranı olduğı açık bir şekilde görülmektedir [98,99]. Tüm motor yüklerinde en yüksek CO₂ emisyonu D70B30 yakıtında görülrken, en düşük CO₂ emisyonu D90BH10 yakıtında görülmüştür. D70B30 yakıtı CO₂ emisyonunu D100 yakıtına kıyasla %36 oranında artırmış olup D90HB10 yakıtı CO₂ emisyonunu %12 oranında azaltmıştır. D90HB10 yakıtı 500 W motor yükünde %2,3 CO₂ emisyonu miktarı ile en düşük değıerde iken D70B30 yakıtı 3000 W motor yükünde %8,86 CO₂ emisyonu miktarı ile en yüksek değıere sahiptir. 500 W motor yükünde D100, D90B10, D80B20, D70B30, D60B40, D90BH10,

D80BH20, D70BH30 ve D60BH40 yakıtları sırası ile %2,79, %2,95, %3,42, %3,84, %2,62, %2,3, %2,5, %2,6 ve %2,65 oranlarında CO₂ emisyonu değerlerine sahip olduğu deneyler sonucunda bulunmuştur.

5.1.1.4. Azot Oksit

NO_x, azot ve oksijen atomlarından oluşan bir grup kimyasal bileşiğin genel adı olarak tanımlanır. NO_x, genel anlamda nitrik oksit (NO) ve azot dioksit (NO₂) gazlarının birleşimi olarak da tanımlanabilmektedir. Yüksek sıcaklık ve basınç altında atmosferik azotun oksijenle reaksiyonu sonucunda NO_x emisyonu oluşmaktadır. NO_x emisyonu, hava kirliliğinin yanında sağlık sorunlarına da sebebiyet vermektedir. Ayrıca NO_x emisyonu asit yağmurları ve ozon tabakasında kirliliğin oluşumunda da büyük bir rol oynamaktadır. Bütün bu durumlar göz önüne alındığında NO_x emisyonlarının azaltılması atmosfer için büyük bir öneme sahip olduğu görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan yakıtlar ile NO_x emisyonunu azaltmak amaçlanmış olup bu amaç doğrultusunda gerçekleştirilen deneyler sonucunda motor yüküne göre NO_x emisyonunun değişimi Şekil 5.4'te verilmiştir.



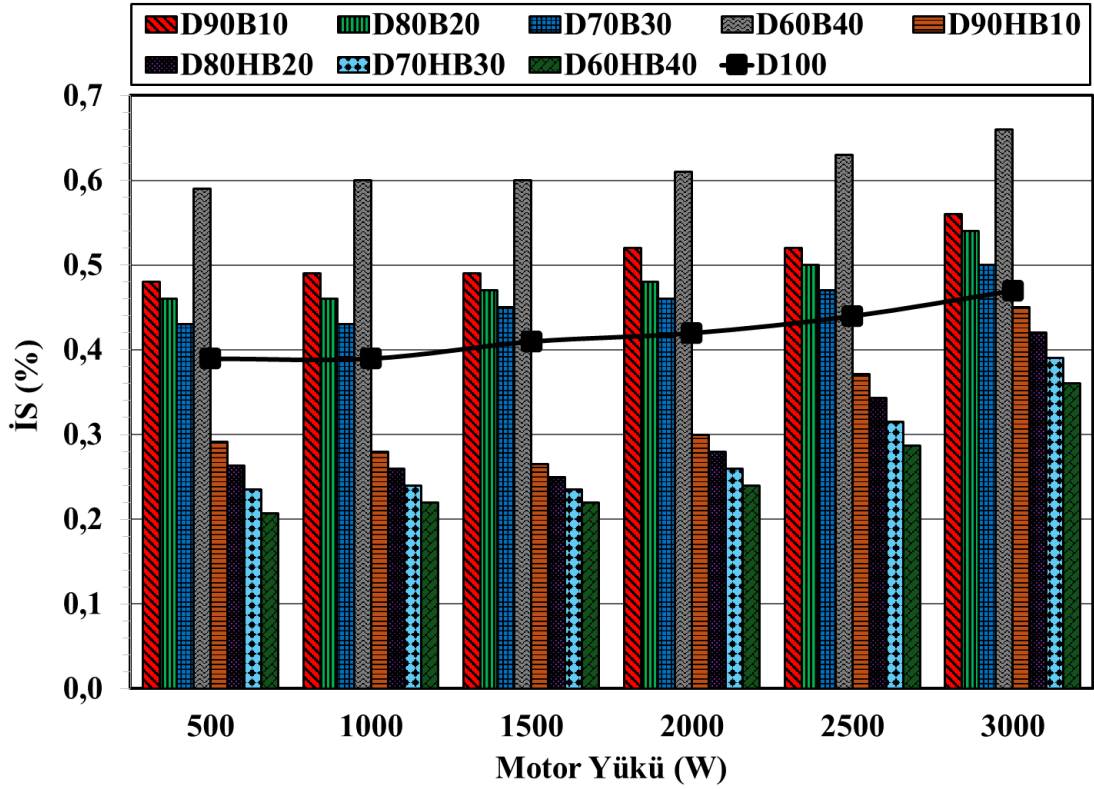
Şekil 5.4. NO_x emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimi.

Şekil 5.4'te de görüldüğü gibi NO_x emisyonu motor yükü ile artış göstermektedir. NO_x emisyonu silindir içi sıcaklığın artması ile doğru orantılı olarak artmaktadır [100]. Motor yükü artıkça silindir içi sıcaklık da artığından dolayı NO_x emisyonu bariz bir şekilde artış göstermiştir [101,102]. HYB içeren yakıt karışımlarının en az NO_x emisyonu değerine sahip olduğu görülmekte olup bunun en büyük nedeni tam yanmanın oluşmayarak silindir içi sıcaklığın düşük değerlerde olması olarak açıklanabilmektedir. Yine AKYB içeren yakıt karışımlarının en yüksek NO_x emisyonuna sahip olması tam yanma oluşarak silindir içi sıcaklığın artmış olmasına bağlanabilmektedir. Bütün motor yüklerinde D70B30 yakıtı en yüksek NO_x emisyonuna sahipken D90BH10 yakıtı ise en düşük NO_x emisyonuna sahiptir. Bu durumun CO₂ emisyonlarında da aynı şekilde olduğu görülmektedir. Bunun en önemli sebebi tam yanma sırasında silindir içi sıcaklığın artması ile NO_x emisyonunun oluşumunu artırmış olmasıdır. D70B30 yakıtı D100 yakıtına kıyasla NO_x emisyonunu bütün motor yüklerini dikkate alındığında ortalama %34 oranında artırmış iken D90BH10 yakıtı %19 oranında azaltmıştır. D90HB10 yakıtı 500 W motor yükünde 133,5 ppm NO_x emisyonu miktarı ile en düşük değerde iken D70B30 yakıtı 3000 W

motor yükünde 794,33 ppm NO_x emisyonu miktarı ile en yüksek değere sahiptir. 500 W motor yükünde D100, D90B10, D80B20, D70B30, D60B40, D90BH10, D80BH20, D70BH30 ve D60BH40 yakıtları sırası ile 207,33 ppm, 243,67 ppm, 274,33 ppm, 320 ppm, 236 ppm, 133,5 ppm, 140,5 ppm, 147,5 ppm ve 154,5 ppm değerlerine sahip olduğu deneyler sonucunda bulunmuştur.

5.1.1.5. İis Emisyonu

İis emisyonu, yanma işlemleri sırasında yanmamış veya kısmen yanmış karbon partiküllerinin egzozdan atılması ile oluşan bir tür dumandır. İis emisyonu, siyah duman veya siyah kurum olarak da tanımlanmaktadır. Eksik yanma durumlarında belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. İis emisyonu hava kalitesini olumsuz etkileyerek insan sağlığı üzerinde solunum yolu hastalıklarına, akciğer rahatsızlıklarına ve birçok farklı sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Bütün bu nedenlerden dolayı gerçekleştirilen bu çalışmanın amaçlarından bir tanesi test edilen yakıtlar ile is emisyonunu azaltmaktır. Bu çalışmada kullanılan yakıtların motor yüküne göre is emisyonu değişimi Şekil 5.5'te verilmiştir.



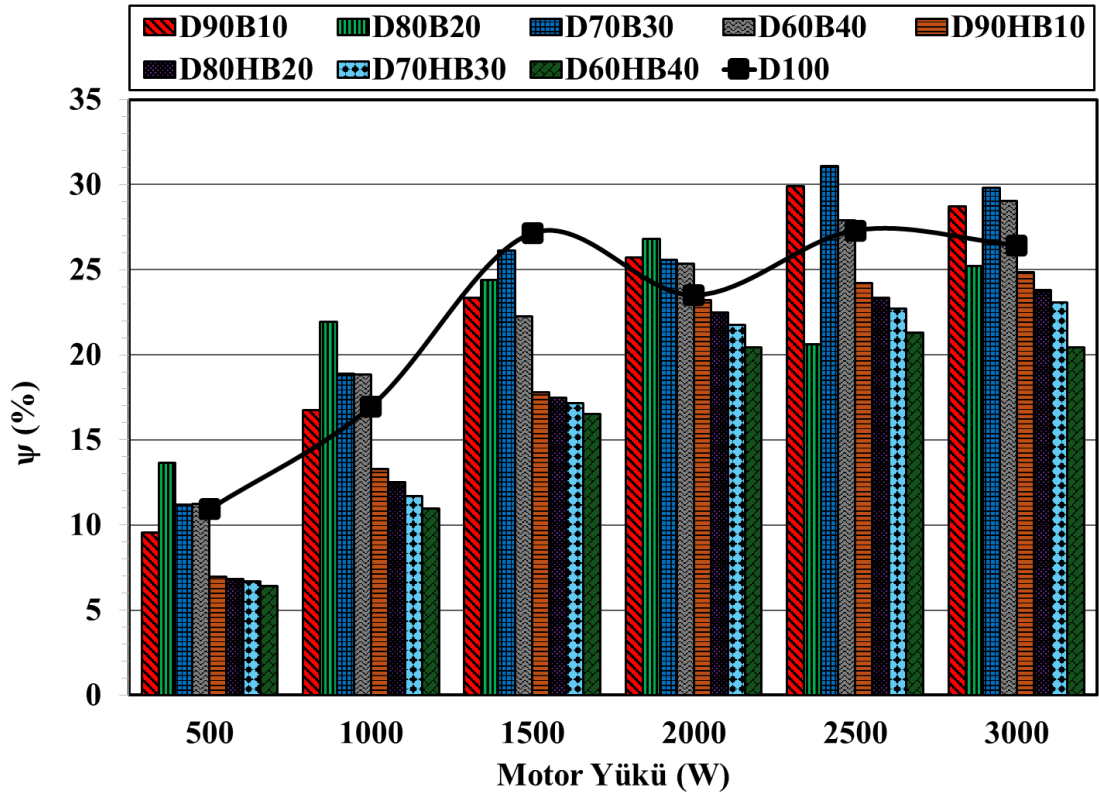
Şekil 5.5. İS emisyonlarının motor yüküne bağılı değışimi.

İs emisyonu motor yükünün artışı ile birlikte az da olsa artmaktadır. Bahse konu bu artış Şekil 5.4'te verilmiştir. HYB içeren yakıt karışımları, AKYB içeren yakıt karışımları ve D100 birbiri ile kıyaslandığında AKYB içeren yakıt karışımları bütün motor yüklerinde en yüksek is emisyonuna sahipken HYB içeren yakıt karışımları ise en düşük is emisyonuna sahiptir. Bu durumun başlıca sebepleri AKYB içeren yakıt karışımlarının yüksek setan sayısına ve C/H oranına olması olarak gösterilebilmektedir. Setan sayısı artııkça is emisyonu belirgin bir şekilde artmaktadır. Aynı şekilde silindir içerisinde gönderilen karbon miktarının artması yanmamış karbon miktarının artması için bir potansiyel oluşturarak is emisyonunun artmasına sebebiyet vermektedir. Bütün yüklerde D100 yakıtının is emisyonu değerleri sırası ile %10,07, %10,07, %10,33, %10,47, %10,73 ve %11,13 olarak bulunmuştur. Bütün motor yüklerinde D60B40 yakıtı en yüksek is emisyonuna sahipken D60HB40 yakıtı ise en düşük is emisyonuna sahiptir. D60B40 yakıtı D100 yakıtına kıyasla is emisyonu bütün motor yükleri göz önüne alındığında ortalama %46 oranında artırmış iken D60HB40 yakıtı yaklaşık %39 oranında azaltmıştır. D60HB40 yakıtı 500 W motor yükünde %7,6 is emisyonu miktarı ile en düşük değerde iken D60B40 yakıtı 3000 W motor yükünde

%13,63 is emisyonu miktarı ile en yüksek değere sahiptir. 500 W motor yükünde D100, D90B10, D80B20, D70B30, D60B40, D90HB10, D80HB20, D70HB30 ve D60HB40 yakıtları sırası ile %10,07, %11,27, %11, %10,6, %12,72, %8,75, %8,37, %7,99 ve %7,6 değerlerine sahip olduğu deneyler sonucunda bulunmuştur.

5.1.2. Ekserji Analizi

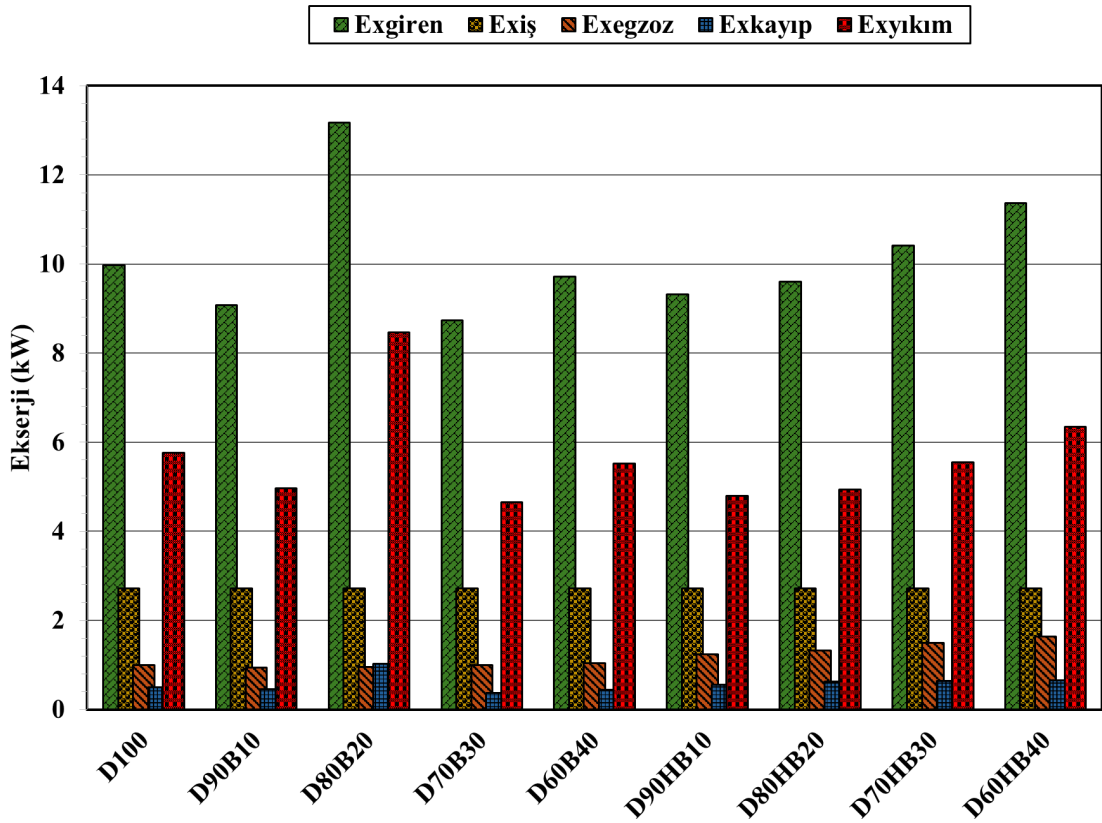
Bu çalışmada kullanılan tüm yakıtların test motoru içerisindeki ekserji performansı, deneysel olarak ölçülen emisyon miktarları ve sıcaklık verileri yardımıyla hesaplanarak belirlenmiştir. Ekserji analizi; yakıtın ekserjisi, havanın ekserjisi, krank miline iletilen ekserji, soğutmadan dolayı kaybolan ekserji, egzoz gazlarına iletilen ekserji ve ekserji yıkımından oluşmaktadır. Ekserji veriminin yüksek olması için yakıtın ve havanın toplam ekserjisinin maksimum şekilde krank miline aktarılması ve sistemin minimum ekserji yıkımı oluşturması gerekmektedir. Gerçekleştirilen bu çalışmanın amaçlarından birisi test edilen yakıtlar ile ekserji verimini artırmaktır. Bu çalışma boyunca kullanılan yakıtların her birinin motor yüküne göre ekserji veriminin değişimi Şekil 5.6'da bar grafiği olarak verilmiştir.



Şekil 5.6. Ekserji veriminin motor yüküne bağlı değişimi.

Şekil 5.6’da da görüldüğü gibi ekserji verimi 2500 W motor yüküne kadar motor yükü ile artış göstermiş olup 2500 W motor yükü sonrasında ise azalmıştır. Emisyonların değişimlerinde de olduğu gibi ekserji verimi değişimlerinde de tam yanmanın önemi büyük bir şekilde görülmektedir. Düşük motor yüklerinde ekserjinin en düşük seviyelerde olmasının başlıca sebebi silindir içi sıcaklığın düşük olması ve buna bağlı olarak tam yanmanın oluşmamasına bağlanabilmektedir. 2500 W motor yükünden sonra azalma eğiliminin başlamasının sebebi ise tam yanmanın oluşması için gerekli oksijen miktarının silindir içine alınamamasından dolayı ortaya çıkan eksik yanmanın ekserji verimini negatif bir şekilde etkilediği şeklinde açıklanabilmektedir. HYB içeren yakıt karışımları ve AKYB içeren yakıt karışımları kıyaslandığında en iyi ekserji verimine sahip yakıt karışımları AKYB içeren yakıt karışımları olduğu Şekil 5.6’da açık bir şekilde görülmektedir. Bu durumun başlıca sebepleri emisyon analizlerinden de görüldüğü gibi AKYB içeren yakıt karışımlarının tam yanmayı desteklediği ve homojen bir karışım elde edilerek homojen bir yanma oluşturduğu şeklinde açıklanabilmektedir. Bütün yüklerde D100 yakıtının ekserji verimliliği sırası ile %10,93, %16,97, %27,13, %23,49, %27,29 ve %26,43 olarak bulunmuştur.

D70B30 yakıtı en yüksek ekserji verimliliğine sahipken D60BH40 yakıtı ise en düşük ekserji verimine sahiptir. D70B30 yakıtı D100 yakıtına kıyasla ekserji verimini 2500 W motor yükünde yaklaşık %13,87 oranında artırmış iken D60BH40 yakıtı yaklaşık %21,98 oranında azaltmıştır. D60HB40 yakıtı 500 W motor yükünde %6,42 ekserji verimliliği ile en düşük değerde iken D70B30 yakıtı 2500 W motor yükünde %31,08 ekserji verimliliği ile en yüksek değere sahiptir. 2500 W motor yükünde D100, D90B10, D80B20, D70B30, D60B40, D90BH10, D80BH20, D70BH30 ve D60BH40 yakıtları sırası ile %27,29, %29,91, %20,64, %31,08, %27,89, %24,21, %23,34, %22,73 ve %21,29 değerlerine sahip olduğu deneyler sonucunda bulunmuştur.



Şekil 5.7. 2500 W motor yükünde ekserji analizi değişimi.

2500 W motor yükünde bu çalışma kapsamında kullanılan tüm yakıtların karşılaştırmalı olarak ekserji analizi Şekil 5.7’de gösterilmiştir. HYB içeren yakıt karışımları ve AKYB içeren yakıt karışımları kendi içerisinde incelendiğinde yakıttaki biyodizel miktarı artıkça, silindir içerisindeki yanmadan kaynaklı ekserji yıkımı da artmaktadır. Bunun en belirgin sebepleri ise yakıt karışımındaki biyodizel miktarının artması ile birlikte oksijen miktarı artmasına rağmen, yakıt karışımının viskozitesini

artırması ve alt ısı değerini azaltması olarak yorumlanabilmektedir. Viskozitenin artması, yakıtın silindir içerisine enjekte edilmesinde sorun yaratıp, yakıt partiküllerinin daha büyük kalmasına neden olur ve bütün bu durumlar neticesinde yanmayı kötüleştirir. Ayrıca, alt ısı değerinin azalması daha fazla yakıt tüketimine neden olarak ekserji yıkımının artmasına sebebiyet verebilmektedir. Bahse konu bu trendin aksine D70B30 yakıtı en düşük ekserji yıkımına sahip olup kullanılan bütün yakıtlardan daha iyi bir sonuca sahiptir. D70B30 yakıtının en düşük ekserji yıkımına sahip olmasının başlıca sebepleri ise yakıttaki oksijen miktarının yeterince fazla olması, viskozitenin ve alt ısı değerinin optimum seviyelerde olmasıdır. D80B20 yakıtı 8,47 kW ekserji yıkımı ile en yüksek değerde iken D70B30 yakıtı 4,65 kW ekserji yıkımı ile en düşük değere sahiptir. D70B30 yakıtı D100 yakıtı ile kıyaslandığında ekserji yıkımını %19,34 oranında azaltmıştır.

Soğutmadan kaynaklanan ekserji kaybı ise 2500 W motor yükünde D80B20 yakıtı haricinde tüm yakıtlarda hemen hemen eşit olduğu görülmektedir. Küçük farklar, hava soğutmalı bir motor olması ve motorun bulunduğu ortamdaki ufak sıcaklık değişimlerinden kaynaklanmaktadır. Aynı motor yükünde ekserji kaybının aynı değere sahip olması beklenen bir durumdur. Bunun nedeni aynı motor yükünde hemen hemen aynı silindir içi sıcaklığın olması ve aynı atmosfer sıcaklığına sahip bir ortamda deneylerin yapılmasına bağlanmaktadır. Fakat motor yükü arttıkça soğutmadan kaynaklanan ekserji kaybı da artmaktadır. Bunun sebebi ise motor yükü arttıkça silindir içi sıcaklık artmakta ve aynı sıcaklıktaki bir ortamla temas ettiğinde ekserji kaybının daha fazla bir şekilde olduğu görülmektedir. D80B20 yakıtı 1,02 kW ekserji kaybı ile en yüksek değerde iken D70B30 yakıtı 0,37 kW ekserji yıkımı ile en düşük değere sahiptir. D70B30 yakıtı D100 yakıtı ile kıyaslandığında ekserji kaybını %25,1 oranında azaltmıştır.

HYB içeren yakıt karışımları ve AKYB içeren yakıt karışımları kendi içerisinde incelendiğinde yakıttaki biyodizel miktarı arttıkça, silindir içerisindeki yanmadan kaynaklı egzoz gazlarının toplam ekserjisi azalmaktadır. Bahse konu bu azalış AKYB içeren yakıt karışımlarında bariz bir şekilde görülürken, HYB içeren yakıt karışımlarında nispeten daha az görülmektedir. Bunun temel nedeni egzoz gazlarının toplam ekserjisi emisyon miktarları ile de doğru orantılı olması ve emisyon miktarları

incelendiğinde de AKYB içeren yakıt karışımları daha iyi sonuçlara sahip olmasındır. D60HB40 yakıtı 1,64 kW egzoz gazlarının toplam ekserjisi ile en yüksek değerde iken D70B30 yakıtı 1 kW egzoz gazlarının toplam ekserjisi ile en düşük değere sahiptir.

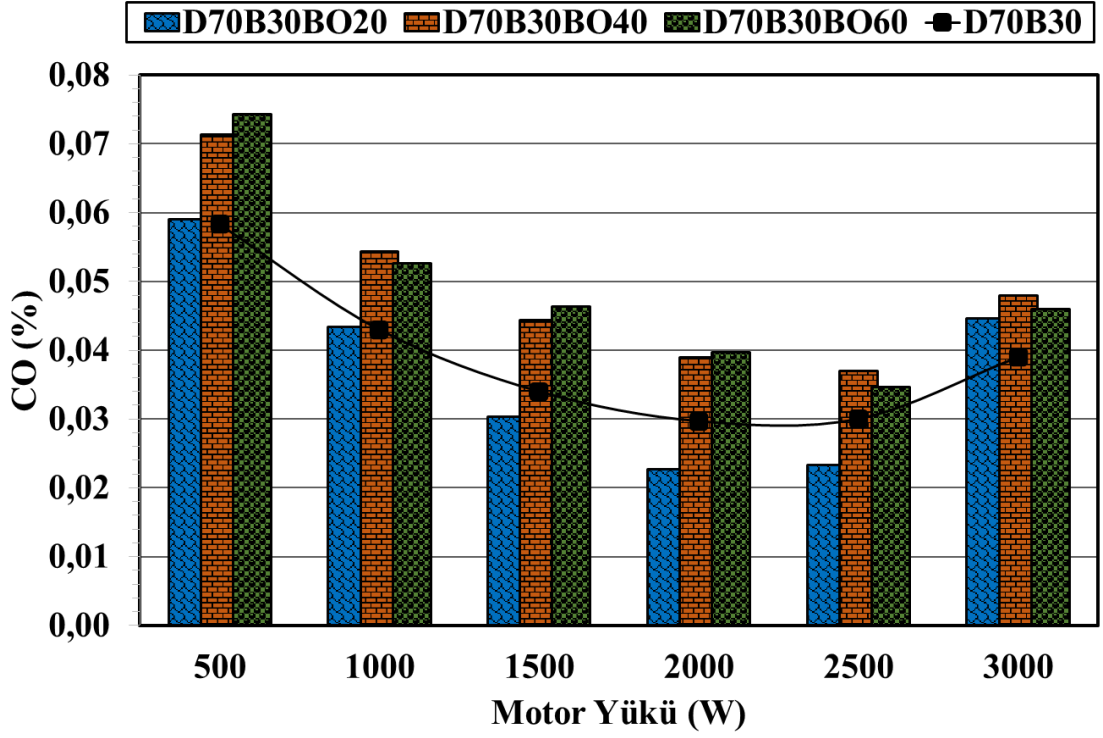
5.2. D70B30 YAKITINA B₂O₃ NANO PARÇACIĞI İLAVESİNİN ETKİLERİ

Bu çalışma kapsamında kullanılan iki farklı biyodizel, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında karıştırılmış olup emisyon ve ekserji analizi yapılarak ideal yakıt ve karışım oranı tespit edilmiştir. Yapılan analizler ışığında %30 oranında AKYB'in %70 oranında dizel yakıt ile karışımının genel olarak en iyi sonuçlara sahip olduğu görülmüştür. Çalışmanın bu aşamasında D70B30 olarak isimlendirilen yakıt karışımına B₂O₃ nano parçacığı 20 ppm, 40 ppm ve 60 ppm miktarlarında eklenerek D70B30 yakıtının yanında 3 farklı yakıt elde edilmiştir. Elde edilen bu yakıtlar test motorunda sabit hızda ve farklı motor yüklerinde denenmiş ve emisyon ve ekserji özelinde kıyaslanarak irdelenmiştir.

5.2.1. Egzoz Emisyon Analizi

5.2.1.1. Karbonmonoksit

Bu çalışmadan daha önce deneyleri gerçekleştirilen yakıtlar arasında en iyi emisyon değerlerini gösteren D70B30 yakıtına 3 farklı miktarda nano parçacık eklenerek emisyon değerlerini iyileştirmek amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda bahse konu yakıtların CO emisyonlarının motor yükü ile değişimi Şekil 5.8'de verilmiştir.



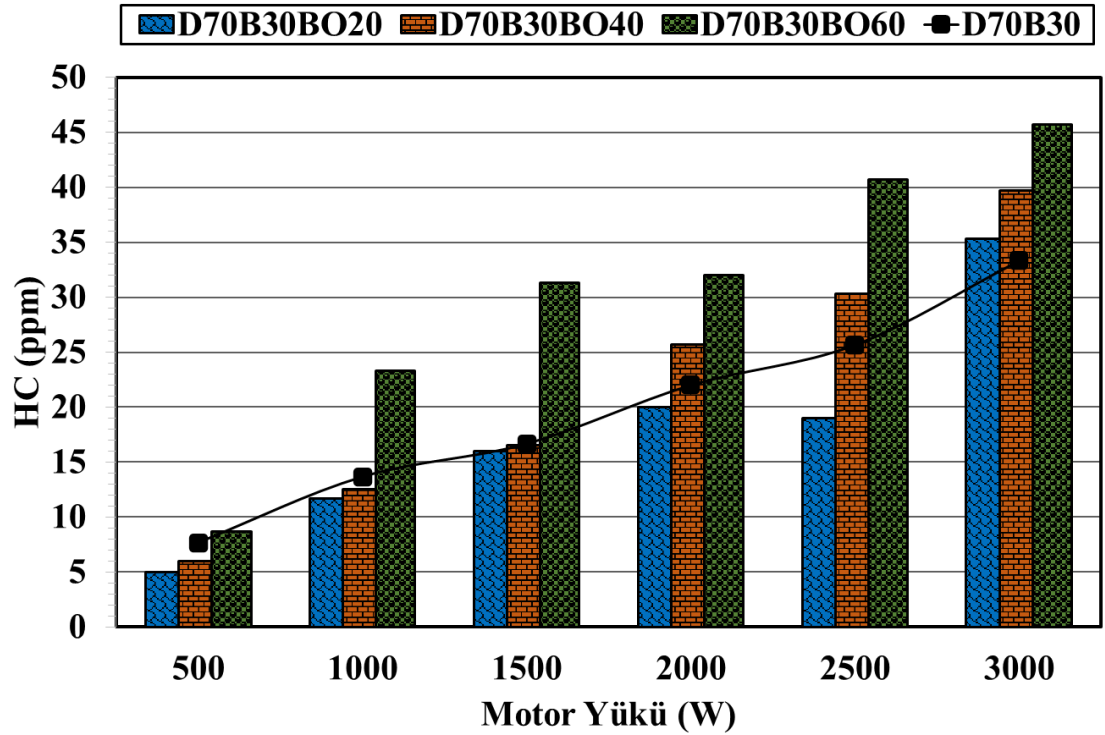
Şekil 5.8. CO emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimi.

CO emisyonu 2000 W motor yüküne kadar azalmak ile birlikte 2000 W motor yükünden sonra artış göstermiştir. Bu durum Şekil 5.8'de belirgin bir şekilde görülmektedir. Çalışmanın bu aşamasında kullanılan yakıtlar kendi aralarında kıyaslandığında 3000 W motor yükü haricindeki tüm motor yüklerinde en düşük CO emisyonu D70B30BO20 yakıtına ait olduğu görülmektedir. Bunun başlıca sebebi B_2O_3 nano parçacığı içerisinde bulunan oksijen miktarı sayesinde silindir içerisine ekstra oksijen alındığından dolayı tam yanmayı desteklenmesi olarak görülmektedir. Ayrıca nano parçacıklar özellikleri gereği yüksek yüzey alanı/hacim oranına sahip olduklarından dolayı tam yanmayı desteklemektedirler. D70B30BO40 ve D70B30BO60 bütün motor yüklerinde D70B30 yakıtından daha fazla CO emisyonuna sebebiyet vermiştir. Bu durumunun ana sebepleri D70B30 yakıtına eklenen nano parçacık miktarının fazla olması ve bundan dolayı homojen bir yakıt karışımının elde edilememesidir. Silindir içerisine alınan homojen olmayan karışım yakıt yanma performansını kötüleştirerek eksik yanmaya sebep olmuştur. Ayrıca nano parçacık miktarının artması viskoziteyi yükseltmiştir. D70B30BO20 yakıtı D70B30 yakıtı ile kıyaslandığında CO emisyonunu tüm motor yüklerinin ortalama alındığında %12 oranında azalttığı görülmektedir. CO emisyonu en düşük %0,023 değeri ile 2500 W

motor yükünde D70B30BO20 yakıtında olduğu belirlenmiştir. D70B30BO20 yakıtı D100 yakıtı ile kıyaslandığında ise %55 oranında CO emisyonlarını azalttığı görülmektedir. Sonuç olarak 20 ppm B₂O₃ nano parçacığının yakıt içerisine eklenmesi ile CO emisyonlarının düştüğü gözlemlenmiştir.

5.2.1.2. Hidrokarbon

Çalışmanın bu kısmında D70B30, D70B30BO20, D70B30BO40 ve D70B30BO60 yakıtlarının HC emisyonları üzerine etkileri deneysel olarak ölçülmüştür. Bu deneysel sonucunda elde edilen HC emisyon değerlerinin motor yüküne göre değişimleri Şekil 5.9'da verilmiştir.



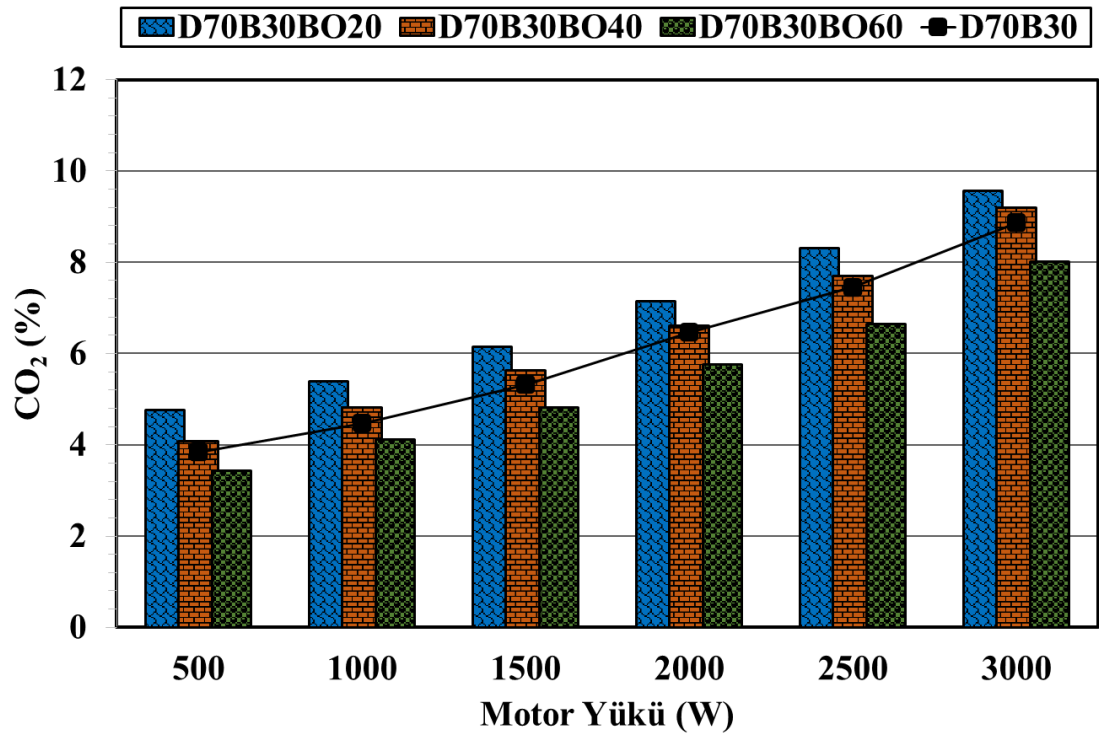
Şekil 5.9. HC emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimi.

CO emisyonu gibi eksik yanma ürünü olan HC emisyonu motor yükü ile birlikte artış göstermektedir. Bu durum Şekil 5.9'da da görülmekte olup çalışmanın bu aşamasında test edilen bütün yakıtlarda aynı durum söz konusudur. Yakıtlar kendi aralarından kıyaslandığında bütün motor yüklerinde hemen hemen aynı sıralamaya sahip oldukları görülmektedir. 3000 W motor yükü haricindeki bütün motor yüklerinde D70B30BO20

yakıtı en düşük HC emisyonuna sahiptir. D70B30BO60 yakıtı ise en yüksek HC emisyonuna sahip olduğu görülmekte olup bunun başlıca sebepleri CO emisyonunda da olduğu gibi yüksek viskoziteden dolayı yakıt püskürtmenin zorlanma eğilimine girmesi ve homojen bir karışım oluşturulamadığından dolayı yanma performansını etkilemesi olarak gösterilebilir. D70B30BO20 yakıtı D70B30 yakıtı ile kıyaslandığında HC emisyonu tüm motor yüklerinde ortalama %16 oranında azaltıldığı görülmekte olup, en düşük HC emisyonuna sahip D70B30BO20 yakıtı, 500 W motor yükünde 5 ppm değerine sahiptir. D70B30BO20 yakıtı D100 yakıtı ile kıyaslandığında ise %49 oranında HC emisyonlarını azalttığı görülmektedir. CO emisyonu sonuçlarında da olduğu gibi D70B30BO20 yakıtı HC emisyonunda da en iyi sonuçları vermektedir. 20 ppm B₂O₃ nano parçacığı ilavesinin HC emisyonu sonuçlarını iyileştirdiği açık bir şekilde görülmektedir.

5.2.1.3. Karbondioksit

Bu çalışmanın bir diğer amacı CO₂ emisyonları azaltmaktır. Bu amaç doğrultusunda D70B30 yakıtına nano parçacık eklentisi gerçekleştirilmiş ve CO₂ emisyonlarının motor yüküne göre değişimi Şekil 5.10'da verilmiştir.

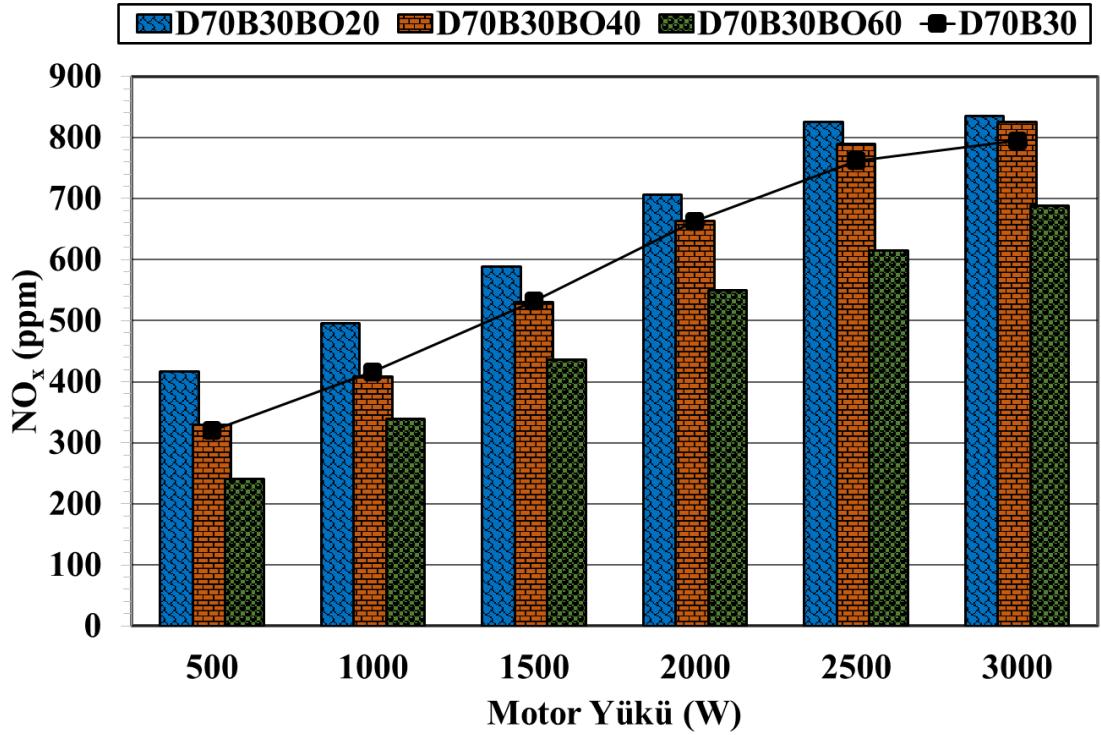


Şekil 5.10. CO₂ emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimi.

CO ve HC emisyonlarının aksine CO₂ emisyonu tam yanma sonucunda açığa çıkan bir emisyonudur. CO₂ emisyonu motor yükünün artması ile beraber artış göstermektedir. Çalışmanın bu aşamasında kullanılan yakıtlar incelendiğinde tüm motor yüklerinde aynı performans sıralaması olduğu anlaşılmaktadır. CO₂ emisyonu tam yanma sonucunda ortaya çıktığından dolayı D70B30BO20 yakıtının en yüksek CO₂ emisyonuna sahip olması olağan bir durumdur. Ayrıca D70B30BO60 yakıtının en düşük CO₂ emisyonuna sahip olması ise CO ve HC emisyonlarında da değinildiği gibi eksik yanmaya sebebiyet vermesinden kaynaklandığı gözlemlenmiştir. D70B30BO20 yakıtı CO₂ emisyonunu D70B30 yakıtına kıyasla %15 oranında artırmış olup D70B30BO60 yakıtı CO₂ emisyonu %9 oranında azaltmıştır. D70B30BO60 yakıtı 500 W motor yükünde %3,43 CO₂ emisyonu miktarı ile en düşük değerde iken D70B30BO20 yakıtı 3000 W motor yükünde %9,56 CO₂ emisyonu miktarı ile en yüksek değere sahiptir. 500 W motor yükünde D70B30, D70B30BO20, D70B30BO40, D70B30BO60 yakıtları sırası ile %3,84, %4,76, %4,08, %3,43 değerlerine sahip olduğu deneyler sonucunda bulunmuştur. Tüm motor yüklerinde aynı performans ve aynı sıralama görülmektedir. Ayrıca D70B30BO20 yakıtı CO₂ emisyonunu D100 yakıtına kıyasla %56 oranında artırdığı gözlemlenmiştir.

5.2.1.4. Azot Oksit

Bu çalışmada D70B30 yakıtına nano parçacık ilave edilerek yakıtın ekserji performansının artırılması ve emisyon değerlerinin azaltılması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda NO_x emisyonunun azaltılması hedeflenmektedir. Çalışmanın bu aşamasında kullanılan tüm yakıtların NO_x emisyonlarının motor yüküne göre değişimi Şekil 5.11'da verilmiştir.

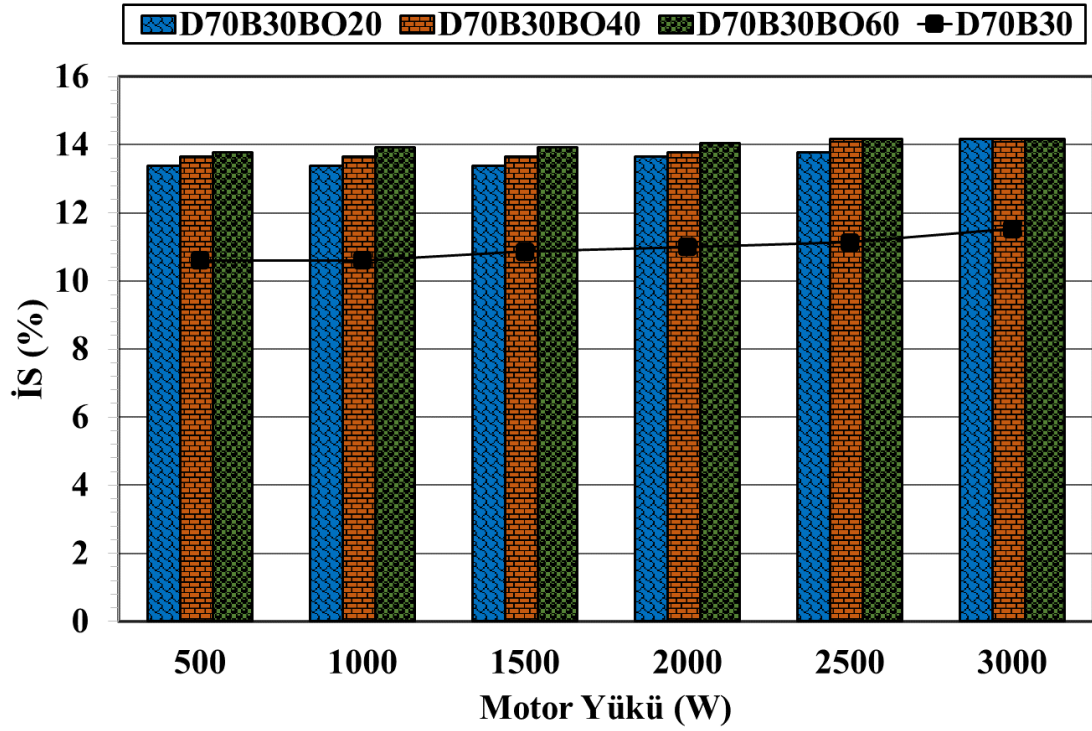


Şekil 5.11. NO_x emisyonlarının motor yüküne bağılı değışimi.

NO_x emisyonu motor yükü artıkaça motor yükü ile orantılı olarak artmaktadır. Şekil 5.11’de bu durum görülmektedir. CO ve HC emisyonlarında en düşük ve en iyi sonucu sahip D70B30BO20 yakıtı NO_x emisyonunda ise tüm motor yüklerinde en yüksek değere sahiptir. Bu durum beklenen bir durum olarak görülmektedir. Ayrıca D70B30BO60 yakıtının en düşük NO_x emisyonuna sahip olması ise CO ve HC emisyonlarında da değınildeğı gibi eksik yanmaya sebebiyet vermesinden kaynaklandığı gözlemlenmiştir. D70B30BO20 yakıtı NO_x emisyonunu D70B30 yakıtına kıyasla %13,28 oranında artırmış olup D70B30BO60 yakıtı NO_x emisyonu %18,42 oranında azaltmıştır. D70B30BO60 yakıtı 500 W motor yükünde 241,33 ppm NO_x emisyonu miktarı ile en düşük değerde iken D70B30BO20 yakıtı 3000 W motor yükünde 835,33 ppm NO_x emisyonu miktarı ile en yüksek değere sahiptir. 500 W motor yükünde D70B30, D70B30BO20, D70B30BO40, D70B30BO60 yakıtları sırası ile 320 ppm, 416 ppm, 329,33 ppm, 241,33 ppm değerlerine sahip olduğu deneyler sonucunda bulunmuştur. Ayrıca D70B30BO20 yakıtı NO_x emisyonunu D100 yakıtına kıyasla %53 oranında artırdığı gözlemlenmiştir.

5.2.1.5. İS Emisyonu

Çalışmanın bu aşamasında farklı oranlarda nano parçacık eklenen yakıtların is emisyon miktarları karşılaştırılarak sonuçlar irdelenmiştir. Şekil 5.12’de kullanılan yakıtların yanması sonucu oluşan is emisyon miktarlarının motor yüküne göre değişimi verilmiştir.



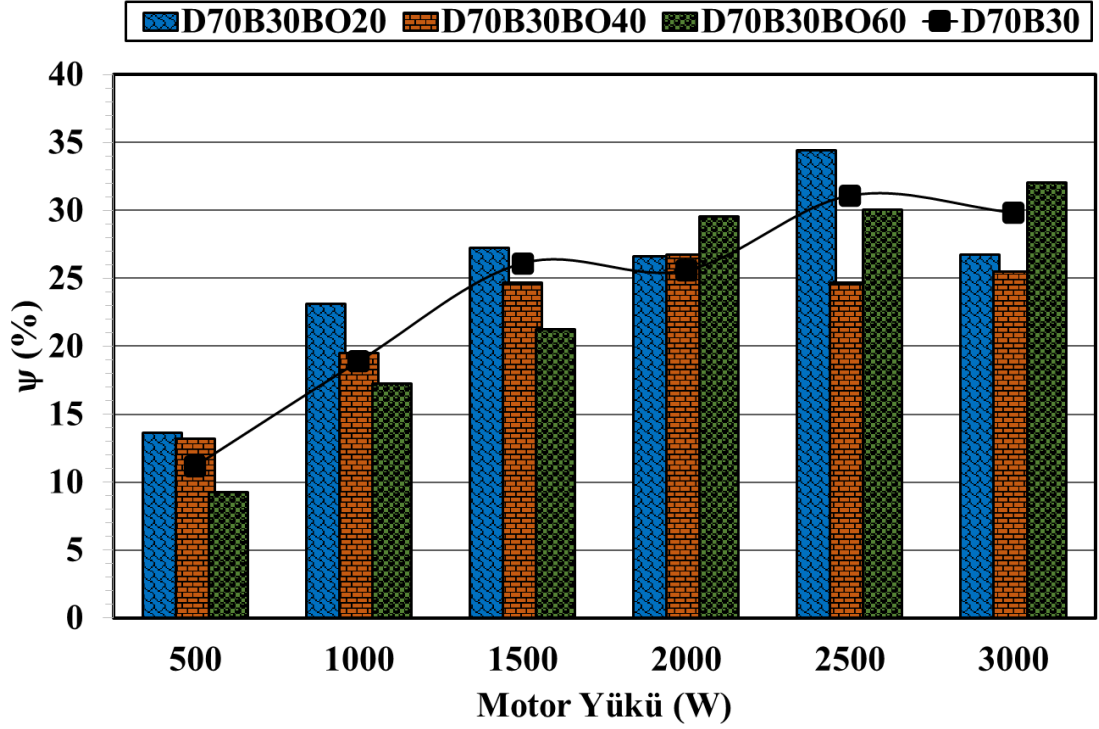
Şekil 5.12. İS emisyonlarının motor yüküne bağlı değişimi.

İs emisyonu motor yükü arttıkça nispeten de olsa artış göstermektedir. Şekil 5.12’de bu durum kullanılan tüm yakıtlar için belirgin bir şekilde görülmektedir. Bütün yakıtlar kendi içlerinde karşılaştırıldıklarında bütün motor yüklerinde D70B30 yakıtının en düşük is emisyonu miktarına sahip olduğu görülmekte olup en yüksek is emisyonuna ise D70B30BO60 yakıtı sahiptir. Bu durumun oluşmasındaki en önemli sebep nano parçacık eklentisinin miktarının artması ile yakıtın setan sayısının artması olarak gösterilebilmektedir. Setan sayısı yükseldikçe yakıtın yanması sonucu oluşan is emisyonu miktarı da yükselmektedir. Bu durum Çizelge 4.2’de de verilmiş olup en yüksek setan sayısına sahip yakıtın D70B30BO60 yakıtı olduğu görülmektedir. Bütün yüklerde D70B30 yakıtının is emisyonu değerleri sırası ile %10,6, %10,6, %10,87, %11, %11,13 ve %11,53 olarak bulunmuştur. D70B30BO60 yakıtı D100 yakıtına

kıyasla is emisyonu bütün motor yüklerinde yaklaşık %28 oranında artırmış iken D70B30BO20 yakıtı yaklaşık %24 oranında artırmıştır. D70B30 yakıtı 500 W motor yükünde %10,6 is emisyonu miktarı ile en düşük değerde iken D70B30BO60 yakıtı 3000 W motor yükünde %14,18 is emisyonu miktarı ile en yüksek değere sahiptir. 500 W motor yükünde D70B30, D70B30BO20, D70B30BO40, D70B30BO60 yakıtları sırası ile %10,6, %13,39, %13,65, %13,78 değerlerine sahip olduğu gerçekleştirilen deneyler sonucunda bulunmuştur. Ayrıca D70B30BO20 yakıtı is emisyonunu D100 yakıtına kıyasla %30 oranında artırdığı gözlemlenmiştir.

5.2.2. Ekserji Analizi

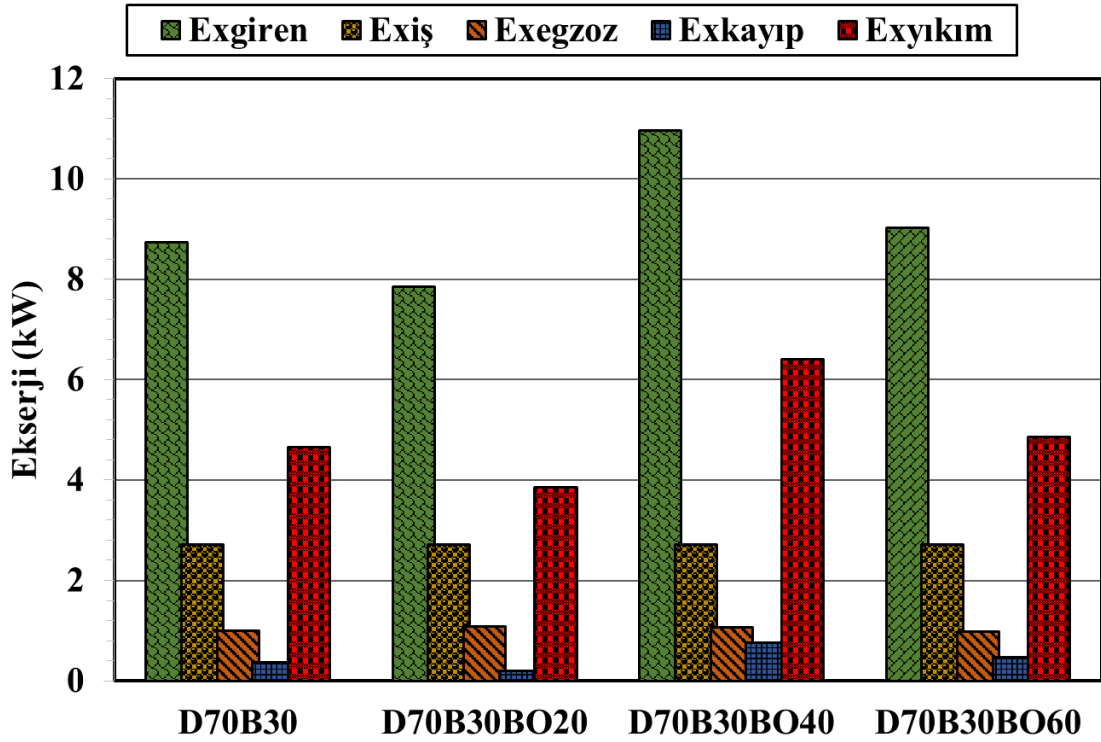
Bu çalışmanın bir önceki aşamasında hem emisyon analizi hem de ekserji analizi neticesinde en iyi sonuçlara sahip olan D70B30 yakıtına 3 farklı miktarda nano parçacık eklenerek 4 farklı yakıt elde edilmiştir. Elde edilen bu yakıtlar üzerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda ekserji analizi hesaplanarak bulunmuştur. Çalışmanın bu aşamasında kullanılan D70B30, B70B30BO20, D70B30BO40 ve D70B30BO60 yakıtlarının ekserji verimi, krank miline iletilen ekserji, soğutmadan dolayı kaybolan ekserji, egzoz gazlarına iletilen ekserji ve ekserji yıkımı hesaplanarak sonuçlar irdelenmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde kullanılan yakıtların yanması sonucu oluşan veriler ışığında hesaplanan ekserji veriminin motor yüküne göre değişimi Şekil 5.13'te verilmiştir.



Şekil 5.13. Ekserji veriminin motor yüküne bağlı değişimi.

Ekserji verimi 1500 W motor yüküne kadar belirgin bir şekilde artış göstermiş, 2000 W motor yükünde 1500 W motor yüküne göre bir miktar düşerek 2500 W motor yükünde ise en yüksek değerlere ulaşmış ve 3000 W motor yükünde düşüş göstermiştir. Şekil 5.13'te bahse konu bu trend bütün yakıtlarda aynı olacak şekilde görülmektedir. Emisyonların değişimlerinde de olduğu gibi ekserji verimi değişimlerinde de tam yanmanın önemi büyük bir şekilde görülmektedir. Düşük motor yüklerinde ekserjinin en düşük seviyelerde olmasının başlıca sebebi silindir içi sıcaklığın düşük olması ve buna bağlı olarak tam yanmanın oluşamamasına bağlanabilmektedir. Test edilen yakıtlar kendi aralarında karşılaştırıldığında D70B30BO20 yakıtı 3000 W motor yükü haricindeki bütün motor yüklerinde D70B30 yakıtından daha yüksek ekserji verimine sahip olduğu Şekil 5.13'te açık bir şekilde görülmektedir. Ayrıca D70B30BO20 yakıtı 2000 ve 3000 W motor yükü haricindeki bütün motor yüklerinde ekserji analizi sonucunda en verimli yakıt olarak göze çarpmaktadır. Şekil 5.13'te ele alınan bütün yakıtlar ve yakıt içerikleri incelendiğinde yakıt içerisindeki nano parçacık miktarı arttıkça özellikle düşük motor yüklerinde ekserji verimi azalmaktadır. Bütün yakıtlar incelendiğinde B₂O₃ nano parçacığının D70B30 yakıtına eklenmesi ekserji açısından iyi sonuçlar verse bile yakıt içerisine eklenme miktarının sonuçları olumsuz etkileyebileceği analiz sonucundan açık bir

şekilde görülmektedir. D70B30BO40 ve D70B30BO60 yakıtlarında bulunan nano parçacık miktarı D70B30 yakıtında doyma noktasının üzerine çıktığından dolayı homojen bir karışım oluşmasını engellemiş olup aynı zamanda topaklanmaya sebebiyet vermiştir. Bu topaklanma ve homojen yakıt elde edilememesinden dolayı yanma verimi azaldığı ve kullanılan nano parçacığın silindir içerisinde homojen dağılmamasına yol açtığı görülmektedir. Silindir içerisinde homojen dağılmayan nano parçacığın ısı transferi katsayısının yüksek olmasından dolayı silindir içi sıcaklık ve ısı dağılımını etkileyerek bir kısım yakıtın yanmadan atılmasına sebebiyet verdiği öngörülmektedir. Bütün bu sebepler göz önüne alındığında D70B30BO40 ve D70B0BO60 yakıtlarının tutarsız sonuçlara sebebiyet verdiği ve doğru trendlere sahip olmadığı Şekil 5.13'te de görülmektedir. Ayrıca nano parçacık miktarı arttıkça viskozitenin de artmasından dolayı püskürtme sorunları ortaya çıkmakta ve bu durumda yine yanma verimini düşürmektedir. Bütün motor yükleri ve yakıtlar düşünüldüğünde en yüksek ekserji verimine sahip yakıt 2500 W motor yükünde D70B30BO20 yakıtı olduğu görülmekte olup %34,42 ekserji verimi değerine sahiptir. D70B30BO60 yakıtı ise 500 W motor yükünde %9,24 ekserji verimi değeri ile en düşük ekserji verimine sahiptir. D70B30BO20 yakıtı D70B30 yakıtı ile kıyaslandığında ortalama %12,32 oranında ekserji verimini artmış olup D100 yakıtı ile kıyaslandığında ise %17,06 oranında artmıştır. 2500 W motor yükünde D70B30, D70B30BO20, D70B30BO40 ve D70B30BO60 yakıtları sırası ile %31,08, %34,42, %24,71 ve %30,02 ekserji verimine sahip oldukları hesaplamalar sonucunda bulunmuştur.



Şekil 5.14. 2500 W motor yükünde ekserji analizi değişimi.

Çalışmanın bu aşamasında kullanılan yakıtların 2500 W motor yükünde ekserji analizi Şekil 5.14'te verilmiştir. Belirli bir oranda nano parçacık miktarı eklentisi silindir içerisindeki yanmadan dolayı oluşan ve kullanılmadan kaybedilen ekserji yıkımını azaltmaktadır. Fakat 40 ve 60 ppm nano parçacık miktarı eklentileri yakıt içerisindeki homojen karışmama ve topaklanma durumlarından dolayı en yüksek ekserji yıkımına sahiptir. Bunun başlıca nedenleri ise ekserji veriminde de bahsedildiği gibi silindir içi yanmanın verimsizleşmesinden kaynaklanmaktadır. Yakıt içerisinde nano parçacık miktarının artması viskoziteyi artırırken yakıt püskürtme sorunlarına yol açabilir. Aynı zamanda yakıt doygunluk miktarından fazla nano parçacık eklentisi homojen olmayan bir karışıma sebebiyet verirken bu durum silindir içi sıcaklığın homojen olmayan şekilde dağılmasına neden olmaktadır. Homojen olmayan sıcaklık dağılımı ise silindir içerisinde sıcaklığı düşük olan tarafta bulunan yakıtın yanmasını engeller iken bahse konu yanmayan yakıtın ekserjisi kullanılmadan dışarı atılmaktadır. D70B30BO20 yakıtı en düşük ekserji yıkımı ile en verimli yakıt olarak göze çarpmaktadır. D70B30, D70B30BO20, D70B30BO40 ve D70B30BO60 yakıtlarının ekserji yıkımı sırası ile 4,65 kW, 3,86 kW, 6,40 kW ve 4,86 kW ekserji yıkımı değerlerine sahiptir.

D70B30BO20 yakıtı D70B30 yakıtı ile kıyaslandığında %16,99 oranında ekserji yıkımını azalttığı D100 yakıtı ile kıyaslandığında ise %32,99 oranında azaltmıştır.

Soğutmadan kaynaklanan ekserji kaybı ise 2500 W motor yükünde kullanılan tüm yakıtlarda hemen hemen eşit olduğu görülmektedir. Küçük farklar, hava soğutmalı bir motor olmasından ve motorun bulunduğu ortamdaki ufakta olsa sıcaklık değişimlerinden kaynaklanmaktadır. Aynı motor yükünde ekserji kaybının aynı değere sahip olması beklenen bir durumdur. Bunun nedeni aynı motor yükünde hemen hemen aynı silindir içi sıcaklığın olması ve aynı atmosfer sıcaklığına sahip bir ortamda deneylerin yapılmasına bağlanmaktadır. Fakat motor yükü arttıkça soğutmadan kaynaklanan ekserji kaybı da artmaktadır. Bunun başlıca nedeni motor yükü arttıkça silindir içi sıcaklığın artmasından dolayı aynı sıcaklığa sahip ortam ile temas ettiğinde ısı kaybının artmasına bağlanabilir. Soğutmadan kaynaklanan ekserji kaybı bütün yakıtlar düşünüldüğünde ortalama 0,45 kW değerine sahiptir.

Çalışmanın bu aşamasında gerçekleştirilen deneyler boyunca kullanılan yakıtların 2500 W motor yükünde egzoz gazlarından dolayı kaybedilen ekserjileri karşılaştırıldığında hemen hemen eşit değerlere sahip oldukları görülmektedir. Her bir yakıt için egzoz gazlarının miktarları farklı olsa bile sıcaklıklarında oluşan değişimlerden dolayı egzoz gazlarından dolayı kaybedilen ekserjilerinin eşit olduğu görülmektedir. Hemen hemen bütün kullanılan yakıtlarda yaklaşık 1 kW egzoz gazlarından dolayı kaybedilen ekserji olduğu Şekil 5.14'te verilmiştir.

Ekserji analizi sonucunda hem ekserji verimi hem de ekserji yıkımı göz önünde bulundurulduğunda en verimli yakıtın 2500 W motor yükünde D70B30BO20 yakıtı olduğu görülmektedir. D70B30BO40 ve D70B30BO60 yakıtlarının ise D70B30 yakıtı ile karşılaştırıldığında ekserji verimini ve ekserji yıkımını kötüleştirdiği anlaşılmaktadır. Ekserji analizi sonucunda B₂O₃ eklentisinin ekserji verimini belli bir miktarda eklenmesi sonucunda iyileştirdiği fakat bahse konu miktarın üzerine çıkıldığında homojen karışımın oluşmaması neticesinde ekserji verimini düşürdüğü sonucuna varılabilmektedir. Bütün şartlar (emisyon miktarı ve ekserji analizi) göz önüne alındığında en verimli yakıtın grafikler üzerinde D70B30BO20 yakıtı olduğu görülmektedir. Fakat bütün motor yükleri düşünüldüğünde en verimli yakıtın ve en

verimli motor yükünün bulunması önem arz etmektedir. Bunun için çalışmanın bir diğer aşamasında optimizasyon gerçekleştirilmiştir.

5.3. YANIT YÜZEY YÖNTEMİ (RSM) İLE OPTİMİZASYON

Bu çalışmada RSM optimizasyonu ile birlikte ANOVA çalışması gerçekleştirilmiş ve seçilen faktörlerin yanıtlar üzerindeki etki dereceleri belirlenmiştir. ANOVA'ya ilaveten regresyon analizi de gerçekleştirilmiş ve her bir yanıt için girdi parametrelerine bağlı olarak ortaya çıkan regresyon denklemleri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Çizelge 5.1'de N nano parçacık miktarını, Y motor yükünü, N² nano parçacık miktarının karesini, Y² motor yükünün karesini ve NY nano parçacık miktarı ile motor yükünün çarpımını ifade etmektedir. Elde edilen regresyon denklemleriyle girdi parametrelerinin seçilen seviyeleri arasında kalmak şartı ile tüm deneylerin tahmini yapılabilmektedir.

Çizelge 5.1. Çıktı parametrelerinin girdi parametrelerine göre regresyon eşitlikleri.

Regresyon Eşitlikleri	
CO	$0,1013 - 0,000206 N - 0,000072 Y + 0,000004 N^2 + 0,000001 Y^2 + 0,000001 NY$
HC	$8,3 - 0,535 N + 0,0047 Y + 0,00851 N^2 + 0,000001 Y^2 + 0,000122 NY$
CO ₂	$2,996 + 0,0577 N + 0,001235 Y + 0,001001 N^2 + 0,000001 Y^2 + 0,000005 NY$
NO _x	$184 + 5,23 N + 0,2618 Y + 0,1134 N^2 + 0,000019 Y^2 + 0,000109 NY$
İs	$0,459 + 0,01002 N + 0,000016 Y + 0,000108 N^2 + 0,000001 Y^2 + 0,000001 NY$
Ekserji Verimi	$8,6 + 0,130 N + 0,01880 Y + 0,00005 N^2 + 0,000004 Y^2 + 0,000028 NY$

Çizelge 5.1'de her bir çıktı için oluşturulan regresyon modellerinin gerçek deney sonuçlarına yakınlığı Çizelge 5.2'de verilen R² (korelasyon katsayısı) ile irdelenmiştir. Korelasyon katsayısı 1'e ne kadar yakın ise o kadar verilere uyduğu veya o kadar iyi tahmin yaptığı anlamına gelmektedir. %88 üzerindeki korelasyon katsayısı literatürde kabul edilen bir durumdur [103–105]. Bu durumdan dolayı bütün çıktıların regresyon modelleri deney verilerine uymakta olduğu da Çizelge 5.2'de verilen veriler ışığında kabul edilebilmektedir.

Çizelge 5.2. Regresyon eşitliklerinin korelasyon katsayıları.

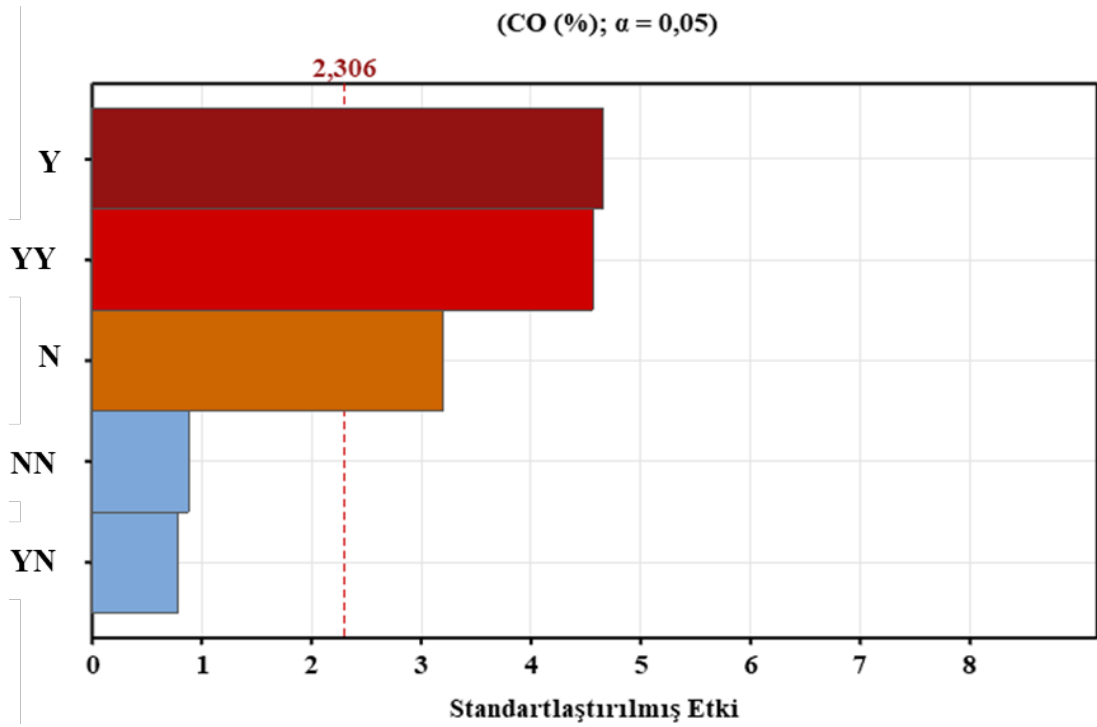
Çıktı	R ² (%)	Düz. R ² (%)	Tah. R ² (%)
CO	92,70	88,14	80,19
HC	89,51	82,95	68,39
CO ₂	99,42	99,05	97,76
NO _x	98,84	98,12	96,99
İs	91,55	86,27	69,53
Ekserji Verimi	88,51	81,33	59,85

ANOVA kullanılarak elde edilen p-değerleri, çalışma neticesinde bulunan bütün çıktılar için Çizelge 5.3'te verilmiştir. Bahse konu p-değerleri çalışmanın istatistiksel olarak anlamlılığı hakkında bilgi vermektedir. Bu çalışma, %95 güven aralığında gerçekleştirilmiş olup 0,05 ten küçük ($0 \leq p < 0,05$) p-değerleri istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir. Çizelge 5.3'te her bir çıktı için girdilerin bireysel (N, Y), kareli (N², Y²) ve etkileşimli (N*Y) etkilerinin p-değerleri gösterilmektedir. P-değeri 0,05'ten küçük bulunan girdilerin değerleri kalın punto ile yazılmış olup etkili olduğu vurgulanmıştır. Çizelge 5.3'e göre motor yükünün bireysel olarak bütün çıktılarda etkili olduğu görülmektedir. Nano parçacık miktarının ise bütün emisyon çıktılarında etkili fakat ekserji veriminde etkisiz olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.3. ANOVA ile elde edilen p-değerleri.

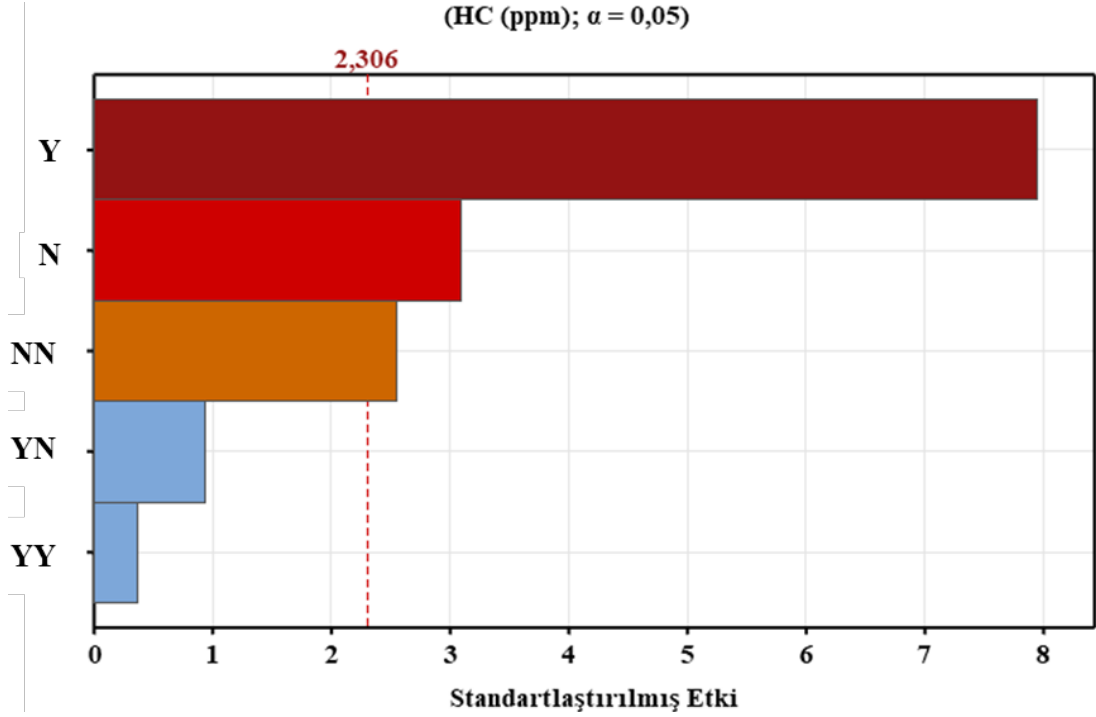
Çıktı	N	Y	N ²	Y ²	N*Y
CO	0.013	0.020	0.400	0.002	0.455
HC	0.015	0.000	0.034	0.719	0.371
CO ₂	0.003	0.000	0.000	0.091	0.402
NO _x	0.010	0.000	0.001	0.362	0.905
İs	0.000	0.041	0.002	0.549	0.969
Ekserji Verimi	0.117	0.001	0.984	0.094	0.778

Şekil 5.15'te tüm girdi değişkenlerinin CO emisyonuna etkileri Pareto grafiği ile gösterilmiştir. CO özelinde standartlaştırılmış etki alt limiti 2,306 olarak bulunmuştur. Girdi parametrelerinden, bireysel (N, Y), kare (NN, YY) veya etkileşim (NY) olarak, alt limit değerinin üzerinde olan parametreler CO emisyonuna anlamlı bir şekilde etki etmek ile birlikte alt limit değerinin altında olan parametreler ise herhangi bir etki göstermemektedir. Şekil 5.15'te de anlaşıldığı üzere CO çıktısına en çok etki eden parametre motor yükü olduğu görülmüş olup motor yükünü (Y) takip eden ve etki eden parametreler ise sırası ile motor yükünün karesi (YY) ve nano parçacık miktarı (N) olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu sonuçlar Çizelge 5.3'te da verilmiş olup her iki yöntem de birbirini doğrulamaktadır.



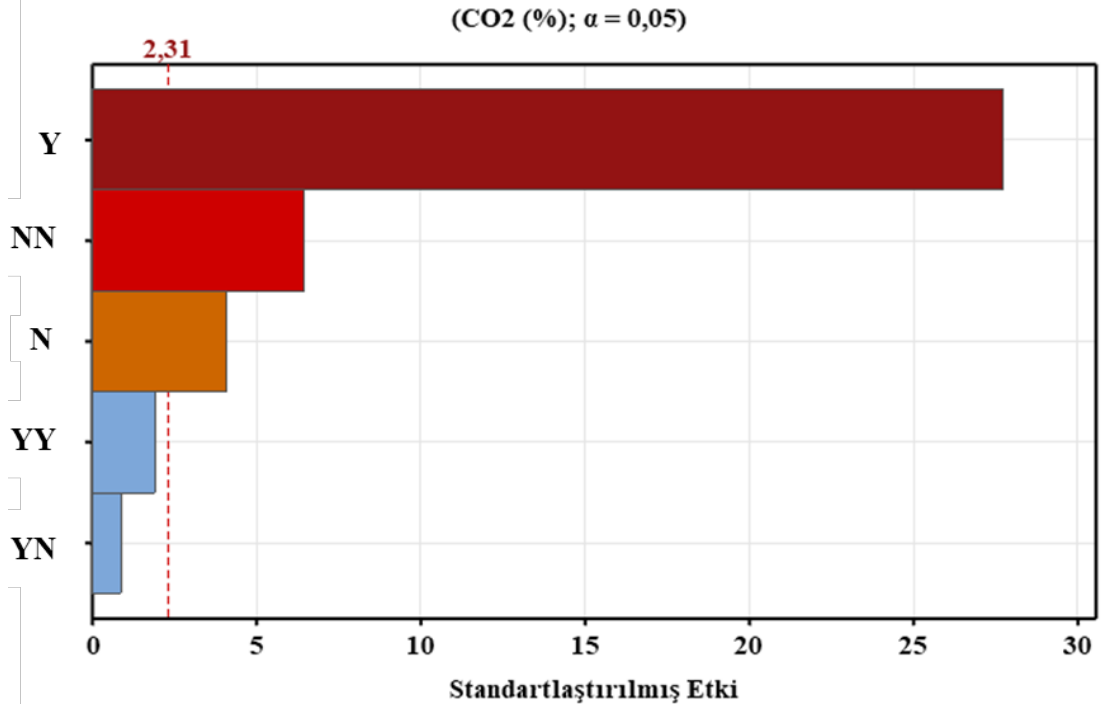
Şekil 5.15. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde CO çıktısına etkisi.

Şekil 5.16'da nano parçacık miktarı (N), motor yükü (Y) girdi parametrelerinin HC emisyonuna standartlaştırılmış etkisi verilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı üzere HC üzerinde motor yükü en fazla etkiye sahiptir. Motor yükünü nano parçacık miktarı ve nano parçacık miktarının karesi takip etmektedir. Bu sonuçlar aynı şekilde Çizelge 5.3'ten de doğrulanabilmektedir.



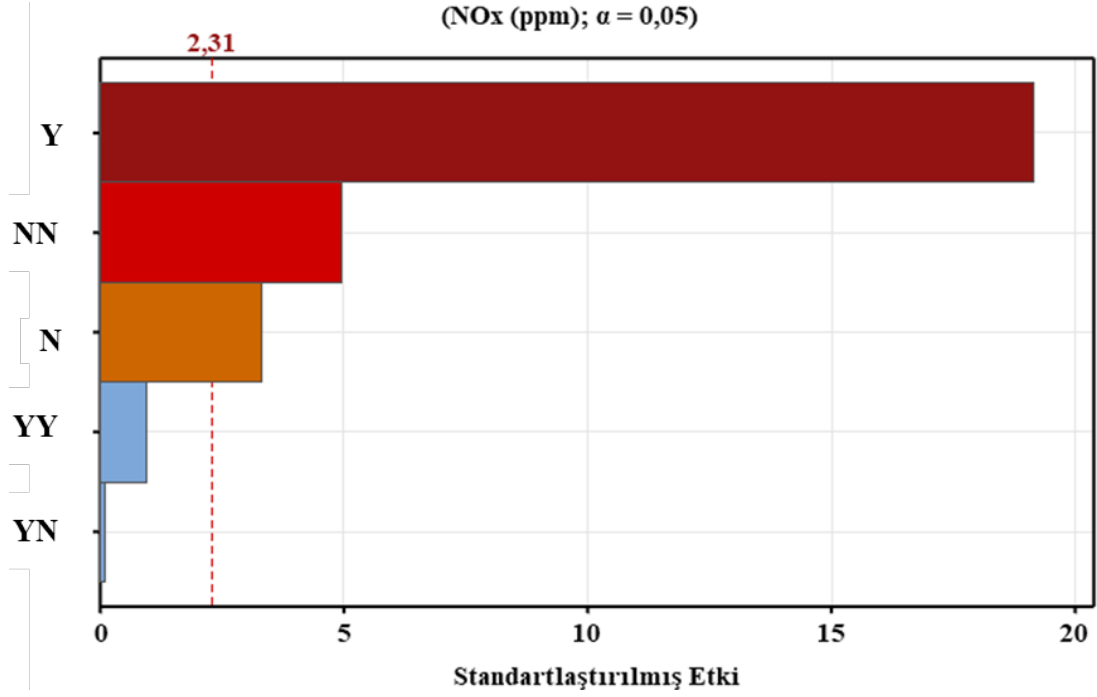
Şekil 5.16. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde HC çıktısına etkisi.

Şekil 5.17’de girdi parametrelerinin CO₂ emisyonu üzerindeki standartlaştırılmış etkisi verilmiştir. CO₂ emisyonu özelinde standartlaştırılmış etki alt limiti 2,31 olarak bulunmuş ve Şekil 5.17’de işaretlenmiştir. Bahse konu işaretlenmiş çizgi üzerinde olan girdi parametreleri ve onların etkileşimleri CO₂ emisyonu üzerinde anlamlı bir şekilde etki etmektedir. Tam tersi olarak ise işaretli çizgi altında olan parametrelerin ise CO₂ emisyonu üzerinde herhangi bir etki göstermediği anlaşılmaktadır. Şekilden de anlaşıldığı üzere CO₂ üzerinde motor yükü en fazla etkiye sahiptir. Motor yükünü nano parçacık miktarı ve nano parçacık miktarının karesi takip etmektedir. Bu sonuçlar aynı şekilde Çizelge 5.3’ten de doğrulanabilmektedir.



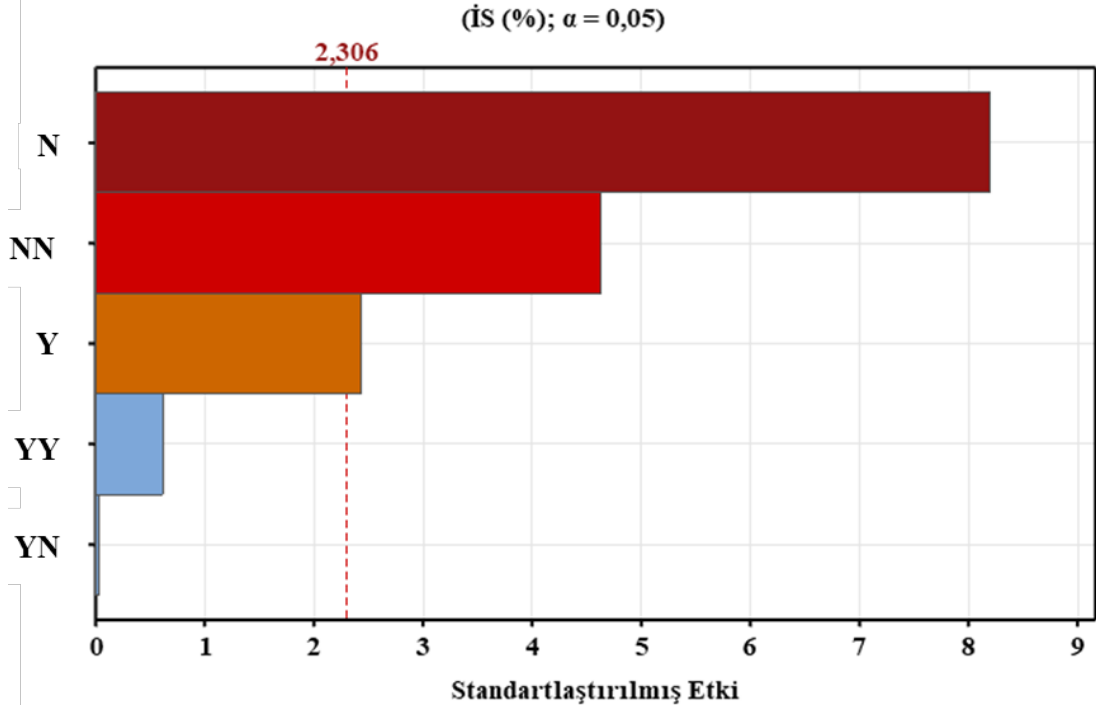
Şekil 5.17. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde CO₂ çıktısına etkisi.

Şekil 5.18’de nano parçacık miktarı ve motor yükünün NO_x emisyonu üzerindeki etkileri Pareto grafiği ile verilmiştir. NO_x emisyonunun standartlaştırılmış etki alt limiti 2,31 olarak bulunmuştur. Bulunan alt limitin üzerinde olan parametreler NO_x emisyonu üzerinde etki oluştururken alt limitin altında olan parametreler NO_x emisyonuna herhangi bir etki oluşturmamıştır. Şekil 5.18 incelendiğinde NO_x emisyonuna en fazla etkiyi motor yükü oluşturmaktadır. Şekil 5.18’de de görüldüğü gibi Motor yükünü açık kırmızı rengi ile nano parçacık miktarının karesi ve turuncu rengi ile nano parçacık miktarı takip etmektedir. Çizelge 5.3 incelendiğinde Şekil 5.18’de yer alan veriler görülebilmektedir.



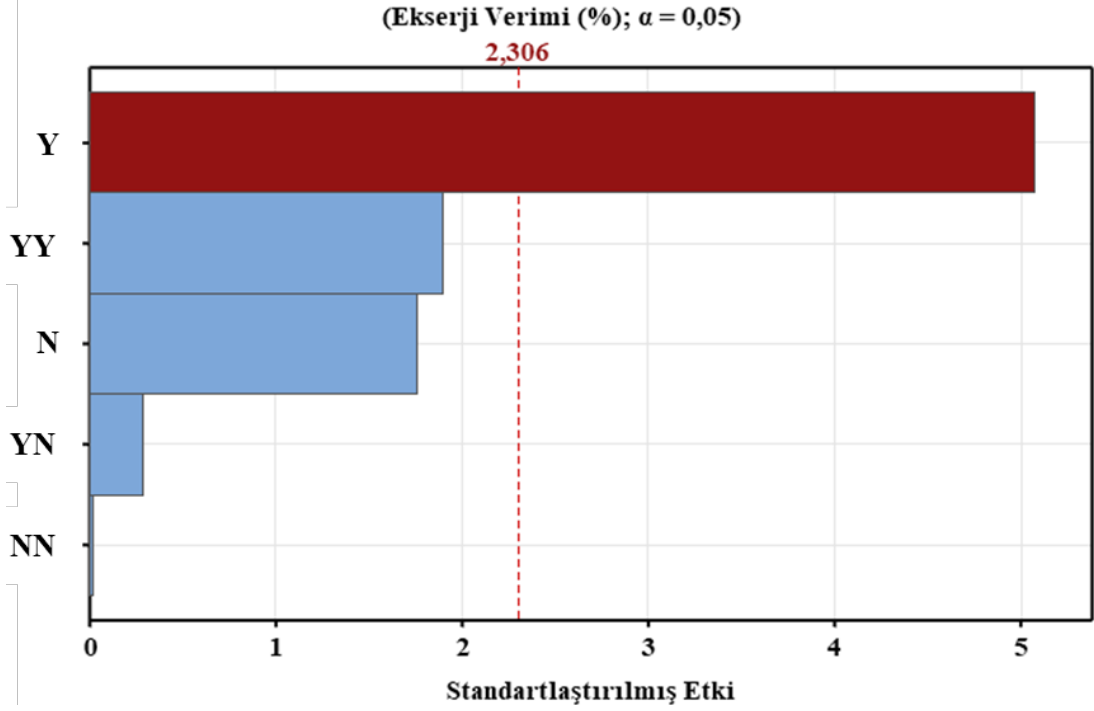
Şekil 5.18. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde NO_x çıktısına etkisi.

Şekil 5.19’da is emisyonu üzerinde bütün parametrelerin standartlaştırılmış etkisi verilmiştir. Minitab programı ile hesaplanan is emisyonu özelindeki standartlaştırılmış etkinin alt limiti 2,306 olarak bulunmuş olup bulunan değerin üzerinde olan parametreler is emisyonuna anlamlı bir şekilde etki ettiği, altında olan parametrelerin ise herhangi bir etki göstermediği belirlenmiştir. Şekil 5.19’da is emisyonuna etki eden parametreler görülmekte olup, etki sırasına göre koyu kırmızı rengi ile nano parçacık miktarı, açık kırmızı rengi ile nano parçacık miktarının karesi ve turuncu rengi ile motor yükü olduğu görülmektedir. Bu sonuçlar aynı zamanda Çizelge 5.3’te de verilmiştir.



Şekil 5.19. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde is çıktısına etkisi.

Şekil 5.20’de verilen Pareto grafiğinde nano parçacık miktarı ve motor yükü parametrelerinin ekserji verimi üzerindeki standartlaştırılmış etkileri gösterilmiştir. Ekserji verimi dikkate alındığında standartlaştırılmış etkinin alt limiti 2,306 olarak hesaplanmıştır. Girdi parametrelerinden hesaplanan standartlaştırılmış etki alt limitinin üzerinde olan parametreler ekserji verimine anlamlı bir şekilde etki ettiği ve aynı limitin altında olan parametrelerin ise ekserji verimine herhangi bir etki göstermediği anlaşılmıştır. Çizelge 5.3 ve Şekil 5.20’den de görüldüğü gibi ekserji verimine sadece motor yükü anlamlı bir şekilde etki etmektedir.



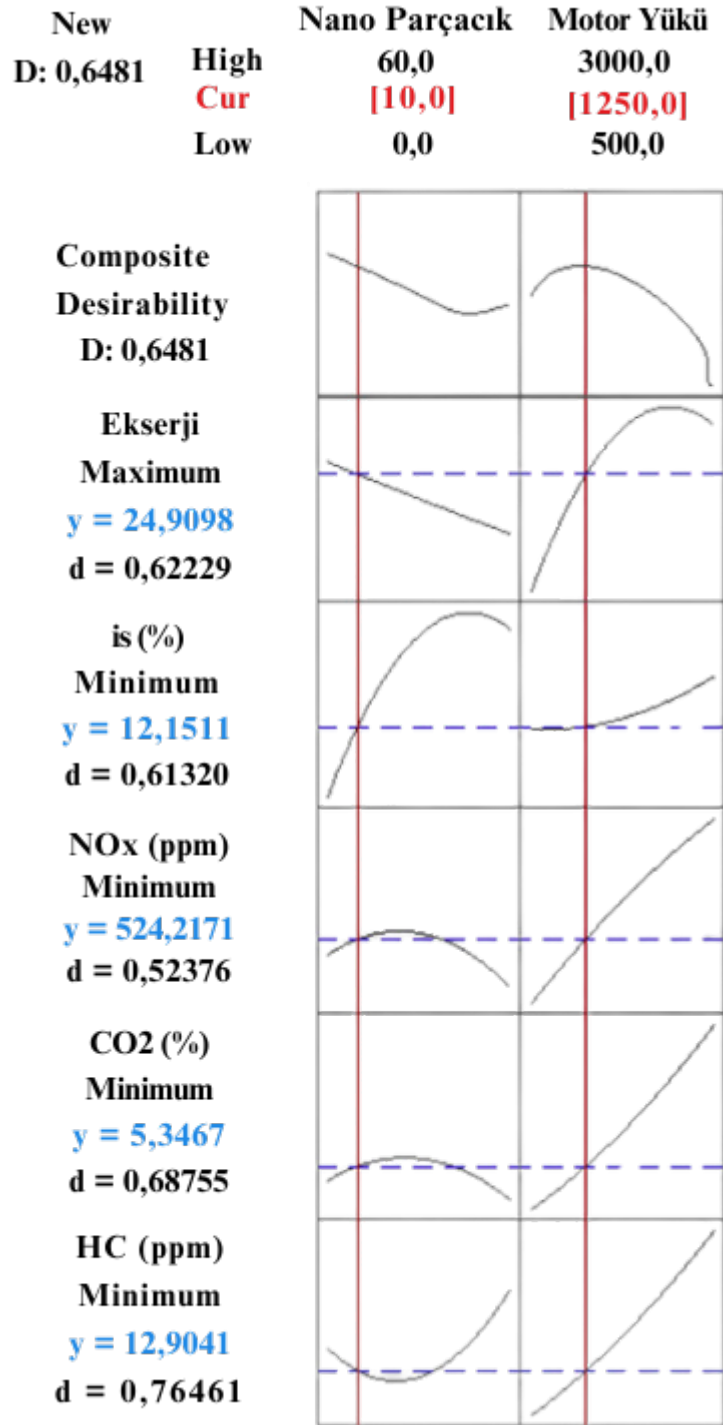
Şekil 5.20. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde ekserji verimi çıktısına etkisi.

RSM ile optimizasyon gerçekleştirilmeden önce ANOVA kullanılarak regresyon modeli, girdilerin çıktılar üzerinde etkisi gibi çalışmalar gerçekleştirilmiş olup optimizasyon için gerekli olan tüm hesaplamalar yapılmıştır. Sonrasında ise MİNİTAB programı kullanılarak seçilen deney parametreleri ışığında ve regresyon modeli yardımıyla optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Girdi parametreleri daha önce de bahsedildiği gibi nano parçacık miktarı ve motor yükü seçilmiş olup çıktı parametreleri CO, HC, CO₂, NO_x, is ve ekserji verimi olarak seçilmiştir. Seçilen girdi ve çıktı parametreleri için optimizasyon amacı, en düşük ve en yüksek değerleri Çizelge 5.4'te verilmiştir. Çizelge 5.4'te kalın bir şekilde vurgulanarak yazılan değerler, ilgili parametrenin optimizasyon sonucunda olması istenilen değerini belirtmektedir. CO emisyonunun optimizasyon sonucunda %0,023 değerine ulaşması hedeflenmektedir. Aynı şekilde HC emisyonu 6 ppm değerine, CO₂ emisyonu %3,432 değerine, NO_x emisyonu 241,3 ppm değerine, is emisyonu ise %10,6 değerine ulaşması hedeflenmektedir. Buradan da anlaşıldığı gibi bütün emisyonların minimum değerlerde olması istenirken ekserji veriminin %34,42 değeri ile maksimum değerde olması istenmektedir.

Çizelge 5.4. RSM ile optimizasyon için parametreler ve değerleri.

Girdiler - Çıktılar	Amaç	En Düşük	En Yüksek
Nano parçacık Miktarı (ppm)	Aralık	0	60
Motor Yüğü (W)	Aralık	500	3000
CO	Minimum	0,023	0,074
HC	Minimum	6,000	35,33
CO ₂	Minimum	3,432	9,560
NO _x	Minimum	241,3	835,3
İs	Minimum	10,60	14,18
Ekserji Verimi	Maksimum	9,236	34,42

RSM ile optimizasyon gerçekleştirilirken Çizelge 5.4'te verilen parametreler ve bu parametrelere ait değerler ile amaçlara göre girdi parametrelerinin optimum değerleri belirlenmiştir. Bu değerler Şekil 5.21'de verilmektedir. Şekil 5.21'den de anlaşıldığı gibi 10 ppm nano parçacık miktarına karşılık 1250 W motor yükünde çıktı parametreleri optimum bir şekilde istenilen hedeflere ulaşmaktadır. 10 ppm nano parçacık miktarı ve 1250 W motor yükünde RSM ile gerçekleştirilen optimizasyon analizine göre ekserji verimi %24,91, is emisyonu %12,15, NO_x emisyonu 524,22 ppm, CO₂ emisyonu %5,35 ve HC emisyonu 12,9 ppm olarak bulunmuştur. Bütün parametreler düşünüldüğünde RSM ile optimizasyonun birleşik arzu edirlilik değeri 0,6481 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.21. RSM ile optimizasyon.

RSM ile optimizasyon sonucunda elde edilen optimum girdi parametrelerine karşılık çıktı parametrelerinin sonuçları ve optimizasyonun doğrulanması için D70B30 yakıt karışımına 10 ppm miktarında B₂O₃ nano parçacığı ilave edilmiş ve yükleme ünitesi 1250 W motor yüküne ayarlanarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen

deneylerin sonuçları, RSM sonuçları ile kıyaslanarak hata oranı hesabı ve optimizasyon sonuç doğrulaması yapılmıştır. İlgili sonuçlar Çizelge 5.5'te verilmiş olup bütün çıktıların hata oranı sonuçları %5'in altında olduğundan dolayı RSM sonuçları doğrulanmıştır. Hata oranı literatür ile kıyaslandığında RSM sonuçlarının yüksek doğrulukta olduğu sonucuna varılmıştır [100].

Çizelge 5.5. RSM sonuçlarının doğrulanması.

Girdi		Çıktı					
		CO (%)		HC (%)		CO ₂ (%)	
B ₂ O ₃ (ppm)	Motor Yükü(W)	Test	RSM	Test	RSM	Test	RSM
10	1250	0,038	0,037	13,5	12,9	5,33	5,35
Hata (%)		0,62		4,44		0,36	
		NO _x (ppm)		İs (%)		Ekserji Verimi (%)	
		Test	RSM	Test	RSM	Test	RSM
		508	524,22	12,06	12,15	23,85	24,91
Hata (%)		3,19		0,75		4,45	

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın ilk aşamasında, iki farklı biyodizel (HYB ve AKYB) 4 farklı oranda (%10, %20, %30 ve %40) dizel yakıt ile karıştırılarak, farklı motor yüklerinde (500, 1000, 1500, 2000, 2500 ve 3000 W), tek silindirli ve hava soğutmalı dizel motorda deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen veriler ışığında emisyon değerleri incelenmiş ve ekserji analizi hesaplanarak irdelenmiştir. İlk aşamada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

- CO emisyonu incelendiğinde bütün motor yüklerinde D100 yakıtının en yüksek emisyonu sahip olduğu, D70B30 yakıtının da bütün motor yüklerinde en düşük emisyonu sahip olduğu görülmektedir. En düşük emisyon değerleri 2000 W motor yükünde görülmüştür. D70B30 yakıtı bütün motor yüklerinin ortalaması alındığında D100 yakıtına kıyasla CO emisyonunu %52 oranında azaltmıştır. CO emisyonu gibi eksik yanma sonucu ortaya çıkan HC emisyonunda da bütün motor yüklerinde yine en düşük emisyon D70B30 yakıtında olduğu tespit edilmiştir. D70B30 yakıtı D100 yakıtı ile HC emisyonu özelinde kıyaslandığında bütün motor yüklerinin ortalaması alındığında %41 oranında azalttığı görülmektedir.
- CO ve HC emisyonlarının aksine tam yanma ürünü olan CO₂ emisyonunda bütün motor yüklerinde beklenildiği gibi D70B30 yakıtı en yüksek değere sahiptir. Bunun başlıca nedeni ise D70B30 yakıtının yanma veriminin diğer bütün yakıtlardan üstün olması olarak gösterilebilmektedir. NO_x emisyonu da yine CO₂ emisyonu gibi tam yanma ürünü olduğundan dolayı aynı şekilde bütün motor yüklerinde D70B30 yakıtı en yüksek değere sahiptir.

- Ekserji verimi incelendiğinde bütün motor yüklerinde D70B30 yakıtı en yüksek verime sahip olduğu görülmektedir. 2500 W motor yükünde ise tüm deney şartları göz önüne alındığında %31,08 ekserji verimliliği değeri ile D70B30 yakıtı en verimli yakıttır. Ayrıca 2500 W motor yükünde D70B30 yakıtı 4,65 kW ekserji yıkımı ile en düşük değere sahip olduğu bulunmuştur. Bütün analiz sonuçları göz önüne alındığında D70B30 yakıtı emisyon ve ekserji verimi en iyi olan yakıt olduğu görülmektedir.

Çalışmanın birinci aşamasında D70B30 yakıtının en iyi yakıt olduğu bulunmuştur. Çalışmanın ikinci aşamasında ise D70B30 yakıtına 3 farklı miktarda (20, 40 ve 60 ppm) B₂O₃ nano parçacığı eklenmiştir. Nano parçacık eklentili yakıt karışımlarının aynı şartlar altında ve aynı motor üzerinde deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları ışığında emisyon ve ekserji analizleri yapılmış ve sonrasında en optimum yakıt karışımını bulmak için optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasının sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

- CO emisyonu incelendiğinde bütün motor yüklerinde D70B30BO20 yakıtı en düşük değerlere sahiptir. D70B30BO20 yakıtı bütün motor yükleri karşılaştırıldığında 2500 W motor yükünde 0,023 CO emisyonu değeri ile en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. CO emisyonu gibi eksik yanma sonucu oluşan HC emisyonu incelendiğinde 3000 W motor yükü haricindeki bütün motor yüklerinde HC emisyonu en düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir. HC emisyonu CO emisyonunun aksine motor yükü arttıkça artmakta olup 500 W motor yükünde 5 ppm değeri ile en düşük emisyon değeri olduğu bulunmuştur.
- CO₂ emisyonu ise CO ve HC emisyonlarının aksine tam yanma sonucunda oluşan emisyon türü olduğundan dolayı beklenildiği gibi D70B30BO20 yakıtı bütün motor yüklerinde en yüksek emisyon değerlerine sahiptir ve motor yükü ile birlikte doğrusal bir şekilde artış göstermektedir. NO_x emisyonu da CO₂ emisyonu gibi tam yanma sonucu ortaya çıkan bir emisyon türü olduğundan dolayı D70B30BO20 yakıtı bütün motor yüklerinde en yüksek emisyon

değerine sahiptir ve motor yükü artıkça doğrusal bir şekilde NO_x emisyonu da artış göstermektedir.

- Ekserji verimi bakımından bütün yakıtlar incelendiğinde hemen hemen bütün motor yüklerinde D70B30BO20 yakıtının en yüksek verime sahip olduğu görülmektedir. Motor yükleri karşılaştırıldığında ise 2500 W motor yükünde D70B30BO20 yakıtı %34,42 ekserji verimi ile en yüksek değere sahiptir. Ekserji analizinin en önemli unsuru olan ekserji yıkımı açısından incelendiğinde 2500 W motor yükünde D70B30BO20 yakıtı 3,86 kW değeri ile en düşük değere sahip olduğu bulunmuştur.
- Gerçekleştirilen deneyler ve yapılan hesaplamalar sonucunda emisyon ve ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir. Çok fazla açıdan inceleme yapıldığından dolayı optimizasyon yapılarak optimum emisyon ve optimum ekserji verimi değerlerine sahip olabilecek yakıt ve koşullar bulunmuştur. Optimizasyon gerçekleştirilirken Çizelge 5.4'teki şartlar belirlenmiş olup bu şartlara uygun nano parçacık miktarı ile motor yükü tespit edilmiştir. D70B30 yakıtına 10 ppm nano parçacık miktarı eklenerek 1250 W motor yükünde en optimum şartlar elde edileceği görülmüş olup çalışmanın üçüncü aşamasında bu şartlar altında deneyler gerçekleştirilmiş ve RSM ile optimizasyon doğrulanmıştır.

Gerçekleştirilen bu çalışmada kullanılan parametreler dışında farklı motor değişkenlerinde ve farklı nano parçacık boyutlarında deneyler yapılması önerilmektedir. Farklı nano parçacık boyutlarında yapılacak olan çalışmada yakıt içerisine nano parçacık ilavesinin emisyonlar ve ekserji üzerine etkisi derinlemesine irdelenebilecektir. Ayrıca farklı motor değişkenlerinde gerçekleştirilecek çalışmada elde edilen yakıtların gerçek hayatta kullanımı görülebilecektir.

KAYNAKLAR

1. Uslu, S., "Buji Ateşlemeli Motorlarda Amil Alkol Kullanımının Deneysel ve Yapay Sinir Ağlarıyla İncelenmesi", Doktora Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, (2018).
2. Kampa, M. ve Castanas, E., "Human health effects of air pollution", **Environmental Pollution**, 151 (2): 362–367 (2008).
3. Liu, H., Ma, X., Li, B., Chen, L., Wang, Z., ve Wang, J., "Combustion and emission characteristics of a direct injection diesel engine fueled with biodiesel and PODE/biodiesel fuel blends", **Fuel**, 209: 62–68 (2017).
4. Kathirvelu, B., Subramanian, S., Govindan, N., ve Santhanam, S., "Emission characteristics of biodiesel obtained from jatropha seeds and fish wastes in a diesel engine", **Sustainable Environment Research**, 27 (6): 283–290 (2017).
5. Behçet, R., Oktay, H., Çakmak, A., ve Aydın, H., "Comparison of exhaust emissions of biodiesel-diesel fuel blends produced from animal fats", **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, 46: 157–165 (2015).
6. Zhang, Y., Dubé, M. A., McLean, D. D., ve Kates, M., "Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment", **Bioresource Technology**, 89 (1): 1–16 (2003).
7. Ramadhas, A. S., Jayaraj, S., ve Muraleedharan, C., "Biodiesel production from high FFA rubber seed oil", **Fuel**, 84 (4): 335–340 (2005).
8. Kusdiana, D. ve Saka, S., "Effects of water on biodiesel fuel production by supercritical methanol treatment", **Bioresource Technology**, 91 (3): 289–295 (2004).
9. Corrêa, S. M. ve Arbilla, G., "Aromatic hydrocarbons emissions in diesel and biodiesel exhaust", **Atmospheric Environment**, 40 (35): 6821–6826 (2006).
10. Ghobadian, B., Rahimi, H., Nikbakht, A. M., Najafi, G., ve Yusaf, T. F., "Diesel engine performance and exhaust emission analysis using waste cooking biodiesel fuel with an artificial neural network", **Renewable Energy**, 34 (4): 976–982 (2009).
11. Chauhan, B. S., Kumar, N., ve Cho, H. M., "A study on the performance and emission of a diesel engine fueled with Jatropha biodiesel oil and its blends", **Energy**, 37 (1): 616–622 (2012).
12. Barabás, I., Todoru, A., ve Bldean, D., "Performance and emission characteristics of an CI engine fueled with diesel-biodiesel-bioethanol blends",

- Fuel*, 89 (12): 3827–3832 (2010).
13. Hoseini, S. S., Najafi, G., Ghobadian, B., Mamat, R., Sidik, N. A. C., ve Azmi, W. H., "The effect of combustion management on diesel engine emissions fueled with biodiesel-diesel blends", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 73 (December 2016): 307–331 (2017).
 14. Huang, J., Wang, Y., Qin, J., ve Roskilly, A. P., "Comparative study of performance and emissions of a diesel engine using Chinese pistache and jatropha biodiesel", *Fuel Processing Technology*, 91 (11): 1761–1767 (2010).
 15. Behçet, R., "Performance and emission study of waste anchovy fish biodiesel in a diesel engine", *Fuel Processing Technology*, 92 (6): 1187–1194 (2011).
 16. Kumara, R. ve Singhb, M., "Experimental investigation of performance and emission characteristics of DI CI engine with dual biodiesel blends of mexicana argemone and mahua", *Materials Today: Proceedings*, 16: 321–328 (2019).
 17. Singh, M. ve Sandhu, S. S., "Performance, emission and combustion characteristics of multi-cylinder CRDI engine fueled with argemone biodiesel/diesel blends", *Fuel*, 265 (January): 117024 (2020).
 18. Nantha Gopal, K. ve Thundil Karupparaj, R., "Effect of pongamia biodiesel on emission and combustion characteristics of di compression ignition engine", *Ain Shams Engineering Journal*, 6 (1): 297–305 (2015).
 19. Vinodraj, S., Arularasan, R., Karthikeyan, D., Sethuraman, N., ve Suryavarman, K., "Impact of non-edible biodiesel (Juliflora oil seed) on CI engine – Combustion, performance and emission features", *Materials Today: Proceedings*, (xxxx): (2023).
 20. Senthil, M., Govindaraj, M., Boopathi, J., Elamvazuthi, A., Silambarasan, R., ve Manideep, B., "Experimental investigation on the impact of NOx emission in CI engine fueled with rapeseed biodiesel with antioxidant additives", *Materials Today: Proceedings*, (x): (2023).
 21. Rajendran, S., "Effect of antioxidant additives on oxides of nitrogen (NOx) emission reduction from Annona biodiesel operated diesel engine", *Renewable Energy*, 148 (x): 1321–1326 (2020).
 22. Rashed, M. M., Kalam, M. A., Masjuki, H. H., Habibullah, M., Imdadul, H. K., Shahin, M. M., ve Rahman, M. M., "Improving oxidation stability and NOX reduction of biodiesel blends using aromatic and synthetic antioxidant in a light duty diesel engine", *Industrial Crops And Products*, 89: 273–284 (2016).
 23. Mirhashemi, F. S. ve Sadrnia, H., "NOX emissions of compression ignition engines fueled with various biodiesel blends: A review", *Journal Of The Energy Institute*, 93 (1): 129–151 (2020).
 24. Prabu, A., "Nanoparticles as additive in biodiesel on the working characteristics of a DI diesel engine", *Ain Shams Engineering Journal*, 9 (4): 2343–2349

(2018).

25. Wu, Q., Xie, X., Wang, Y., ve Roskilly, T., "Effect of carbon coated aluminum nanoparticles as additive to biodiesel-diesel blends on performance and emission characteristics of diesel engine", *Applied Energy*, 221 (December 2017): 597–604 (2018).
26. Venu, H. ve Madhavan, V., "Effect of Al₂O₃ nanoparticles in biodiesel-diesel-ethanol blends at various injection strategies: Performance, combustion and emission characteristics", *Fuel*, 186: 176–189 (2016).
27. Hoseini, S. S., Najafi, G., Ghobadian, B., Ebadi, M. T., Mamat, R., ve Yusaf, T., "Performance and emission characteristics of a CI engine using graphene oxide (GO) nano-particles additives in biodiesel-diesel blends", *Renewable Energy*, 145: 458–465 (2020).
28. Perumal, V. ve Ilangkumaran, M., "The influence of copper oxide nano particle added pongamia methyl ester biodiesel on the performance, combustion and emission of a diesel engine", *Fuel*, 232 (January 2017): 791–802 (2018).
29. Tesfaye Lamore, M., Seyoum Zeleke, D., ve Yitayew Kassa, B., "A comparative study on the effect of nano-additives on performance and emission characteristics of CI engine run on castor biodiesel blended fuel", *Energy Conversion And Management: X*, 20: 100493 (2023).
30. Utlu, Z. ve Koçak, M. S., "The effect of biodiesel fuel obtained from waste frying oil on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions", *Renewable Energy*, 33 (8): 1936–1941 (2008).
31. Hemanandh, J., Ganesan, S., Hemanandh, S., Venkatesan, S. P., Senthil Kumar, J., Velkumar, ve Shanjit, "Environmental impact of the waste fish fry oil in DI diesel engine", *Materials Today: Proceedings*, (xxxx): (2021).
32. Sanli, H., Canakci, M., Alptekin, E., Turkcan, A., ve Ozsezen, A. N., "Effects of waste frying oil based methyl and ethyl ester biodiesel fuels on the performance, combustion and emission characteristics of a di diesel engine", *Fuel*, 159: 179–187 (2015).
33. Lourenço, A. B. ve Carvalho, M., "Exergoeconomic and exergoenvironmental analyses of an off-grid reverse osmosis system with internal combustion engine and waste heat recovery", *Chemical Engineering Journal Advances*, 4 (October): 100056 (2020).
34. Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Khalife, E., Roodbar Shojaei, T., ve Dadak, A., "Exergoeconomic analysis of a DI diesel engine fueled with diesel/biodiesel (B5) emulsions containing aqueous nano cerium oxide", *Energy*, 149 (x): 967–978 (2018).
35. Karagoz, M., Uysal, C., Agbulut, U., ve Saridemir, S., "Exergetic and exergoeconomic analyses of a CI engine fueled with diesel-biodiesel blends containing various metal-oxide nanoparticles", *Energy*, 214: 118830 (2021).

36. Manimaran, R., Mohanraj, T., ve Ashwin, R., "Green synthesized nano-additive dosed biodiesel-diesel-water emulsion blends for CI engine application: Performance, combustion, emission, and exergy analysis", *Journal Of Cleaner Production*, 413: 137497 (2023).
37. Ağbulut, Ü., "Understanding the role of nanoparticle size on energy, exergy, thermoeconomic, exergoeconomic, and sustainability analyses of an IC engine: A thermodynamic approach", *Fuel Processing Technology*, 225: (2022).
38. Simsek, S. ve Uslu, S., "Investigation of the effects of biodiesel/2-ethylhexyl nitrate (EHN) fuel blends on diesel engine performance and emissions by response surface methodology (RSM)", *Fuel*, 275: 118005 (2020).
39. Uslu, S., Simsek, S., ve Simsek, H., "RSM modeling of different amounts of nano-TiO₂ supplementation to a diesel engine running with hemp seed oil biodiesel/diesel fuel blends", *Energy*, 266: 126439 (2023).
40. Kumar, S. ve Goga, G., "Emission characteristics & performance analysis of a diesel engine fuelled with various alternative fuels – a review", *Materials Today: Proceedings*, (2023).
41. Zhang, Y., Gao, S., Zhang, Z., Li, W., Yuan, T., Tan, D., Duan, L., ve Yang, G., "A comprehensive review on combustion, performance and emission aspects of higher alcohols and its additive effect on the diesel engine", *Fuel*, 335: 127011 (2023).
42. Erdiwansyah, Mamat, R., Sani, M. S. M., Sudhakar, K., Kadarohman, A., ve Sardjono, R. E., "An overview of Higher alcohol and biodiesel as alternative fuels in engines", *Energy Reports*, 5: 467–479 (2019).
43. Gwalwanshi, M., Kumar, R., ve Kumar Chauhan, M., "A review on butanol properties, production and its application in internal combustion engines", *Materials Today: Proceedings*, 62: 6573–6577 (2022).
44. Hua, Y., "Research progress of higher alcohols as alternative fuels for compression ignition engines", *Fuel*, 357: 129749 (2024).
45. Gupta, S. K. ve Anand, K., "Experimental investigations to reduce unburned emissions in reactivity controlled compression ignition through fuel modifications", *Applied Thermal Engineering*, 146: 622–634 (2019).
46. Jayakumar, M., Gindaba, G. T., Gebeyehu, K. B., Periyasamy, S., Jabesa, A., Baskar, G., John, B. I., ve Pugazhendhi, A., "Bioethanol production from agricultural residues as lignocellulosic biomass feedstock's waste valorization approach: A comprehensive review", *Science Of The Total Environment*, 879: 163158 (2023).
47. Masum, B. M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Rizwanul Fattah, I. M., Palash, S. M., ve Abedin, M. J., "Effect of ethanol–gasoline blend on NO_x emission in SI engine", *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 24: 209–222 (2013).

48. Balat, M., Balat, H., ve Öz, C., "Progress in bioethanol processing", *Progress In Energy And Combustion Science*, 34 (5): 551–573 (2008).
49. Manzetti, S. ve Andersen, O., "A review of emission products from bioethanol and its blends with gasoline. Background for new guidelines for emission control", *Fuel*, 140: 293–301 (2015).
50. Yilmaz, N., Vigil, F. M., Burl Donaldson, A., ve Darabseh, T., "Investigation of CI engine emissions in biodiesel–ethanol–diesel blends as a function of ethanol concentration", *Fuel*, 115: 790–793 (2014).
51. Zhu, L., Cheung, C. S., Zhang, W. G., ve Huang, Z., "Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fueled with ethanol–biodiesel blends", *Fuel*, 90 (5): 1743–1750 (2011).
52. Labeckas, G., Slavinskas, S., ve Mažeika, M., "The effect of ethanol–diesel–biodiesel blends on combustion, performance and emissions of a direct injection diesel engine", *Energy Conversion And Management*, 79: 698–720 (2014).
53. Su, J., Zhu, H., ve Bohac, S. V., "Particulate matter emission comparison from conventional and premixed low temperature combustion with diesel, biodiesel and biodiesel–ethanol fuels", *Fuel*, 113: 221–227 (2013).
54. Speight, J. G., "Chapter 5 - History of Gas Processing", Natural Gas, *Gulf Publishing Company*, 113–130 (2007).
55. Selim, M. Y. E., Radwan, M. S., ve Saleh, H. E., "Improving the performance of dual fuel engines running on natural gas/LPG by using pilot fuel derived from jojoba seeds", *Renewable Energy*, 33 (6): 1173–1185 (2008).
56. Fritz, S. G. ve Egbonu, R. I., "Emissions from Heavy-Duty Trucks Converted to Compressed Natural Gas", *SAE Transactions*, 102: 538–552 (1993).
57. Papagiannakis, R. G. ve Hountalas, D. T., "Experimental investigation concerning the effect of natural gas percentage on performance and emissions of a DI dual fuel diesel engine", *Applied Thermal Engineering*, 23 (3): 353–365 (2003).
58. Papagiannakis, R. G., Rakopoulos, C. D., Hountalas, D. T., ve Rakopoulos, D. C., "Emission characteristics of high speed, dual fuel, compression ignition engine operating in a wide range of natural gas/diesel fuel proportions", *Fuel*, 89 (7): 1397–1406 (2010).
59. Özer, S. ve Vural, E., "Pilot Yakıt Olarak Dizel / n -Heptan , Dizel / Toluen Kullanan Dizel Bir Motorda CNG İlavesinin Etkileri Effects of CNG addition in a diesel engine using diesel / n-heptane , diesel / toluene as pilot fuel", 6 (1): 1–15 (2020).
60. Khalilarya, S., Jafarmadar, S., Fathi, V., ve Nemat, A., "Influence of initial charge conditions on engine performance and emission of a DISI hydrogen-fueled engine under various injection timings", *Turkish Journal Of*

Engineering And Environmental Sciences, 35 (3): 159–171 (2011).

61. Acaroğlu, P. M., "Alternatif Enerji Kaynakları", *Nobel Yayın Dağıtım*, İstanbul, (2007).
62. Chen, Y., Alizadeh, A., Abed, A. M., Nasajpour-Esfahani, N., Smaisim, G. F., Hadrawi, S. K., Zekri, H., Sabetvand, R., ve Toghraie, D., "The combustion process of methyl ester-biodiesel in the presence of different nanoparticles: A molecular dynamics approach", *Journal Of Molecular Liquids*, 373: 121232 (2023).
63. Hossain, A. K. ve Davies, P. A., "Plant oils as fuels for compression ignition engines: A technical review and life-cycle analysis", *Renewable Energy*, 35 (1): 1–13 (2010).
64. Agarwal, D., Kumar, L., ve Agarwal, A. K., "Performance evaluation of a vegetable oil fuelled compression ignition engine", *Renewable Energy*, 33 (6): 1147–1156 (2008).
65. Kumar, S., Yadav, K., ve Dwivedi, G., "Impact analysis of Oxidation Stability for Biodiesel & its Blends", *Materials Today: Proceedings*, 5 (9, Part 3): 19255–19261 (2018).
66. Singh Rajpoot, A., Choudhary, T., Chelladurai, H., Rajak, U., ve Kumar Sahu, M., "Comparison of the effect of CeO₂ and CuO₂ nanoparticles on performance and emission of a diesel engine fueled with Neochloris oleoabundans algae biodiesel", *Materials Today: Proceedings*, (2023).
67. Simhadri, K., Rao, P. S., ve Paswan, M., "Improving the combustion and emission performance of a diesel engine with TiO₂ nanoparticle blended Mahua biodiesel at different injection pressures", *International Journal Of Thermofluids*, 21: 100563 (2024).
68. Prajapati, P., Raja, B. D., Savaliya, H., Patel, V., ve Jouhara, H., "Thermodynamic evaluation of shell and tube heat exchanger through advanced exergy analysis", *Energy*, 292: 130421 (2024).
69. Dincer, I. ve Rosen, M. A., "Chapter 2 - Energy and Exergy Assessments", *Exergy Analysis of Heating, Refrigerating and Air Conditioning*, Elsevier, Boston, 43–97 (2015).
70. Sala Lizarraga, J. M. P. ve Picallo-Perez, A., "2 - Quality of energy and exergy", *Exergy Analysis and Thermoeconomics of Buildings*, Butterworth-Heinemann, 67–182 (2020).
71. Galal, M., Abd El-Maksoud, R., ve Bayomi, N. N., "Exergy analysis of a steam power station in a sulfuric acid plant", *Case Studies In Thermal Engineering*, 53: 103937 (2024).
72. Zhang, Z., Tian, Z., ve Ma, X., "Dynamic exergy analysis of feed water heater in nuclear power plant during start-up process", *Energy*, 292: 130499 (2024).

73. Zhao, Y., Li, W., Zhao, X., Wang, Y., Luo, D., Li, Y., ve Ge, M., "Energy and exergy analysis of a thermoelectric generator system for automotive exhaust waste heat recovery", *Applied Thermal Engineering*, 239: 122180 (2024).
74. Mehrjouee, H., Fallah, M., ve Mohammad S. Mahmoudi, S., "Advanced exergy analysis of a double absorption heat transformer recovering industrial waste heat for pure water production", *Thermal Science And Engineering Progress*, 47: 102242 (2024).
75. Wang, Z., Fan, M., He, G., Zhang, Z., ve Yang, W., "Investigation of improvement potential of a double-efficient CO₂ cooling and heating system using an ejector with advanced exergy analysis", *Applied Thermal Engineering*, 236: 121704 (2024).
76. Rajpoot, A. S., Chelladurai, H., Choudhary, A. K., Ambade, B., ve Choudhary, T., "Thermal and environmental assessment of Botryococcus braunii green biodiesel with nanoparticles using energy-exergy-emission-sustainability (3ES) analysis in a diesel engine", *Sustainable Energy Technologies And Assessments*, 60: 103473 (2023).
77. Bejan, A., Tsatsaronis, G., ve Moran, M. J., "Thermal design and optimization", *John Wiley & Sons*, (1995).
78. Kaltakkıran, G. ve Ceviz, M. A., "The performance improvement of direct injection engines in cold start conditions integrating with phase change material: Energy and exergy analysis", *Journal Of Energy Storage*, 42 (April): 102895 (2021).
79. Waqas, S., Harun, N. Y., Arshad, U., Laziz, A. M., Sow Mun, S. L., Bilad, M. R., Nordin, N. A. H., ve Alsaadi, A. S., "Optimization of operational parameters using RSM, ANN, and SVM in membrane integrated with rotating biological contactor", *Chemosphere*, 349: 140830 (2024).
80. Arshad, U., Taqvi, S. A. A., ve Buang, A., "Modelling of the minimum ignition temperature (MIT) of corn dust using statistical analysis and artificial neural networks based on the synergistic effect of concentration and dispersion pressure", *Process Safety And Environmental Protection*, 147: 742–755 (2021).
81. Mehrani, M.-J., Azari, M., Teichgräber, B., Jagemann, P., Schoth, J., Denecke, M., ve Mağinia, J., "Performance evaluation and model-based optimization of the mainstream deammonification in an integrated fixed-film activated sludge reactor", *Bioresource Technology*, 351: 126942 (2022).
82. Uslu, S., "Optimization of diesel engine operating parameters fueled with palm oil-diesel blend: Comparative evaluation between response surface methodology (RSM) and artificial neural network (ANN)", *Fuel*, 276: 117990 (2020).
83. Doğan, O., Çelik, M. B., ve Özdalyan, B., "The effect of tire derived fuel/diesel fuel blends utilization on diesel engine performance and emissions", *Fuel*, 95: 84

340–346 (2012).

84. Karagöz, M., "Investigation of performance and emission characteristics of an CI engine fuelled with diesel – waste tire oil – butanol blends", *Fuel*, 282: 118872 (2020).
85. Kumar, S., Prakash, R., Murugan, S., ve Singh, R. K., "Performance and emission analysis of blends of waste plastic oil obtained by catalytic pyrolysis of waste HDPE with diesel in a CI engine", *Energy Conversion And Management*, 74: 323–331 (2013).
86. Vihar, R., Seljak, T., Rodman Oprešnik, S., ve Katrašnik, T., "Combustion characteristics of tire pyrolysis oil in turbo charged compression ignition engine", *Fuel*, 150: 226–235 (2015).
87. Choi, C. Y., Bower, G. R., ve Reitz, R. D., "Effects of Biodiesel Blended Fuels and Multiple Injections on D. I. Diesel Engines", *SAE Transactions*, 106: 388–407 (1997).
88. Berlin Selva Rex, C. R., Edwin Selva Rex, C. R., Shiny, S., ve Annrose, J., "Power performance and emissions analysis of outboard diesel engines by use of waste cooking oil biodiesel", *Materials Today: Proceedings*, (2023).
89. Bayramoğlu, K. ve Nuran, M., "Energy, exergy, sustainability evaluation of the usage of pyrolytic oil and conventional fuels in diesel engines", *Process Safety And Environmental Protection*, 181: 324–333 (2024).
90. Durairaj, R. B., George, A., ve Kaushik, S. G., "Performance and emission characteristics of Waste cooking oil biodiesel blended with nano additives on single cylinder diesel engine", *Materials Today: Proceedings*, (2023).
91. Musthafa, M. M., "Development of performance and emission characteristics on coated diesel engine fuelled by biodiesel with cetane number enhancing additive", *Energy*, 134: 234–239 (2017).
92. Sürer, E., Solmaz, H., Yılmaz, E., Calam, A., ve İpci, D., "Dizel-biyodizel karışımına karbon nanotüp katkısının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin incelenmesi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38 (2): 1055–1064 (2022).
93. Payri, F., Bermúdez, V. R., Tormos, B., ve Linares, W. G., "Hydrocarbon emissions speciation in diesel and biodiesel exhausts", *Atmospheric Environment*, 43 (6): 1273–1279 (2009).
94. Reşitoğlu, İ. A., Altinişik, K., ve Keskin, A., "The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems", *Clean Technologies And Environmental Policy*, 17 (1): 15–27 (2015).
95. Babu, D. ve Anand, R., "Effect of biodiesel-diesel-n-pentanol and biodiesel-diesel-n-hexanol blends on diesel engine emission and combustion characteristics", *Energy*, 133: 761–776 (2017).

96. Amid, S., Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Hajiahmad, A., Najafi, B., Ghaziaskar, H. S., Rastegari, H., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., ve Mohammadi, P., "Effects of waste-derived ethylene glycol diacetate as a novel oxygenated additive on performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with diesel/biodiesel blends", *Energy Conversion And Management*, 203: 112245 (2020).
97. Shirneshan, A., "HC, CO, CO₂ and NO_x Emission Evaluation of a Diesel Engine Fueled with Waste Frying Oil Methyl Ester", *Procedia - Social And Behavioral Sciences*, 75: 292–297 (2013).
98. Datta, A. ve Mandal, B. K., "Impact of alcohol addition to diesel on the performance combustion and emissions of a compression ignition engine", *Applied Thermal Engineering*, 98: 670–682 (2016).
99. Zareh, P., Zare, A. A., ve Ghobadian, B., "Comparative assessment of performance and emission characteristics of castor, coconut and waste cooking based biodiesel as fuel in a diesel engine", *Energy*, 139: 883–894 (2017).
100. Uslu, S. ve Celik, M., "Response surface methodology-based optimization of the amount of cerium dioxide (CeO₂) to increase the performance and reduce emissions of a diesel engine fueled by cerium dioxide/diesel blends", *Energy*, 266: 126403 (2023).
101. Auti, S. M. ve Rathod, W. S., "Effect of hybrid blends of raw tyre pyrolysis oil, karanja biodiesel and diesel fuel on single cylinder four stokes diesel engine", *Energy Reports*, 7: 2214–2220 (2021).
102. Uyumaz, A., Aydoğan, B., Solmaz, H., Yılmaz, E., Yeşim Hopa, D., Aksoy Bahtli, T., Solmaz, Ö., ve Aksoy, F., "Production of waste tyre oil and experimental investigation on combustion, engine performance and exhaust emissions", *Journal Of The Energy Institute*, 92 (5): 1406–1418 (2019).
103. Ghanbari, M., Mozafari-Vanani, L., Dehghani-Soufi, M., ve Jahanbakhshi, A., "Effect of alumina nanoparticles as additive with diesel–biodiesel blends on performance and emission characteristic of a six-cylinder diesel engine using response surface methodology (RSM)", *Energy Conversion And Management: X*, 11: 100091 (2021).
104. Abdalla, A. N., Tao, H., Bagaber, S. A., Ali, O. M., Kamil, M., Ma, X., ve Awad, O. I., "Prediction of emissions and performance of a gasoline engine running with fusel oil–gasoline blends using response surface methodology", *Fuel*, 253: 1–14 (2019).
105. Patel, H., Rajai, V., Das, P., Charola, S., Mudgal, A., ve Maiti, S., "Study of Jatropha curcas shell bio-oil-diesel blend in VCR CI engine using RSM", *Renewable Energy*, 122: 310–322 (2018).

ÖZGEÇMİŞ

Gürşah GÜRÜF ilk ve ortaokul öğrenimini İstanbul'da ve Lise öğrenimini Tokat'ta tamamladı. 2011 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde lisans eğitime başladı. 2016 yılında aynı üniversitede yüksek lisans eğitime başladı. Yüksek lisans eğitime devam ederken 2019 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaya başladı. Aynı yıl Yüksek Lisans Eğitimi tamamlayarak Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Doktora Eğitime başladı.