



**SETAN GELİŞTİRİCİ KATKILI DİZEL/ KENEVİR
YAĞI YAKIT KARIŞIMLARININ DİZEL MOTOR
PERFORMANS VE EMİSYON ETKİLERİNİN
ARAŞTIRILMASI VE OPTİMİZASYONU**

**2024
DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Mustafa Oğuz Kaan BAYLAK

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin AKAY**

**SETAN GELİŞTİRİCİ KATKILI DİZEL/ KENEVİR YAĞI YAKIT
KARIŞIMLARININ DİZEL MOTOR PERFORMANS VE EMİSYON
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE OPTİMİZASYONU**

Mustafa OĞuz Kaan BAYLAK

**Tez Danışmanı
Dr. OĞr. Üyesi Mehmet Emin AKAY**

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

**KARABÜK
Kasım 2024**

Mustafa Oğuz Kaan BAYLAK tarafından hazırlanan “SETAN GELİŞTİRİCİ KATKILI DİZEL/ KENEVİR YAĞI YAKIT KARIŞIMLARININ DİZEL MOTOR PERFORMANS VE EMİSYON ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE OPTİMİZASYONU” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin AKAY

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 27/11/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Bahattin ÇELİK (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin AKAY (KBÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Samet USLU (KBÜ)

.....

Üye : Prof. Dr. Murat ÇETİN (EBYÜ)

.....

Üye : Doç. Dr. Battal DOĞAN (GÜ)

.....

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.”

Mustafa Oğuz Kaan BAYLAK

ÖZET

Doktora Tezi

SETAN GELİŞTİRİCİ KATKILI DİZEL/ KENEVİR YAĞI YAKIT KARIŞIMLARININ DİZEL MOTOR PERFORMANS VE EMİSYON ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE OPTİMİZASYONU

Mustafa Oğuz Kaan BAYLAK

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin AKAY

Kasım 2024, 80 sayfa

Fosil yakıtların içten yanmalı motorlu taşıtlarda kullanımının son yıllarda artması nedeniyle oluşan yüksek egzoz emisyonları alternatif yakıt arayışlarını hızlandırmıştır. Kullanılabilecek alternatif yakıtların birçoğunda dizel motorlar üzerinde revizyonlar yapılması gerekmektedir. Bu nedenle, biyodizel yakıtlar ve yakıt karışımları ile yapılan birçok çalışmada dizel motorlarda revizyon yapılmadan alternatif yakıtlar kullanılmış, oluşan olumsuzlukların giderilmesi ve motor performansının artırılması ise yakıt katkı maddeleri ile sağlanmıştır.

Bu çalışmada kenevir tohumu yağı (sabit %5), üç farklı oranlarda setan artırıcı yakıt katkısı 2-EHN (%10, %12,5 ve %15) ve üç farklı oranlarda dizel yakıt (%85, %82,5 ve %80) ile yakıt karışımları elde edilmiştir. Oluşturulan yakıt karışımları ve saf dizel (%100 dizel) yakıtı, tek silindirli dizel motorda test edilerek fren özgül yakıt tüketimi

(FÖYT) ve egzoz emisyonları açısından incelenmiştir. Bu çalışmada ayrıca fren özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonları için optimum 2-EHN oranı ve motor yükü, yanıt yüzey yöntemi (RSM) vasıtası ile belirlenmiştir. Deneyleerde elde edilen sonuçlara göre kenevir tohumu yağının ve 2-EHN yakıt katkısının emisyon değerleri açısından en iyi sonuçları verdiği görülmüştür.

Emisyonlar açısından sonuçlar incelendiğinde, D100 yakıtına kıyasla genel olarak üç yakıt karışımı için düşük emisyon sonuçları elde edilmiştir. Yakıt karışımlarından D82.5K5E12.5 yakıtı; karbon monoksit (CO) oranında %27 azalma, hidrokarbon (HC) oranında %47 azalma ve karbondioksit (CO₂) oranında %2,2 azalma elde edilmiştir. Oksijen (O₂) oranı tüm yakıt karışımında %0,1-0,2 düşüş göstermiştir. Ancak azot oksit (NO_x) oranı D82.5K5E12.5 karışımında %30 ile diğer karışımlara göre daha fazla artış göstermiştir.

Bu çalışma da ikinci aşamada RSM ile optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerin sonuçları ışığında, emisyonlar ve fren özgül yakıt tüketimi RSM ile analiz edilmiş, korelasyon denklemleri oluşturulmuş ve bu denklemler aracılığıyla optimum parametreler tespit edilmiştir. RSM ile FÖYT ve diğer tüm emisyon değerlerinin minimum olması için optimizasyon yapılmıştır. Yapılan optimizasyon sonucunda yapılan yakıt karışımlarında, 2-EHN miktarının %6 artırılması ve 1.500 W motor yükünde emisyonlar için optimum sonuçları vereceği bulunmuştur. Daha sonra optimizasyon sonuçları doğrulanmış ve ortalama %2,78 bağıl hata ile optimizasyonun başarılı olduğu belirlenmiştir.

Bu çalışma ile kenevir tohumu yağı, 2-EHN setan artırıcı ile dizel yakıt karışımının emisyonlar açısından iyi bir alternatif yakıt olabileceği görülmektedir. Birçok parametre ile yakıtların incelenmesi gerektiğinden RSM'nin uygun bir yöntem olduğu doğrulama deneyi ile görülmüştür.

Anahtar Sözcükler : Kenevir tohumu yağı, 2-EHN Biyodizel, Emisyonlar, Motor performansı.

Bilim Kodu : 91413

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

INVESTIGATION AND OPTIMIZATION OF DIESEL ENGINE PERFORMANCE AND EMISSION EFFECTS OF DIESEL/HEMP OIL FUEL BLENDS WITH CETANE IMPROVER ADDITIVES

Mustafa Oğuz Kaan BAYLAK

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

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Mehmet Emin AKAY

November 2024, 80 pages

The high exhaust emissions caused by the increase in the use of fossil fuels in internal combustion engine vehicles in recent years have accelerated the search for alternative fuels. Many of the alternative fuels that can be used require revisions on diesel engines. In many studies conducted with biodiesel fuels and fuel mixtures, the mentioned fuels were used without revision in diesel engines, and the elimination of the resulting negativities and the increase in engine performance were made with fuel additives. In this study, fuel mixtures were obtained with hemp seed oil (fixed 5%), three different rates of cetane enhancing fuel additive 2-EHN (10%, 12.5% and 15%) and three different rates of diesel fuel (85%, 82.5% and 80%). The fuel mixtures and pure diesel (100%) fuel were tested in a single-cylinder diesel engine and examined in terms of brake specific fuel consumption (FÖYT) and exhaust emissions. In this study, the opti

imum 2-EHN ratio and engine load for brake specific fuel consumption and exhaust emissions were determined by the response surface method (RSM). According to the results obtained in the experiments, it was seen that hemp seed oil and 2-EHN fuel additive gave the best results in terms of emission values.

In terms of emissions, low emission results were generally obtained for the three fuel mixtures compared to D100 fuel. D82.5K5E12.5 fuel from the fuel mixtures; 27% reduction in carbon monoxide (CO), 47% reduction in hydrocarbon (HC) and 2.2% reduction in carbon dioxide (CO₂) was obtained. Oxygen (O₂) ratio decreased by 0.1-0.2% in all fuel mixtures. However, nitrogen oxide (NO_x) ratio increased by 30% in D82.5K5E12.5 mixture compared to other mixtures.

In this study, optimization was performed with RSM in the second stage. Considering the experiments, emissions and brake specific fuel consumption were analyzed with RSM, correlation equations were created and optimum parameters were determined through these equations. Optimization was performed with RSM to minimize FÖYT and all other emission values. As a result of the optimization, it was found that increasing the amount of 2-EHN by 6% and at 1500 W engine load would provide optimum results for emissions in the fuel mixtures. Later, the optimization results were verified and it was determined that the optimization was successful with an average relative error of 2.78%.

As a result of this study, it is seen that the mixture of hemp seed oil, 2-EHN cetane enhancer and diesel fuel can be a good alternative fuel in terms of emissions. Since fuels need to be examined with many parameters, it was seen with the verification experiment that RSM is a suitable method.

Key Word : Hemp seed oil, 2EHN, Biodiesel, Emissions, Engine performance.

Science Code : 91413

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, yürütülmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, alıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın Hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Emin AKAY'a candan teşekkürlerimi sunarım.

Deneylerinin yapılmasında ve tüm çalıőmalarımnda yol gösteren ilgi, bilgi, deneyim, yardım ve tecrübelerini esirgemeyen çok değerli Hocam, Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi öğretim üyesi Doç. Dr. Samet USLU'ya ve deneyler esnasında desteğini esirgemeyen Dr. Gürőah GÜRUF'a teşekkür ediyorum.

Sevgili eőime gösterdiği sabır ve destek için, canım oğullarıma, anneme ve babama manevi olarak her zaman yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	5
LİTERATÜR TARAMASI.....	5
BÖLÜM 3	15
3.1. DİZEL MOTOR İÇİN ALTERNATİF YAKITLAR.....	15
3.1.1. Biyodizel.....	16
3.1.1.1. Kenevir Yağı Biyodizeli	18
3.1.1.2. Diğer Bitkisel Tabanlı Biyodizeller	18
3.1.2. Alkoller	19
3.1.3. Hidrojen.....	20
3.1.4. Doğalgaz (CNG)	21
3.1.5. Biyoetanol	22
3.2. DİZEL MOTORLARDA YAKIT KATKILARI.....	22
BÖLÜM 4	25
MALZEMELER VE YÖNTEMLER	25

4.1. DENEY YAKITLARININ HAZIRLANMASI	25
4.2. DENEY DÜZENEGİ VE DENEYLER.....	29
4.2.2. Yükleme Ünitesi	32
4.2.3. Egzoz Emisyonlarının Ölçümü.....	32
4.2.4. Yakıt Tüketiminin Ölçülmesi	34
4.2.5. Belirsizlik Analizi	35
4.3. YANIT YÜZEY YÖNTEMİ (RSM) İLE OPTİMİZASYON	36
BÖLÜM 5	39
BULGULAR VE TARTIŞMA	39
5.1. FREN ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMİ (FÖYT)	40
5.1.1. Yakıt Karışımı FÖYT Değişimi	40
5.1.2. Motor Yüğü İçin Deneş Yakıtları Föyt Değişimi.....	40
5.1.3. Yüğe Göre Genel FÖYT Değişimi	41
5.2. CO EMİSYONLARI.....	42
5.2.1. Yakıt Karışımı CO Emisyonu Değişimi	42
5.2.2. Motor Yüğü İçin Deneş Yakıtları CO (%) Değişimi	42
5.2.3. Motor Yüğü İçin Deneş Yakıtları Genel CO (%) Değişimi.....	43
5.3. HC EMİSYONLARI.....	44
5.3.1. Yakıt Karışımı HC Emisyonu Değişimi	45
5.3.2. Motor Yüğü İçin Deneş Yakıtları HC (ppm) Değişimi	45
5.3.3. Motor Yüğü İçin Deneş Yakıtları Genel HC (ppm) Değişimi.....	45
5.4. CO ₂ EMİSYONLARI.....	47
5.4.1. Yakıt Karışımı CO ₂ Emisyonu Değişimi.....	47
5.4.2. Motor Yüğü İçin Deneş Yakıtları CO ₂ (%) Değişimi	47
5.4.3. Motor Yüğü İçin Deneş Yakıtları Genel CO ₂ (%) Değişimi	48
5.5. NO _x EMİSYONLARI.....	49
5.5.1. Yakıt Karışımı NO _x Emisyonu Değişimi	49
5.5.2. Motor Yüğü İçin Deneş Yakıtları NO _x (ppm) Değişimi	49
5.5.3. Motor Yüğü İçin Deneş Yakıtları Genel NO _x (ppm) Değişimi	50
5.6. O ₂ EMİSYONLARI	52
5.6.1. Yakıt Karışımı O ₂ Emisyonu Değişimi	52

	<u>Sayfa</u>
5.6.2. Motor Yüğü İçin Deney Yakıtları O2 (%) Değişimi	52
5.6.3. Motor Yüğü İçin Deney Yakıtları Genel O2 (%) Değişimi	52
5.7. BELİRSİZLİK ANALİZİ.....	54
5.8. YANIT YÜZEY YÖNTEMİ (RSM) İLE OPTİMİZASYON	55
BÖLÜM 6	67
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	80

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 4. 1. Dizel yakıt.....	25
Şekil 4. 2. Kenevir tohumu yağı.....	26
Şekil 4. 3. 2-EHN setan artırıcı yakıt katkısı.	27
Şekil 4. 4. D100 yakıtı, D82.5K5E12.5 ve D90K10 yakıt karışımı.....	27
Şekil 4. 5. Dizel, 2-EHN ve Kenevir Tohumu Yağı yakıt karışımının hazırlanması.	28
Şekil 4. 6. Deney Seti.....	30
Şekil 4. 7. Deneyde kullanılan dizel motor	31
Şekil 4. 8. Elektriksel yük birimi.	32
Şekil 4. 9. Egzoz emisyon cihazı.	33
Şekil 4. 10. Yakıt tüketimi için ölçüm.	35
Şekil 5. 1. Yüke göre FÖYT oranının değişimi.	41
Şekil 5. 2. Yüke göre CO oranının değişimi.	44
Şekil 5. 3. Yüke göre HC oranının değişimi.	46
Şekil 5. 4. Yüke Göre CO ₂ oranının değişimi.....	48
Şekil 5. 5. Yüke göre NO _x değişimi (ppm).	51
Şekil 5. 6. Yüke göre O ₂ değişimi (%).	54
Şekil 5. 7. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde FÖYT çıktısına etkisi.	58
Şekil 5. 8. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde CO çıktısına etkisi.	59
Şekil 5. 9. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde HC çıktısına etkisi.	60
Şekil 5. 10. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde CO ₂ çıktısına etkisi.	61
Şekil 5. 11. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde NO _x çıktısına etkisi.	62
Şekil 5. 12. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde O ₂ çıktısına etkisi.	63
Şekil 5. 13. RSM ile optimizasyon.....	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3. 1. Biyodizelin üretilebileceği tarımsal ürünler ve yağ verimleri.	17
Çizelge 3. 2. Butanol, pentanol ve dizelin temel özellikleri.	19
Çizelge 3. 3. Hidrojen ve dizelin temel özellikleri.....	20
Çizelge 3. 4. Doğalgaz ve dizelin temel özellikleri.	21
Çizelge 4. 1. Yakıt tanımları.	28
Çizelge 4. 2. Yakıtların özellikleri.	29
Çizelge 4. 3. Test motoru özellikleri.....	31
Çizelge 4. 4. Egzoz emisyon ölçüm cihazı özellikleri.	33
Çizelge 4. 5. Egzoz emisyon ölçüm cihazı teknik parametreleri.	34
Çizelge 5. 1. Deneysel sonuçlar.	39
Çizelge 5. 2. Testte kullanılan çeşitli faktörlerin belirsizlikleri.	54
Çizelge 5. 3. Çıktı parametrelerinin girdi parametrelerine göre regresyon eşitlikleri	55
Çizelge 5. 4. Regresyon eşitliklerinin korelasyon katsayıları.	56
Çizelge 5. 5. ANOVA ile elde edilen p-değerleri.	57
Çizelge 5. 6. RSM ile optimizasyon için parametreler ve değerleri.	64
Çizelge 5. 7. RSM sonuçlarının doğrulanması.....	66

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

N	: Azot
C	: Karbon
H	: Hidrojen
O	: Oksijen
E	: Etil
HN	: Heksilnitrat
ml	: Mililitre
s	: Saniye
kg	: Kilogram
J	: Joule
W	: Watt
Hp	: Beygir gücü
ppm	: Milyonda bir birim

KISALTMALAR

D	: Dizel
K	: Kenevir Tohumu Yağı
2-EHN	: 2 Etil Heksil Nitrat
FÖYT	: Fren Özgül Yakıt Tüketimi
CO	: Karbon monoksit
CO ₂	: Karbon dioksit
HC	: Hidrokarbon
NO _x	: Azot oksit
NaOH	: Sodyum hidroksit
CeO ₂	: Seryum oksit
TiO ₂	: Titanyum dioksit
CH ₃ OH	: Metil alkol
O ₂	: Oksijen miktarı
EGR	: Egzoz Gazı Geriçevirimi
BTHE	: Fren Isıl Verim
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)
DIN	: Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
EN	: European Norm (Avrupa Normu)
TS	: Türk Standardı
CBD	: Kanabidiol
D100	: %100 Dizel
D80K5E15	: %80 Dizel, %5 Kenevir Tohumu Yağı ve %15 2EHN yakıt karışımı
D85K5E10	: %85 Dizel, %5 Kenevir Tohumu Yağı ve %10 2EHN yakıt karışımı
D82.5K5E12.5	: %82.5 Dizel, %5 Kenevir Tohumu Yağı ve %12.5 2-EHN yakıt karışımı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Dünya genelinde enerji ihtiyacının karşılanmasında ilk tercih olarak fosil yakıtlar kullanılmaktadır [1-2]. Günümüzde içten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtların çok büyük bir kısmını fosil yakıtlar oluşturmaktadır. Son teknolojik gelişmeler ve artan dünya nüfusuyla birlikte fosil yakıtların aktif olarak kullanıldığı araçların sayısı da artmıştır [3-4]. Fosil yakıtlar benzinli ve dizel motorlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [5-6]. Fosil yakıtların kullanıldığı dizel motorlar; yüksek performansı, düşük yakıt maliyeti ve yüksek yakıt ekonomisi, ekonomik ve güvenilir özellikleri nedeniyle tarım, denizcilik, inşaat ve imalat sanayi, ulaştırmanın tüm dalları ve diğer birçok sanayi dalında tercih edilmektedir [7-9]. Ancak fosil yakıtların kullanımını emisyon seviyelerinin artmasına neden olmaktadır. Başta küresel ısınma gibi dünyayı etkileyen önemli bir sorunun meydana gelmesinde fosil yakıtların etkisi büyük olup, gelecekte daha büyük olumsuz etkilere neden olacağı düşünülmektedir [10-11]. Dizel motorların egzoz emisyonları, motorlu taşıtların yaygınlaştığı 20. yüzyılın başlarından itibaren başta şehirler olmak üzere insan yaşam alanlarını olumsuz etkilemektedir. Fosil yakıtların zararlı emisyonlarının yanında, dünya nüfusunun hızla artması ve sanayiyle birlikte artan enerji talebi nedeniyle petrol bazlı yakıt kaynakları hızla azalmakta olup, petrol rezervlerinin bağımlılık nedeniyle kısa sürede tükeneceği tahmin edilmektedir [12].

Fosil yakıt rezervlerinin azalması ve özellikle dizel motorların artan emisyon seviyeleri, motor imalatçıları ve araştırmacıları yeni çözümler aramaya itmiştir ve araştırmacılar, olumsuz ekolojik etkileri nedeniyle temiz ve yeni yenilenebilir enerji kaynaklarına odaklanmıştır [13]. Bu olumsuzlukları azaltmanın yöntemlerinden biri de alternatif yakıt kullanmaktır. Biyodizel alternatif yakıt olarak iyi bir seçenektir. Biyodizelin dizel yakıttan daha yüksek parlama noktasına sahip olduğu [14], biyoyakıtların dizel motorlarda hiçbir revizyon işlemi ve düzenlemeye tabi olmaksızın

kullanılabileceği ve toksik etkileri olmayan yenilenebilir enerji kaynakları olduğu bilinen bir gerçektir [15]. Biyodizelin alternatif bir yakıt olması nedeniyle egzoz emisyonlarına ve motor performansına etkilerinin test edilmesi önemlidir. Ayrıca üretilecek biyodizelin dizel ile karışım oranının ve bu oranın optimum sonuç verecek değerlerde olması esastır. Bunların deneysel olarak belirlenmesi maliyetli ve zahmetlidir [16-17]. Bunlar için farklı biyoyağlar ve biyodizel olarak kullanılabilecek diğer hayvansal ve bitkisel maddeler incelenmekte ve değerlendirilmektedir. Biyodizel, hammadde kaynaklarına ve üretim yöntemlerine bağlı olarak değişiklik gösterse de daha önce yapılan çalışmaların sonuçlarına göre dizel yakıtlarla doğrudan veya farklı oranlarda karıştırılarak alternatif yakıt olarak kullanılabileceği ortaya konmuştur [18-20]. Ayrıca biyodizelin soğuk akış özellikleri dizel yakıtlara göre daha zayıftır ve özellikle hava soğukken motorun çalıştırılması sırasında sorunlara neden olabilir. Biyodizel yakıtlardaki doymuş yağ asitlerinin yüksek içeriği, özellikle kış aylarında yakıt dağıtım borularının ve yakıt filtrelerinin tıkanmasına yol açabilmektedir. Bu dezavantajlar çok az miktardaki yeni ürünlerle aşılabılır.

Motor performansını artırmak ve egzoz emisyonlarını azaltmak için yakıt katkılarının eklenmesi ve hibrit yakıt kullanılması gibi yaklaşımlar kullanılmıştır. Biyoyakıtın olumsuz özelliklerini geliştirmek için katkı maddeleri kullanılmakta olup, bu katkı maddeleri arasında alkoller de yer almaktadır. Pek çok araştırmacı, motor performansını artırmaya ve zararlı egzoz emisyonlarını azaltmaya yönelik katkılardan yararlanarak yakıt özelliklerini iyileştirmeye çalışmaktadır. Yakıt katkı maddeleri, dizel motorlarda kullanılan yakıtlar için önemli bir kriter olan yanıcılığı iyileştirerek tutuşma gecikmesini azaltmayı ve aynı zamanda emisyonları azaltmayı amaçlamaktadır [21].

Çeşitli katkılar kullanılmakla birlikte, 2-EHN günümüzde araştırmacıların kullandığı yakıt katkılardan biridir [22]. Yakıtın en önemli özelliklerinden biri, yanma oranının dolaylı bir nedeni olan, ön karışımli yakıtta yanmanın bir göstergesi olan setan sayısıdır. Daha yüksek setan sayısı, motorun daha iyi çalışmasına ve emisyonların azalmasına katkıda bulunarak ateşleme gecikmesinin azalmasına yol açar. Setan arttırıcılar dizel/biyodizel karışımlarında yanma kalitesinin artmasına, emisyonların azalmasına ve setan sayısının artmasına önemli bir katkı sağlar. Setan sayısını arttıran,

difüzyon hızını artırarak tutuşma gecikmesini kısaltan ve yanmayı iyileştirdiği bilinen 2-EHN'nin [23,24], bu özelliklerinden dolayı son yıllarda kullanımını artmıştır. Ekonomiktir, kullanımı kolaydır. Yanma özelliklerinde etkilidir. İyileştirmeleri nedeniyle tercih edilen setan arttırıcı olan 2-EHN'nin setan sayısını artırdığı yanmayı iyileştirdiği bilinmektedir. Son zamanlarda 2-EHN'nin dizel motorlarda yakıt katkısı olarak kullanımına ilişkin birçok çalışma yapılmış [25], setan arttırıcı katkı maddeleri arasında 2-EHN kullanımını son yıllarda artmıştır [26]. 2-EHN'nin avantajlarının yanı sıra içerdiği nitrojen nedeniyle NO_x emisyonlarını artırma dezavantajına da sahiptir [27]. Bu çalışmada kenevirin özelliklerini geliştirmek amacıyla 2-EHN kullanılmıştır.

Kenevir yağı ile daha önce yapılan çalışmaların bazıları transesterifikasyon prosesi ile biyodizel üretimini içermektedir. Bu çalışmada sabit miktarda %5 kenevir yağı kullanılmıştır. Ülkemizde henüz kenevirden biyoyakıt üretme girişiminde bulunulmamıştır ancak enerji sektörü açısından çok değerli bitkidir. Kenevir dört ayda yetişir ve hasada hazır hale gelir. Bir dönüm ekili araziden yaklaşık 3,5 ton kenevir ve lifi elde edilmektedir. Yılda iki kez ekim ve hasat yapıldığı dikkate alındığında, toplam 7 ton ürün elde edilebilmektedir [28]. Kenevir ilaç, kâğıt, yakıt ve kumaş yapımında kullanılır. Ekonomik verimlilik açısından düşünüldüğünde kenevir bitkisinin yetiştirilmesi ve yağından biyodizel üretimi enerji alanında iyi bir alternatiftir [29]. Otomotiv endüstrisinde de kullanılan kenevir, petrol ve petrokimya ürünlerine önemli bir alternatif olarak dikkat çekmektedir. Bu kadar önemli bir bitkinin, diğer bitkilere göre bu avantajları nedeniyle tercih edilmesi, bu çalışmada bu bitkinin seçilmesinin nedenidir. Kenevir bitkisinin üretiminin artması ve kenevir yağının biyodizel olarak kullanılması egzoz emisyonlarına ekonomik katkıda bulunmaktadır. Kenevir yağının kullanımı üzerine çalışmalar bulunmaktadır. Kenevir bitkisinin üretimiyle elde edilen birçok diğer ürünün yanında biyodizel olarak kullanılmaktadır. Kenevir yağının kullanımında meydana gelen olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için yakıt katkı maddesi olarak 2-EHN kullanılmış ve dizel ile üçlü bir karışımın kullanıldığı farklı bir çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmada, üç farklı oranda dizel yakıtta %5 sabit oranda kenevir tohumu yağı ve üç farklı oranda eklenen 2-EHN yakıt katkısının dizel motorda yakıt tüketimi ve emisyonları üzerindeki etkisi deneysel olarak ve RSM yöntemiyle değerlendirilmiştir.

Araştırma kapsamında test edilen yakıt karışımları tek-silindirli, sıkıştırma ateşlemeli, dizel bir motorda dört farklı motor yükleme koşullarında (500W, 1000 W, 1500 W ve 2000 W) ve 3000 dev/dk sabit motor devrinde test edilmiştir. Bu tez çalışmasını özgün kılan unsurlardan biri çalışmanın bu yakıt karışım oranları ile yapılması ve ortaya çıkan emisyon değerlerini azaltabilecek yakıtın hangisi olduğunu deneysel olarak ortaya konulmasıdır. Ayrıca RSM ile yapılan optimizasyon motor testlerinin sonuçlarını doğrulamaya katkıda bulunmanın yanı sıra, yüksek maliyetli deneysel testlere ihtiyaç duymadan çeşitli yakıt türlerini değerlendirmek için yenilikçi, hızlı ve ekonomik bir yöntem sunmaktadır. Bu hedef doğrultusunda RSM kullanılarak motor testlerinden çıkan sonuçlar ile optimizasyon sağlanarak en optimum karışım ve motor yüküyle doğrulama deneyleri yapılabilmektedir. Çalışma sonucunda, deneysel ve RSM ile yapılan optimizasyon çalışmalarından elde edilen motor yakıt tüketimi ve emisyon sonuçları incelenerek karşılaştırılmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR TARAMASI

Literatür incelendiğinde alternatif yakıt olarak biyodizel, dizel-biyodizel yakıt karışımının içten yanmalı motorda kullanımı ve 2-EHN'nin yakıt katkısı setan artırıcı olarak kullanıldığı birçok çalışma vardır. Biyodizelin dezavantajlarının giderilmesi için farklı oranlarda yakıt karışımları ve katkı maddeleri kullanılmıştır. Bu çalışmada setan geliştirici olarak 2-EHN, kenevir tohumu yağı ve dizel yakıt ile üçlü karışım yapılmıştır ve literatürde bu çalışmadaki oranlarda yapılmış çok fazla çalışma yoktur.

Koncuk (2008) tarafından yürütülen çalışmada biyodizel üretiminde; fındık yağı, %60 fındık yağı + %40 ayçiçek yağı, soyayağı, atık ayçiçek kızartma yağı ve atık mısır kızartma yağları kullanılmıştır. Yağların esterleştirilmesi için, sodyum hidroksit (NaOH) eşliğinde metil alkol (CH_3OH) ile reaksiyona sokularak biyodizeller üretilmiştir. Ayrıca fındık yağı metil esterinin (B100), dizel yakıtı ile hacimsel olarak %20 den %80'e oranlarında değişen karışımları (B20, B40, B60, B80) hazırlanmıştır. No.1 dizel yakıtı ile atık ayçiçek kızartma yağı metil esterinin harmanı da kullanılmıştır. Yakıt testleri dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu, su soğutmalı, iki silindirli ve enjektör püskürtme basıncı 175 kg/cm^2 olan dizel motorunda yapılmıştır. Motor performans karakteristikleri, silindir içi basınç-yanma karakteristikleri ve emisyon değerleri dizel yakıtı ile elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. [30].

Uslu (2018), fuzel yağının içerisinde yaklaşık %65 oranında bulunan izoamil alkolü, buji ateşlemeli motorlarda alternatif yakıt olarak denenmiştir. Çalışmada, izoamil alkol; %10, %20 ve %30 oranında benzin ile karıştırılmış ve de yalın benzin kullanımıyla; A0, A10, A20 ve A30 olarak dört çeşit yakıt ortaya konulmuştur. Bu yakıtlarla motor deneyleri; tam yükte, değişik hızlarda ve 8,0:1, 8,5:1 ve 9,0:1 olarak

üç farklı sıkıştırma oranında yapılmıştır. İzoamil alkol oranı ile sıkıştırma oranındaki değişimlerin; motor performansı, emisyonlar ve yanma üzerindeki etkileri incelenmiştir. Dene sonuçlarına göre, tüm sıkıştırma oranı değerlerinde, yakıt içerisindeki izoamil alkol oranının artışıyla egzoz emisyonları benzine göre azalmıştır. A30 yakıtının kullanımı ile CO, NO_x ve HC emisyonu benzine kıyasla sırasıyla %12,2 ile, %35,6 ve %6,45 oranında daha düşük çıkmıştır. Bu çalışmada ayrıca, performans ve emisyon tahmini yapmak amacıyla deneylerden elde edilen veriler kullanılarak yapay sinir ağı oluşturulmuş ve kıyaslama yapılmıştır. Yapılan kıyaslama sonucunda, yapay sinir ağının motor performansının ve emisyonlarının tahmininde kullanılabileceğini göstermiştir [31].

Karakuş (2000), 4 silindirli, 4 zamanlı direkt enjeksiyonlu bir dizel motoru üzerinde değişik setan sayılı dizel yakıtlarının etkileri, değişik şartlar altında deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde, dizel yakıtı setan sayılan ve enjeksiyon basıncının değiştirilmesi sonucunda, duman miktarı başta olmak üzere diğer emisyonlar üzerinde meydana gelen etkiler gözlenmiştir. Sonuçlar, setan sayısının 46'dan 61'e çıkarılması halinde motor torkunda ve gücünde %5 civarında bir artış olduğunu göstermektedir. Setan sayısındaki artışa bağlı olarak NO_x emisyonlarında %20, CO emisyonlarında %5 civarında azalma, duman emisyonunda kısmi bir artma olduğunu bulmuştur [32].

Alakel (2008) yaptığı çalışmada bitkisel soya yağı metil esterinden ele edilmiş biyodizel, dizel ve sırası ile %5, %10, %15 ve %20 oranında etanolün hacimsel olarak karışımları oluşturarak karışım hazırlama aşamasında %99,5 ve %99,8 olmak üzere iki farklı saflıkta etanolü denemiştir. Ayrıca sabit etanol oranlarında karışımların dizel miktarının azaltılarak biyodizelin artırılması ile viskozitesinin, yoğunluğunun, setan indeksinin arttığı, ısı değerinin ve akma noktasının düştüğü tespit etmiştir. Aynı çalışmada setan sayısı %15 etanol oranına kadar artarken %20 etanol miktarından itibaren düşmeye başladığı görülmüştür. Motor vurununun önlenmesi için karışımlara setan sayısı yükseltici kimyasallar katılarak iyileştirilebileceği ve oksijence zengin olan soya biyodizeli ve dizelin emisyon performansları tespiti için çalışma yapılabileceği önerilen bir çalışma olmuştur [33].

Temizel (2010), metanol-dizel yakıtı, organometal MnO_2 dizel yakıtları kullanılarak dizel yakıtın özelliklerinin geliştirdiği bir çalışma yapmıştır. Ayrıca metanol yakıtının motor yağı ve segman üzerindeki etkisi deneysel ele almıştır. 200 bar enjektör püskürtme basıncında, 4 silindirli direk enjeksiyonlu dizel motorunda 1 litre yakıt içerisine %5, %10 ve %15 oranlarında metanol ilave edilerek faz ayrışımını önlemek için dodekanol ilave edilen çalışmada ayrıca Mn metalinin organometalik bileşikleri sentezlenerek çözeltileri hazırlanmıştır. Motorinin donma noktasını en fazla düşüren katkı maddesinin miktarı ve performans etkileri belirlenmeye çalışıldığı farklı bir çalışma yapılmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre; karışım içerisinde metanol oranının artması ile özgül yakıt tüketim değerlerinde ve NO_x emisyonlarında artma, CO emisyonlarında azalma sağlanırken, organometal MnO_2 ile setan sayısında artış, donma noktası, viskozite ve parlama noktası değerlerinde düşüş sağlandığı tespit edilmiştir [34].

Abdulvahitoğlu (2009), biyodizelin motorine göre kötü olan yoğunluk ve viskozite özelliklerini iyileştirmek amacıyla da farklı hidrokarbon maddeleri katkı olarak kullanmıştır. %10 ile %50 oran aralığında değişen miktarlardaki kanola biyodizeli, %45 ile %85 aralığında değişen miktarlardaki düşük kükürtlü motorin ve %5 oranında hafif hidrokarbon katkı maddeleri (n-hegzan, n-heptan ve ksilen) kullanılarak 15 adet yakıt karışımı hazırlanan çalışmada karışımların yakıt özellikleri (yoğunluk, ısı değeri, Setan sayısı ve viskozite gibi) ölçülerek motorinin özellikleri ile karşılaştırılmış, elde edilen %5 ve %10 alkenli karışımların yakıt özelliklerinin motorinin standart değerlerine yakın olduğu ve dizel motorlarda doğrudan yakıt olarak kullanılabilirlikleri görülmüştür. Motor performans testlerinin sonucunda her ne kadar maksimum torkta %0,57 ve özgül yakıt tüketiminde %1.04 lük bir artış gözlemlense bile, D50RSB40HX10 gücü %15,31 artırarak en uygun sonucu verdiği bu çalışmada görülmüştür [35].

Ciniviz vd. (2017), dizel-etanole 2-etilheksil nitrat (EN) ilavesinin etkisi setan geliştirici olarak kullanılan karışımları, dört silindirli, su soğutmalı bir dizel motorda fren torku, fren gücü, frene özgü yakıt tüketimi ve NO_x , CO, CO_2 gibi egzoz emisyonları gibi performans parametreleri açısından incelemiştir. İlk olarak, bir etanol-dizel karışımı, hacim olarak %10 etanol ile %90 dizel yakıtın karıştırmış daha

sonra diğer karışımlar %10 etanol, %2 2-EHN ve %88 dizel, 2-EHN % 10 olarak, %4 2-EHN ve %86 dizel ve 2-EHN % 10 etanol, %6 2-EHN ve %84 dizel karıştırılarak çalışma yapmıştır. Bu karışımlar yapılan çalışmada 2-EHN ilavesinin setan sayısını %5, %11, %16 arttırdığı tespit edilmiş, EHN hafif bir kinematik viskozitede azalma, daha düşük ısıtma değeri ve yoğunlukta hafif bir artış olduğu ayrıca 2-EHN ilavesinin NO_x, CO üzerinde azaltıcı bir etkiye sahip olduğu sonucuna vardığı bir çalışma olmuştur [36].

Duboc (2014) katkı maddelerinin motor enjektörlerine yüksek basınçlı yakıt iletmek için gereken pompa torku üzerindeki etkileri, sıfırın altındaki dizel yakıt sıcaklığında, mum oluşumu meydana geldiğinde yakıt damlacık boyutu dağılımı ve bir motorda dizel yakıtın yanmasının yanı sıra sabit hacimli yanma kabının tutuşma gecikmesini incelediği bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada ayrıca yakıt katkılarından kaynaklanan egzoz emisyonları da incelenmiştir. Katkı maddesinin yakıt dağıtım sistemine etkisi kıyasladığında birincil amacı yakıt dağıtım sistemi ile ilgili olmadığı, genel olarak katkı maddelerinin yakıt dağıtım sistemi performansının birçok yönü üzerinde çok küçük etkileri olduğunu tespit etmiştir. Diğer yandan motor testlerinde, çeşitli yanma değiştirici katkı maddelerinin motor yanma performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkilerini olduğu görmüş, sıfırın altındaki sıcaklıklarda yakıt püskürtme analizinde, mum oluşumunun damlacık boyutundaki artışına sebep olmadığı, bunun yerine muhtemel sebebin yakıt viskozitesindeki bir artış olduğunu bu çalışmanın sonuçlarındandır [37].

Aydın vd. (2020) dizel/biyodizel karışımları ile çalışan dizel motor parametrelerinin tahmin edilmesi ve optimize edilmesi için biyodizel-dizel yakıt karışımları ile çalışan tek silindirli bir dizel motorun performans ve emisyon parametrelerini Yapay Sinir Ağı (YSA) ile tahmin ederek ve Yanıt Yüzey Yöntemi (RSM) ile optimize ettiği bir çalışma yapılmıştır. YSA modelini, fren termal verimlilik (BTE), frene özgü yakıt tüketimi (FÖYT), egzoz gazı sıcaklığı (EGT), azot oksitler gibi çıkışları tahmin etmek için geliştirmiştir. Elde edilen sonuçlarla, YSA'nın egzoz emisyonu ve performans parametrelerini regresyon katsayıları (R²) ile doğru bir şekilde modelleyebileceğini ortaya koyan bir çalışma olmuştur [38].

Şimşek vd. (2020) RSM kullanılarak dizel motor performansı ve emisyonları ile ilgili optimum motor çalışma parametrelerinin belirlenmesi için yaptıkları çalışmada; optimizasyon, fren termal verimliliğini (BTE) en üst düzeye çıkarmak ve egzoz gazı sıcaklığını (EGT), duman emisyonunu, nitrojen oksit (NO_x) emisyonunu ve karbondioksitleri (CO₂) en aza indirmek için kullanılarak dört zamanlı, tek silindri, hava soğutmalı, direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda farklı oranlarda biyodizel/dizel yakıt karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırdıkları bir çalışma yapmışlar, transesterifikasyon ile yapılan kanola, aspir ve atık bitkisel yağ karışımlarını içeren bir biyodizel kombinasyonu kullanılmışlardır. Biyodizelin dizel motorda kullanılabilirliğini değerlendirmek için RSM kullanılmıştır. Yapılan çalışmanın sonuçları, RSM'nin biyodizel ile çalışan bir dizel motorun performans ve emisyon değerlerini tahmin etmek ve optimize etmek için kullanışlı bir teknik olduğunu göstermiştir [39].

Uslu (2020) yaptığı çalışmada palm yağı-dizel karışımlarının motor performansı ve emisyon özellikleri, tek silindri dizel motorda birkaç motor yükü ve enjeksiyon avansı ile test etmiştir. Fren termal verimliliği (BTE), egzoz gazı sıcaklığı (EGT), karbon monoksit (CO), hidrokarbon (HC), duman ve azot oksitler (NO_x) motor yükü, enjeksiyon avansı ve girdi olarak palm yağı yüzdesi dikkate alınarak çıktı faktörleri olarak optimize edilmiş, geliştirilen YSA ve RSM modelleri, büyük R² (korelasyon katsayısı) değerleri ile üstün tahmin kesinliği gösterdiğini tespit etmiştir. Uyguladığı modeller, motor performansını ve emisyon özelliklerini tahmin etmek ve optimize etmek için faydalı olan iyi sonuçlar verdiği görülmüştür [40].

Şimşek vd. (2020) yaptığı başka bir çalışmada hayvansal yağlardan (AFBD) elde edilen biyodizel ile kanola, aspir ve atık bitkisel yağlardan transesterifikasyon yöntemiyle elde edilen bitkisel biyodizelin (VEBD) hava soğutmalı, dört zamanlı, tek silindri bir motorun performansına ve emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Kullanılan beş farklı yakıt enjeksiyonlu sıkıştırma ateşlemeli motor deneysel olarak incelenerek karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlarında, AFBD100 ve VEVD100 yakıtlarının kullanımı ile fren ısıl verim (BTHE) değerinin düştüğü, fren özgül yakıt tüketiminin (FÖYT) arttığı tespit edilmiştir ve karbondioksit (CO₂) emisyonları meydana

gelmiştir. AFBD ve VEBD yakıtlarından elde edilen grafikler incelendiğinde VEBD içeren yakıt karışımlarının hem performans hem de emisyon açısından daha iyi sonuçlar verdiği açıkça görülmüş, VEBD içeren yakıtlar kendi içlerinde kıyaslandığında performans açısından VEBD50 daha iyi iken VEBD100 emisyon açısından daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür [41].

Sezer'in (2017) dizel yakıtta etanol ve dietil eter ilavesinin dizel motorunun performansı ve emisyonları üzerindeki etkileri deneysel olarak araştırılması için yaptığı çalışmada, testlerde ticari bir dizel yakıt ve %15 etanol, %15 etanol ve %2 dietil eter ve %15 etanol ve %4 dietil eter ile hazırlanmış üç farklı karışım kullanmıştır. Deneyle, tek silindirli direkt enjeksiyonlu dizel motor kullanılarak 1500 devir/dakika motor devrinde ve çeşitli yükler altında gerçekleştirmiştir. Temel yakıt ve karışımlar için enjeksiyon, yanma, performans ve emisyon parametreleri değerlendirildiği çalışmada sonuçlar, tüm karışımlar için enjeksiyon basıncının düştüğünü ve dietil eter ilavesinin enjeksiyon zamanlamasında gecikmeye neden olduğunu göstermiştir. Etanol ve dietil eter karışımları ayrıca silindir basıncında ve sıcaklığında azalmalar sağladığı, etanol ve dietil eter karışımları kullanıldığında hava fazlalığı katsayısı oranı %9,3-10,4 oranında artırır, ancak egzoz gazı sıcaklığı oranı %4,8-5,5 oranında azaltığı görülmüştür. Hem etanol hem de dietil eter karışımları, fren termal verimliliğinde %14,7-17,2 oranında artış ve frene özgü yakıt tüketiminde %8,5 azalma sağlar. Karışım yakıtlar kullanıldığında NO_x için %6,8-18,2 ve CO₂ emisyonları için %10,3-13,8 oranında azalma elde edildiği görülmüştür [42].

Üstün (2021) %10 atık fuzel yağı (F10) ve %90 dizel yakıtı motorinden oluşan karışım içerisine 8 ppm, 12 ppm ve 16 ppm organik reçine esaslı mangan (OrbMn) ilavesi ile çalışma yapmıştır. Girdi parametrelerinin motor devri (d/dk), fren torku (Nm), çıktı parametrelerine (Tork, güç, özgül yakıt sarfiyatı, egzoz sıcaklık ve egzoz emisyon verileri olarak CO, HC, NO_x ve CO₂) olan etkileri kapsamlı bir şekilde araştırarak, sonuç verilerini DF verileri ile karşılaştırmıştır. 12 ppm mangan ilaveli test yakıtının, F10DF90 test yakıtı, 8 ppm ve 16 ppm mangan ilaveli test yakıtlarına göre olumlu sonuçlar verdiği belirlemiştir. 12 ppm mangan ilavesinde, motor tork ve güçte motorine yakın değerler verdiği, egzoz gaz sıcaklığını düşürdüğü, ortalama olarak CO₂

değerlerinde %13,17 NO_x değerlerinde ise %17,02 azalma sağladığı tespit ettiği bir çalışma olmuştur [43].

Vallinayagam vd. (2014) biyodizel olarak çam yağını optimize etmeyi hedeflediği çalışmada dizele göre daha düşük viskozite, parlama noktası ve kaynama noktası gibi bazı dikkat çekici yakıt özelliklerine sahip olan çam yağının, kalorifik değeri dizel ile karşılaştırılmıştır. Dizel ile harmanlar olarak kullanılan çam yağı setan sayısı dolayısıyla daha düşük ve bu da daha fazla NO önünü uzun ateşleme gecikme ve daha yüksek tepe ısı salım oranına sahiptir. Fosil dizel ile karşılaştırıldığında, bir dizel motorda 50D:50B (%50 dizel ve %50 çam yağı) yaptıkları deneysel araştırmada CO (karbon monoksit), HC (hidrokarbon) ve duman emisyonunda %45,9, %32,4 ve %41,5 oranında önemli düşüş gösterdiği görülen fan (izo-amil nitrat) ve 50D ile DTBP (di-terciyer bütül peroksit) 50B ateşleme artırıcıların eklenmesinden sonra, 50D:50B-IAN ve 50D:50B-DTBP için NO_x emisyonu, 50D:50B'ye kıyasla sırasıyla %12,8 ve %19,2 oranında azaltıldığı görülmüştür. İki ateşleme artırıcı arasında, DTBP NO'yu azaltmada daha etkili olduğu belirlenmiştir. Motorun performansının 50D:50B-DTBP için iyileştirildiği de kaydedildiği, bu da DTBP'nin çam yağı-dizel karışımları için uygun bir ateşleme iyileştiricisi olduğunu gösterdiği bir çalışma olmuştur [44].

Nandi (1996) yaptığı çalışmada Di-t-butül peroksit ile geleneksel setan geliştirici 2-etilheksil nitratın performansı arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Peroksitin setan tepkisi ile farklı yakıt özellikleri arasındaki korelasyon incelediği çalışmada her iki katkı maddesi de NO_x emisyonları dahil olmak üzere tüm düzenlenmiş ve düzenlenmemiş emisyonları önemli ölçüde azalttığını görmüştür. Peroksit ilave edilmiş yakıtlardan kaynaklanan NO_x emisyonları, benzer setan seviyesinde 2-etilheksil nitrat ilave edilmiş yakıtlarınkinden tutarlı bir şekilde daha düşükü tespit edildiği bir çalışma olmuştur [45].

Şimşek vd. (2020) transesterifikasyon ve 2-etilheksil nitrat (EHN) ile tamamlanmış kanola, aspir ve atık bitkisel yağ karışımlarının bir karışımı olan biyodizelin (%97, %98, %99 ve %100) etkisi (%3, 2 %, %1 ve %0) sıkıştırma ateşlemeli motor performansı ve emisyonları üzerinde deneysel olarak ve tepki yüzeyi metodolojisi RSM ile incelendiği çalışma yapmıştır. Farklı karışım oranları ile elde edilen

biyodizel/2-EHN yakıt karışımları ile dört farklı motor yükünde (500, 1000, 1500 ve 2000-W) motor deneyleri gerçekleştirmiş, deneylerden elde edilen sonuçlara göre RSM modeli oluşturulmuştur. Çalışmada elde edilen sonuçlar, RSM'nin sıkıştırma ateşlemeli motor performansını ve biyodizel/2-EHN kombinasyonlarından güç alan egzoz emisyonlarını optimize etmek için zamandan tasarruf ederek ve mühendislik çabasını azaltarak etkin bir şekilde kullanılabilceğini gösteren sonuçlar bu çalışmada elde edilmiştir [26].

Zhang vd. (2013) yaptığı çalışmada, dizel yakıtı D40'a (hacimce %40 DMF) %2 2-e2-EHN eklemiştir. Deneyleri, modifiye edilmiş tek silindirli ağır hizmet dizel motor üzerinde gerçekleştirmiştir. Sonuçta, D40'a %2 2-EHN eklenmesiyle, D40'ın maksimum basınç artış hızının dizel ile aynı seviyede kaldığını, ancak tepe kurum emisyonlarının %80 oranında azaldığını gösterdi. Yani D40'a 2EHN eklenmesi, düşük setan sayısı oksijenli yakıtlar için yanma gürültüsü ve kurum emisyonları arasındaki dengeyi sağladığı görülmüştür. Yüksek EGR oranı ile 2-EHN eklenmesiyle NO_x emisyonu düşük oranda azalmış ve HC emisyonunu büyük ölçüde azalmıştır. 2-EHN ilavesinin CO emisyonları üzerinde ise çok az etkisi olduğu bu çalışmada tespit edilmiştir [46].

Ickes vd. (2009) yaptığı çalışmada doğrudan enjeksiyonlu, dizel yakıtlı düşük sıcaklıkta yanma çalışma modunda 2-EHN setan geliştirici ile katkılı bir yakıt kullanmanın etkisini göstermek için bazı test yakıtlarına 2-EHN setan geliştirici ilave edilerek, eşleşen setan sayılarına (47 ve 53) sahip iki set test yakıtı ile beslenen modern tek silindirli bir motorda hafif yük koşulunda deney gerçekleştirmiştir. Yakıtta 2-EHN ilave edilmesi, NO motor üzerinden artar x test LTC işletim koşulunda NO ve NO oluşumunda setan arttırıcının emisyonlarda etkisini olmadığı görülmüştür [47].

Şimşek vd. (2021) farklı oranlarda biyodizel (%99,5, %98,5 & %97,5) ve 2-EHN (%0,5, %1,5 & %2,5) kullanılarak hazırlanan yakıt karışımlarının yakıtların performans ve emisyon özelliklerine etkileri inceledikleri çalışmada dizel motor farklı yüklerde (2.000, 2.500 ve 3.000 W) testler yapılmıştır. Deneylerde, Lortogonal dizilimi (OA)ile Taguchi kullanılarak tasarlanmış ve her biri üç seviyeli yük, %2-EHN karışımları ve % biyodizel karışımları kontrol parametreleri olarak alınmıştır. Ayrıca,

fren termal verimliliği (BTE), frene özgü yakıt tüketimi (FÖYT), karbon monoksit gibi tepki özelliklerini optimize etmek için en iyi kontrol parametreleri kombinasyonunu elde etmek için optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışma da optimizasyon analizi, en iyi performans ve emisyon değerleri için %99,2 biyodizel oranı, %1,3 2-EHN oranı ve 2300 W yükün optimum sonuçlar olduğunu ortaya koymuştur [27].

Zahos vd. (2018) yaptığı çalışmada ultra-düşük kükürlü dizele (ULSD) n-bütanol eklediği çalışma da karışımın ateşleme kalitesi üzerindeki olumsuz etkisini ortadan kaldırmayı amaçlamış, ULSD yakıtındaki %10 ve %20 (v/v) n-bütanol konsantrasyonları incelemiştir. Setan geliştirici maddeler olarak 2-etilheksil nitrat-2-EHN ve yüksek CN'li, biyolojik olarak türetilmiş parafinik dizel (hidro-işlenmiş kullanılmış yemeklik yağ-HUCO) kullanılan çalışmada 2-EHN veya HUCO'nun eklenmesiyle ateşleme kalitesi iyileştirmesi için temel ULSD yakıtı ile aynı ateşleme kalitesine sahip dört karışım oluşturmak amacıyla dört "ateşleme kalitesi yanıt eğrisi" elde edilmiştir [48].

Ravi vd. (2020) yaptığı çalışmada dizel atık plastik yağ-propanol karışımına 2 etilheksil nitrat dahil edilmesinin etkisi NO_x, CO ve CO gibi performans bakımından hem de egzoz emisyonu açısından incelenmiş sıkıştırma ateşleme motorunda çeşitli yüklerde tüm karışımlar (P10) ve saf dizel kullanılmıştır. P10 ile ilgili P10EHN2, P10EHN4 ve P10EHN6 için Setan değerini %4, %10, %15 artırdığı, 2-EHN katkının kinematik viskozitede küçük bir azalmayı etkilediği tespit edilmiştir. Kalorifik değer ve sağlamlıkta küçük bir artış olmuş, çalışma ile 2-EHN eklenmesinin NO_x, CO çıkışı ve fren gücü üzerinde düşürücü bir etkiye sahip olduğu, diğer yandan CO üzerinde artan bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır [49].

Sathiyamoorthi vd. (2018), dizel motor performansını, emisyon ve yanma özelliklerini araştırmak için neem yağı biyodizel kullanılarak setan geliştirici etil heksil nitratın (EHN) katkı maddesini kullandığı bir çalışma yapmıştır. Motor deneyleri, tek silindirli, direkt enjeksiyonlu, hava soğutmalı ve doğal emişli dizel motor ile gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları, Fren termal verimliliğindeki (BTE) artışla birlikte Frene özgü yakıt tüketiminde (FÖYT) bir azalma olduğunu görülmüştür. Emisyon analizinde ise NO_x emisyonunda artış ile CO, HC ve duman emisyonlarında azalma

gözelemlenmektedir. Çalışma sonucunda, setan geliştirici olarak EHN, herhangi bir motor modifikasyonu olmaksızın neem yağı biyodizeliyle beslenen bir direkt enjeksiyonlu dizel motorda kullanılabilir olduğu görülmüştür [50].

Bu çalışmada, üç farklı biyodizel-dizel ve yakıt katkısı olarak 2-EHN karışımı olan yakıt ile dizel yakıt kullanılarak deneyler yapılmış egzoz emisyonları ve fren özgül yakıt tüketimi analizleri yapılmıştır. Dizel-biyodizel karışımı ile oluşan yakıt performans artışının sağlanması ve biyodizelin olumsuz yönlerinin giderilmesi amacıyla yakıt katkısı olarak 2-EHN farklı oranlarda eklenmiştir. Bu çalışma kapsamında elde edilen bütün yakıtların fren özgül yakıt tüketimi ve emisyon değerlerinin analizleri yapılmıştır. Bunun neticesinde hangi yakıt karışımında en optimum emisyon oranı ve yakıt tüketiminin sağlandığı 4 yakıt türü ve 4 motor yüküne göre incelenmiştir. Yapılan literatür taramasıyla görüldüğü üzere dizel-biyodizel karışımına 2-ENH yakıt katkısı ve kenevir tohumu yağının bu çalışmada kullanılan oranlarda eklenmediği görülmektedir. Ayrıca bu çalışmada uygulanmış olan RSM ile optimizasyonu da literatür çalışmasında incelenmiştir.

BÖLÜM 3

Teknolojik gelişmeler ve dünya nüfusundaki hızlı artış tüm dünyada mevcut araçlarda kullanılan yakıt türlerine alternatif yakıt arayışlarına sebep olmuştur. Bu çalışmalar mevcut yakıtları zenginleştirerek verimliliği artırmak veya dizel motorlarda kullanılabilen yeni yakıtlar üretmek biçiminde gelişmiştir. Bilindiği üzere fosil yakıtlar hızla tükenmekte ve çevre kirliliğine olumsuz etkileri devam etmektedir. Birçok araştırmacı dizel motorlar için alternatif yakıtlar, yakıt karışımları ve elde edilen yakıtların olumsuzluklarının giderilmesi amacıyla yakıt katkıları ile çalışmalar yapmıştır. Bu kapsamda dizel motorlarda kullanılabilen alternatif yakıtlar;

- Biyodizel yakıtlar,
- Alkoller,
- Hidrojen,
- Doğalgaz (CNG),
- Biyoethanol,

Bu alternatif yakıtların yanında dizele göre oluşan olumsuzlukları gidermek amacıyla yakıt katkı maddeleri kullanılmaktadır.

- Nano Yakıt Katkıları
- Organik Yakıt Katkıları
- İnorganik Yakıt Katkıları [51].

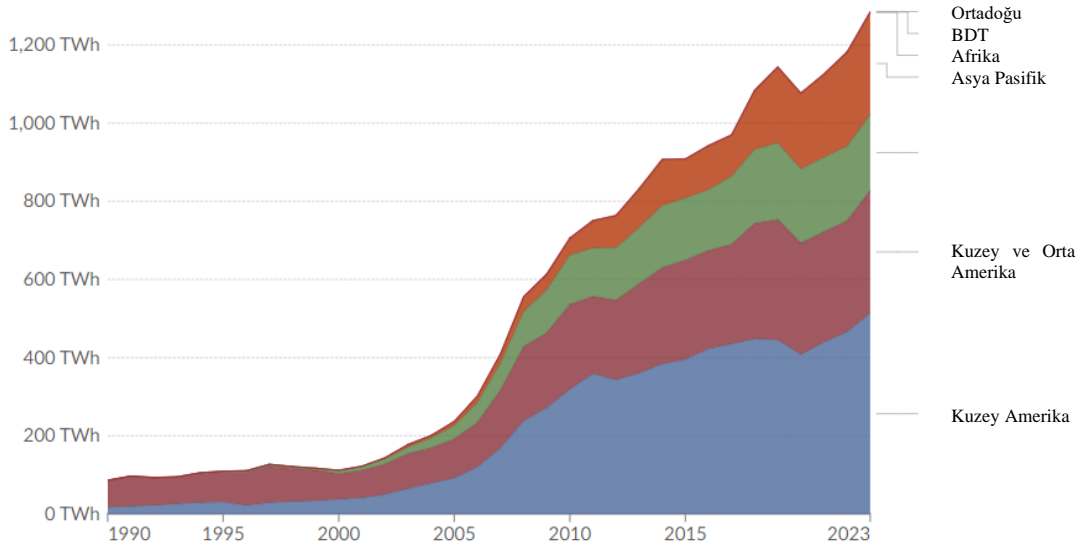
3.1. DİZEL MOTOR İÇİN ALTERNATİF YAKITLAR

Dizel yakıtlara alternatif yakıtlar bulunmaktadır. Fakat yakıtların dizel motorlarda tercih edilebilmesi için araştırmacılar çeşitli nitelikleri göz önünde bulundurmaktadırlar:

- Motorda modifikasyon yapılmadan alternatif yakıtın kullanılabilmesi,
- Motor performans kaybının olmaması,
- Üretiminin maliyetli olmaması,
- Alternatif yakıt dizele göre daha basit işlemler yapılarak üretilebilir olması,
- Alternatif yakıtın emisyon değerlerinin düşük olmasıdır.

3.1.1. Biyodizel

Biyodizel, dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılması için bitkisel yağların, hayvansal yağların, geri dönüştürülebilir birçok atık yağ veya atık maddelerden meydana getirilen yenilenebilir enerji kaynaklarından olan yakıt türüdür. Biyodizel yakıtların genel olarak fiziksel özellikleri ise fosil yakıtlardan elde edilen doğal dizel ile benzer özelliktedir. Bitkisel yağlar veya hayvansal yağlar gibi yenilenebilir kaynaklardan, transesterifikasyon reaksiyonu ile üretilen uzun zincirli yağ asitlerinin (C16-C18) mono alkil esterleri (genellikle metil veya etil) elde edilen yakıtlar ASTM (American Society for Testing and Material) tarafından Biyodizel olarak tanımlanmıştır [52]. Dünyadaki bölgelere göre biyoyakıt üretimi Şekil 3.1’de görülmektedir.



Şekil 3. 1. Bölgelere göre biyoyakıt üretimi [53].

Biyodizel için EN 14214 Avrupa Birliği Standardı ile ASTM D 6751 Amerikan Standardı, yürürlükte [54]. Türkiye'de TSE EN 14214 Standardı temel alınmıştır. Türkiye'deki uygulamalar için motorine TSE standartları uyarınca en fazla %7 oranında biyodizel karıştırılması ön görülmüştür [55]. Çizelge 3.1'de bitkisel yağlar ve verimleri görülmektedir.

Çizelge 3. 1. Biyodizelin üretilebileceği tarımsal ürünler ve yağ verimleri [56].

Yağ Bitkisi	Latince	kg (yağ)/ha	Yağ İçeriği %
Acı Bakla, Termiye	Lupinus albus	195	6-9
Aspir	Carthamus tinctorius	655	25-37
Ayçiçeği	Helianthus annus	800	35-40
Badem	Prunus dulcis	1125	25-50
Bal Kabağı	Cucurbita pepo	449	24-30
Bezir Yağı	Perilla frutescens	442	49-51
Ceviz	Juglans nigra	4500	60
Fındık	Corylus avellana	405	65-75
Hardal	Brassica alba	481	27-35
Haşhaş	Papaver somniferum	978	40-50
	Simmondsia		
Jajoba	chinensis	1528	48-52
Jatropha	Jatropha curcas	1590	50
Kakao	Theobroma cacao	863	50
Kenevir	Cannabis sativa	305	30-35
Keten	Linum usitatissimum	402	38
Kolza	Brassica napus	1000	33-40
	Anacardium		
Mahun Cevizi	occidentale	148	38-46
Mısır	Zea mays	145	5-6
Palm	Erythea salvadorensis	189	50
Pamuk	Gossypium spp.	273	20
Soya	Glycine max	375	17-26

Susam	Sesamun indicum	585	50
Yer Fıstığı	Arachis hypogaea	890	36-50
Zencibar	Telfairia pedeta	1119	35-38
Zeytin	Olea europaea	1019	35-70

3.1.1.1. Kenevir Yağı Biyodizeli

Kenevir (*Cannabis sativa* L.), yüksek kaliteli lifi ve bol miktarda kenevirin diğer bölümleri nedeniyle çeşitli biyobazlı ürünler için kullanılmıştır [57]. Bununla birlikte, son zamanlarda uygulamalar yapı/İNŞAAT malzemeleri, tekstil, uçucu yağlar, kâğıt endüstrisi ve CBD (kanabidiol) substratları olarak genişletilmiştir [58]. Kenevir yüksek biyokütle ve yağ verimi nedeniyle biyoyakıt üretimi için umut verici bir hammaddedir [59]. Kenevir, çok çeşitli tarımsal ekolojik koşullara mükemmel uyum sağlar ve marjinal arazilerde yetiştirilebilir [60]. Tarımsal çok yönlülüğü ve yağ ve karbonhidrat ortak üretim kabiliyeti nedeniyle, kenevir sürdürülebilir biyorafineri için potansiyel bir hammadde olarak oldukça kabul görmektedir. Kenevir yetiştiriciliği hektar başına 10 ila 15 ton arasında kuru madde verebilir [61]. Biyoenerji üretimi için kenevir biyokütlesi üzerine yapılan araştırmalar ümit verici olmuştur [62].

Bu çalışmada kenevir yağı yakıt karışımlarında kullanılmıştır. Asokan vd. yaptığı çalışmada kenevir tohumu yağı ve dizel karışımı kullanılmış ve emisyon değerlerinde benzer değerler elde edilmiştir. Trasesfirasyon işlemi yapıldığında %90 verim alındığı tespit edilmiştir [63].

3.1.1.2. Diğer Bitkisel Tabanlı Biyodizeller

Birçok bitkiden biyodizel üretilebilmektedir. Şekil 3.1'de çeşitli bitkiler görülmektedir. Biyodizel üretimi çeşitli metotlar ile gerçekleştirilir. Seyreltme, mikroemüsyon oluşturma, piroliz ve transesterifikasyon bu metotların başlıcalarıdır. Günümüzde en fazla tercih edilen metot ise transesterifikasyon (alkoliz) metodudur [64]. Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılabilmesi için ilk olarak viskozitelerini düşürecek işlemlerden geçirilmesi zaruridir. Yağların viskozitesinin düşürülebilmesi kimyasal ve ısı işlemler uygulanması ile düşürülebilir.

3.1.2. Alkoller

Alkoller, bileşiklerinde yüksek oksijen bulundurmaları ve sıvı halde olmalarından dolayı dizel motorlarda kullanılabilir olacak dizel yakıt katkılarındadır [65]. Kısa zincirli alkoller olarak adlandırılan hafif alkoller içten yanmalı motorlarda test edilmiştir [66]. Üç ya da daha az karbon atomu içeren hafif alkollerin emisyon seviyelerini azaltmasının yanında yanma özelliklerini de iyileştirmesi en önemli avantajları arasındadır [67]. Bunun yanında, gizli buharlaşma ısılarının yüksek olması, dizel yakıt ile karışabilme, kararlılık sorunları ve düşük setan sayıları hafif alkollerin dizel motorlarda tercih edilmesini kısıtlamaktadır [68]. Kimyasal bileşiklerinde, dört ya da daha fazla karbon atomu bulunduran uzun zincirli alkoller olarak adlandırılan ağır alkoller, hafif alkollere göre dizel yakıtlara ek avantajlar sağlayabilmektedir. Bütanol (4 karbon), pentanol (5 karbon), hekzanol (6 karbon), heptanol (7 karbon), oktanol (8 karbon), dodekanol (12 karbon) ve fitol (20 karbon) ağır alkollerden bazılarıdır [69]. Çizelge 3.2. bütanol, pentanol ve dizelin temel özellikleri görülmektedir. Ağır alkollerin setan sayılarının yüksek olması ve enerji içermeleri en büyük avantajlarındandır. Ağır alkoller karışım oluşturma kabiliyetlerinin daha iyi olması nedeniyle dizel yakıtlarla yüksek karışım oranlarında harmanlanabilme imkanına sahiptirler. Bunun yanında ağır alkollerin sahip olduğu düşük nem çekme özellikleri nedeniyle taşıma sırasında ve depolama durumunda olumsuzluk yaşanmamaktadır [70]. Ayrıca ağır alkollerin korozif etkilerinde düşük olması nedeniyle yakıt iletim kanallarına ve dizel motorların enjeksiyon sisteminde olumsuz bir durum meydana gelmemektedir [71]. Güvenli depolama imkânı ve kullanımını sağlayan yüksek parlama noktalarına sahiptirler [72]. Çizelge 3.2’de dizelin butanol ve pentanolun temel özellikleri karşılaştırılmalı bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 3. 2. Butanol, pentanol ve dizelin temel özellikleri [73].

Özellikler	Butanol	Pentanol	Dizel
Kimyasal Formül	C ₄ H ₉ OH	C ₅ H ₁₁ OH	C ₁₃ H ₂₈
Kinematik Viskozite (mm ² /s)	2,22	5	2,72
Yoğunluk (kg/m ³)	809,8	814,6	820-840
Parlama Noktası (°C)	37	43	75

Alt Isıl Değer (MJ/kg)	33,9	34,65	42,8
Setan Sayısı	17	20	45-55
Oksijen İçeriği (% Ağırlık)	21,59	18,15	0
Stokiyometrik Hava-Yakıt Oranı	11,27	11,84	14,8

3.1.3. Hidrojen

Gaz ve sıvı yakıt olarak kullanılabilmesi hidrojenin en önemli özelliklerindedir. Hidrojenin gaz fazı aynı hacimde bulunan havadan daha hafiftir. Fosil yakıtlar ile kıyaslandığında sıvı hidrojenin sıvı hidrokarbon yakıtlara oranla gaz halindeki hidrojenin ise metan, doğal gaz vb. gaz halindeki yakıtlara oranla daha hafiftir [74]. Hava-yakıt karışım oranları için, tutuşma sınırının çok geniş aralıkta olması, hidrojenin alternatif yakıt olarak kullanılmasında yarar sağlayacak en önemli özelliklerinden birisidir. Çok geniş olan hidrojenin tutuşma sınırı hidrojen için 0,15–4,35 (λ) değerleri arasındaki iken benzin için hava fazlalık katsayısı 0,3–1,7 değerleri arasında kalmaktadır. Hidrojen-hava karışımlarını ateşlemek için gerekli enerji miktarı da diğer yakıtlara oranla çok düşüktür [75]. 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 [51]. Çizelge 3.3'te dizelin ve hidrojenin temel özellikleri karşılaştırılmalı bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 3. 3. Hidrojen ve dizelin temel özellikleri [76].

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

Oksijen İçeriği (% Ağırlık)	0	0
Stokiyometrik Hava-Yakıt Oranı	29,53	14,8

3.1.4. Doğalgaz (CNG)

Milyonlarca yıl önce yaşamış olan bitkilerin ve deniz canlılarının çürümüş artıklarıyla meydana gelmiş ve yeryüzünde alt katmanlarda bulunan yoğunluğunun büyük kısmı CH₄ olmak üzere çeşitli hidrokarbonlardan oluşan yanıcı bir gaz karışımı; Doğalgaz - NG (Natural Gas) olarak adlandırılmaktadır. Doğalgazın büyük kısmı m %90-95 CH₄ gazı oluşturmaktadır. Kalan kısmı ise %2,411 C₂H₆ (etan), %0,736 C₃H₆ (propan), %0,371 C₄H₁₀ (bütan), %0,776 N₂ (azot), %0,164 C₅H₁₂ (pentan) ve % 0,085 CO₂ (karbondioksit) oluşturmaktadır. CH₄ bilinen en basit hidrokarbon yapısı olması, doğalgazın yanma verimini artıran en büyük etkidir. Doğalgaz günümüzde pek çok alanda kullanılmaktadır. Emisyon değerlerinin düşük olması nedeniyle alternatif yakıtlar arasındadır. Doğalgazın dizel motorlarda direkt olarak kullanımı çeşitli sorunlara neden olmaktadır. Bu sebeple motor üzerinde modifikasyonlar veya elektronik ekipmanlar kullanarak kullanımı ile dizel motorlarda kullanımı gerçekleştirmişlerdir. Dizel motorda doğalgaz kullanılması dizel yakıt ile birlikte çalışması sağlanmış ve egzoz emisyonlarında ciddi iyileştirmeler görülmüştür [51, 77]. Çizelge 3.4'te dizelin ve doğalgazın temel özellikleri karşılaştırılmalı bir şekilde gösterilmiştir.

Çizelge 3. 4. Doğalgaz ve dizelin temel özellikleri [78].

Özellikler	Doğalgaz	Dizel
Kimyasal Formül	CH ₄	C ₁₃ H ₂₈
Kinematik Viskozite (mm ² /s)	1,8	2,72
Yoğunluk (kg/m ³)	710	820-840
Parlama Noktası (°C)	95	75
Alt Isıl Değer (MJ/kg)	47,17	42,8
Setan Sayısı	-	45-55
Oksijen İçeriği (% Ağırlık)	0	0
Stokiyometrik Hava-Yakıt Oranı	16,79	14,8

3.1.5. Biyoetanol

Biyoetanol, farklı biyokütle hammaddelerinden dönüşümü sağlanarak üretilen sıvı, biyolojik yakıttır. Biyoetanol veya sadece 'etanol' bitkisel yan ürünlerin şeker ve nişasta bileşenlerini fermente etmek suretiyle elde edilen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Bunlar genel olarak şeker kamışı, buğday gibi ürünlerdendir. Ayrıca mısır, patates, süt, pirinç, pancar ve son dönemde üzüm, muz gibi ürünlerden de yapılmaktadır ve bunlar söz konusu ülkenin tarım gücüne de bağlıdır. Bugün, bioetanol pek çok kullanıma sahiptir: Petrolle karıştırılarak sürdürülebilir bir ulaşım yakıtı oluşturur [79]. Biyoetanol; yenilenebilir, biyolojik temelli, sera gazı salınımına az etki eden, çevre dostu bir yakıt olmasından kaynaklı fosil yakıtların alternatifi olarak dikkat çekmektedir [80-81]. Biyoetanol; yüksek oktan sayısına, geniş yanabilme sınırına, yüksek yanma hızına ve benzinden daha yüksek buharlaşma öz ısısına sahiptir [82]. Bu özellikler biyoetanole yüksek sıkıştırma (basınç) oranı, kısa yanma zamanı gibi avantajlar sağlamaktadır.

3.2. DİZEL MOTORLARDA YAKIT KATKILARI

Dizel motorlarda yakıt katkıları yakıtların bazı özelliklerini iyileştirmesi amacıyla kullanılmaktadır. Yakıt katkıları; yanma kalitesini yani setan artırıcı olarak kullanımının yanında egzoz emisyonlarının azaltılması, dizel yakıtların soğuk havalardaki olumsuzluklarının giderilmesi, yakıt sisteminin temizlenmesi ve sürtünmeden kaynaklı yıpranmaların azaltılması gibi önemli katkıları vardır. Biyodizel yakıtlar veya oluşturulan yakıt karışımları egzoz emisyonların iyileştirmeler meydana getirirken bazı olumsuzlukları da meydana getirmektedir. Yapılan çalışmalarda dizel yakıtlara katkı maddeleri eklenerek yanma kalitesini artırması, donma noktasını yükseltilmesi, vizikositeyi azaltılması ve biyodizellerin oluşturduğu is gibi olumsuzlukları ortadan kaldırılması sağlanmaktadır.

Yakıt katkı maddeleri:

- Nano katkı maddeleri

- İnorganik katkı maddeleri
- Organik katkı maddeleri

Nano yakıt katkıları yakıtlara ve karışımlara nano boyutlarda parça eklenerek egzoz emisyonları ve motor performansını artırmakta yakıttaki oksijen miktarını artırmaktadır. Seryum oksit (CeO_2) ve Titanyum dioksit (TiO_2) nano yakıt katkılarındandır. İnorganik yakıt katkıları doğal mineraller ve sentetik kimyasal maddelerdir. Bu katkı maddesinde egzoz emisyonlarını azaltmanın yanında motor sağlığının korunması ve performansın artmasını sağlamaktadır.

İnorganik yakıt katkılarına kurşun tetraetil, demir, bakır ve manganez gibi elementler örnek olarak gösterilebilir.

Organik yakıt katkıları sentetik veya doğal yollarla elde edilen maddelerdir. Bu katkılar yakıtın kimyasal ve fiziksel özelliklerine katkıda bulunmaktadır. Setan artırıcı katkı maddeleri yanma kalitesinin artırılmasının yanında emisyonların düşürmektedir. Bu sebeple yakıt katkı maddesi olarak 2-EHN kullanılmıştır.

Setan sayısı iyileştirici esas olarak nitratlar, peroksitler ve diğerleri gibi üç tiptedir. 2-EHN, setan sayısını iyileştirmek için en yaygın kullanılan dizel yakıt katkı maddesidir. setan sayısı artırıcıların pazar payı, dizel yakıtta kullanılması nedeniyle çok büyüktür. 2-EHN, dizel ve biyodizel yakıtlar için bir setan sayısı geliştiricisidir. Etanolün nitrik asit ile katalizör olarak sülfürik asit ile reaksiyonu ve birkaç arıtma işlemi ile üretilir. Setan sayısı, yakıtın tutuşma kalitesini değerlendirir. Setan sayısı ne kadar yüksekse, yanma o kadar temiz olur, bu da daha az kirletici oluşur ve daha yüksek verim sağlar. 2-EHN, yakıtı üretim esnasında veya sonrasında yakıt deposuna eklenebilir. Ayrıca doğrudan veya diğer yakıt katkı maddeleri ile karışım halinde de eklenebilir. Bu nedenle, yakıt katkısı olarak dizel kullanan çeşitli son kullanıcılar çeşitli endüstrileri alanlarında uygulama alanı bulmaktadır [83]. Ayrıca motor silindirine serbest radikaller salar ve oksidasyon sürecini hızlandırır, yanma özelliklerini iyileştirir, yanma noktasını düşürür ve tutuşma gecikmesini kısaltır. 2-EHN formundaki setan iyileştiricinin çalışma mekanizması, birçok çalışmada gözlemlenen bir durumdur [84].

2-EHN yakıt katkısı maddesinin farklı yakıtlar ve koşullarda birçok çalışmanın konusu olmuştur [85].



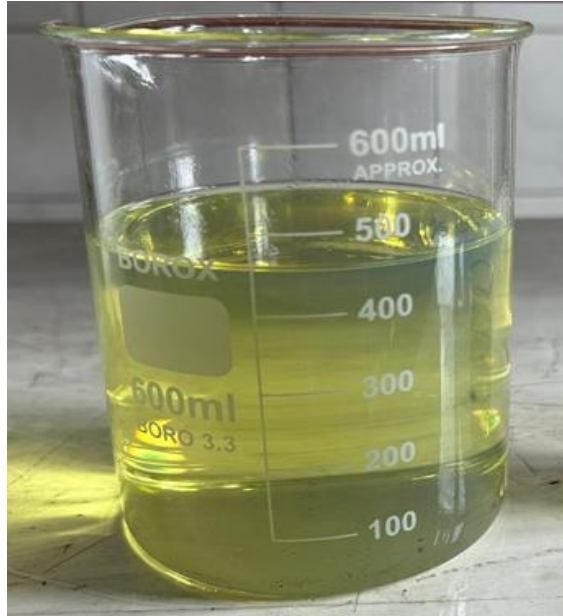
BÖLÜM 4

MALZEMELER VE YÖNTEMLER

Bu deneysel çalışmada, birçok sektörde kullanılan kenevir tohumu yağı ve setan güçlendirici karışımları ile oluşturulan yakıt karışımları incelenmiştir. Daha sonra deneyler, %5 kenevir tohumu yağı sabit tutularak 2-EHN ve farklı dizel oranları ile üçlü karışım olarak devam ettirilmiştir. Deneysel çalışmalar sonrasında gerekli hesaplar yapılarak analizler gerçekleştirilmiştir.

4.1. DENEY YAKITLARININ HAZIRLANMASI

Dizel (%100 dizel) “D” ile gösterilmiştir. 600 ml kaplarda 500 ml deney yakıtları hazırlanarak çalışmalar yapılmıştır. Şekil 4.1’de %100 dizel yakıt deney kabında görülmektedir. Ticari taşımacılıkta kullanılmakta olan dizel yakıtlar ile deneyler gerçekleştirilmiştir.



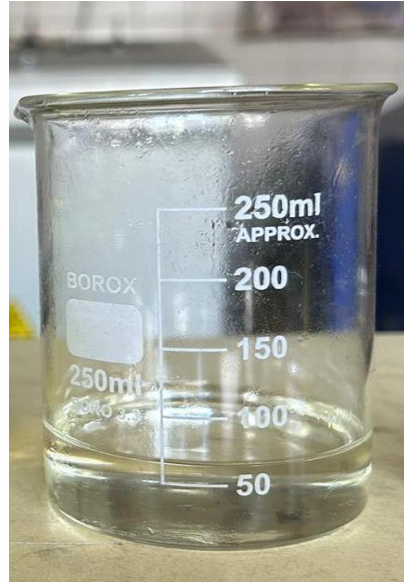
Şekil 4. 1. Dizel yakıt

Kenevir tohumu yağı “K” ile gösterilmiştir. Kenevir yağı, üreticisinden tedarik edilmiş ve özelliklerini koruyan katkısı olmayan saf kenevir tohumu yağı deneylerde kullanılmıştır. Şekil 4.2’de deneylerde kullanılmış olan üreticisinden alınan kenevir tohumu yağı ve içeriği deney kabında görülmektedir.



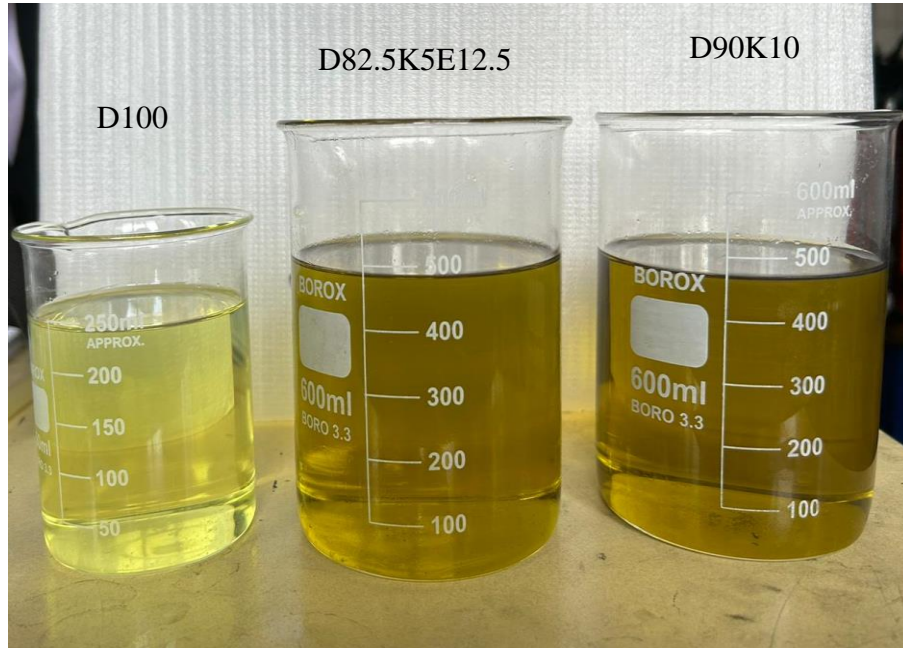
Şekil 4. 2. Kenevir tohumu yağı.

2-EHN “E” ile gösterilmiştir. Şekil 4.3’te deneylerde kullanılmış olan üreticisinden alınan 2-EHN ve içeriği deney kabında görülmektedir. Farklı hacimsel oranlarda 2-EHN karıştırılmış üç deneysel yakıt kullanılmıştır.



Şekil 4. 3. 2-EHN setan artırıcı yakıt katkısı.

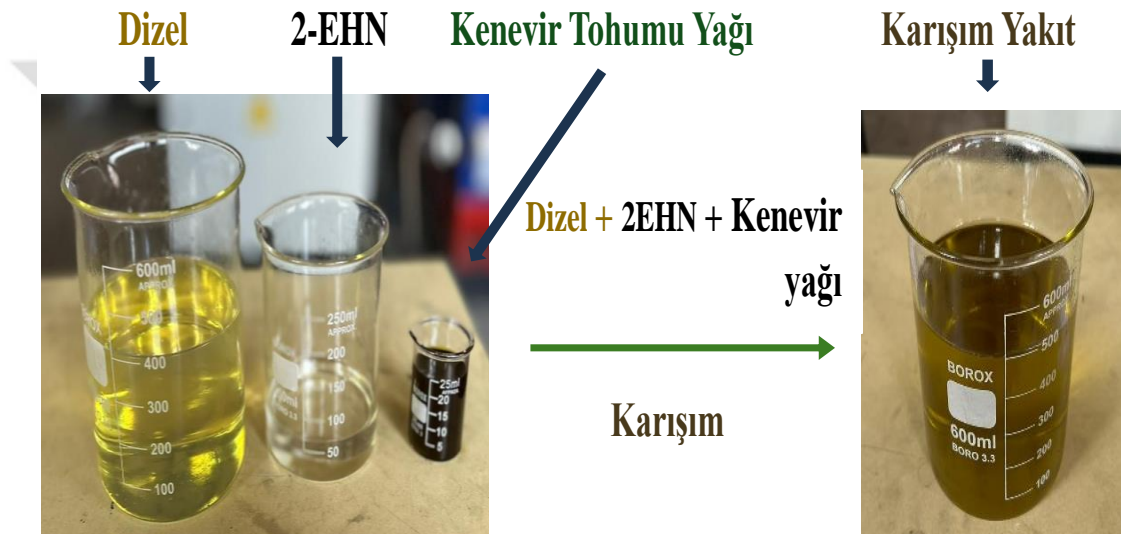
Deneylerde kullanılan yakıtlar; üç harmanlanmış yakıt ve %100 dizelden oluşmaktadır. Şekil 4.4'te üç ayrı %100 dizel, D82.5K5E12.5 yakıt karışımı ve %90 dizel-%10 kenevir toğumu yağı deney yakıtları görülmektedir.



Şekil 4. 4. D100 yakıtı, D82.5K5E12.5 ve D90K10 yakıt karışımı.

Deney için hazırlanan yakıt karışımları hacimsel olarak ölçülmüş ve karışımlar elde edilmiştir. Bu karışımlar homojen bir biçimde karıştırılmıştır. Oluşturulan yakıt karışımları etiketlenerek ölçüm kaplarına yerleştirilmiştir. Örneğin, 400 ml dizel, 25 ml 2-EHN ve 75 ml kenevir tohumu yağı karışımı ile D80K5E15 yakıtı hazırlanmıştır.

Her yakıt ayrı ölçüm kaplarında çok hassas bir şekilde hazırlanmış ve homojen bir karışım haline gelene kadar karıştırılmıştır. Hazırlanan karışım test yakıtları tamamen boşaltılmış yakıt tankına doldurularak deneyler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. 5. Dizel, 2-EHN ve Kenevir Tohumu Yağı yakıt karışımının hazırlanması.

Şekil 4.5'te Dizel, 2-EHN ve Kenevir Tohumu Yağı yakıt karışımının hazırlanışı şematik olarak gösterilmektedir. Bu şekilde aşağıdaki deney yakıtları meydana getirilmiştir:

D80K5E15, D82.5K5E12.5 ve D85K5E10 olarak adlandırılmıştır. Bu üç karışımın dışında, D100 olarak adlandırılan %100 dizelden oluşan dört farklı yakıtla deneyler yapılmıştır. Deneyler 2000 W, 1500 W, 1000 W ve 500 W motor yüklerinde gerçekleştirilmiştir. Tüm yakıt tanımları Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4. 1. Yakıt tanımları.

Yakıt	Tanımlar				
D80K5E15	80%	Dizel	5% K	15%	2EHN
D82.5K5E12.5	82.5 %	Dizel	5% K	12.5%	2EHN
D85K5E10	85%	Dizel	5% K	10%	2EHN
D100	100%	Dizel			

Çizelge 4.2’de kullanılan yakıt maddelerinin; dizel, kenevir tohumu yağı [86] ve 2-EHN’in özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 4. 2. Yakıtların özellikleri.

Özellikler	Dizel	Kenevir Yağı	2-ENH
Setan İndeksi	45-55	29,99	>76
Yoğunluk	820-840	927	963
Parlama Noktası (°C)	75	250	349
Kinematik Viskozite (mm ² /s)	2,72	24,67	2,21

4.2. DENEY DÜZENEĞİ VE DENEYLER

Deneyle Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Otomotiv Laboratuvarında bulunan Lutian 3GF-ME marka direkt enjeksiyonlu, hava soğutmalı, tek silindirli ve silindir hacmi 296 cm³ olan dizel motor kullanılmıştır. Deneylede motor devri 3000 d/d’da sabit tutulmuştur. Motor yükleri 2000 W, 1500 W, 1000 W ve 500 W olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.3’te test motorunun teknik detayları gösterilmektedir. Şekil 4.6’da deney düzeneği gösterilmektedir.



Şekil 4. 6. Deney Seti.

Yakıt deposunun altına hassas bir terazi yerleştirilmiştir. Tamamen boşalmış yakıt deposuna hazırlanan deney yakıtları eklenmiştir. Yakıt, depodan hortumlar aracılığıyla motora iletilmiştir. Deneyler motorun çalıştırılmasıyla başlamıştır. Deneyler, hazırlanan yakıtlar ve belirlenen dört yükte motorun 3000 d/d ile 3 dakika boyunca çalıştırılması ile yapılmıştır. Tüketilen yakıt miktarı ve egzoz emisyon verileri kaydedilmiştir. Deneyler üç setten oluşmuştur. Deneylerde bulunan sonuçların ortalaması alınarak Çizelge 5.1'deki veriler elde edilmiştir.

4.2.1. Dizel Motor

Deneyde kullanılan test motorunun teknik özellikleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4. 3. Test motoru özellikleri.

Özellikler	
Silindir Sayısı	1
Silindir Hacmi	296 cm ³
Maksimum Güç	3.2 kW
Anma Gücü	2.9 kW
Motor Gücü	7 hp
Yakıt Tipi	Dizel
Hava Emiş Sistemi	Atmosferik
Soğutma Sistemi	Hava Soğutmalı

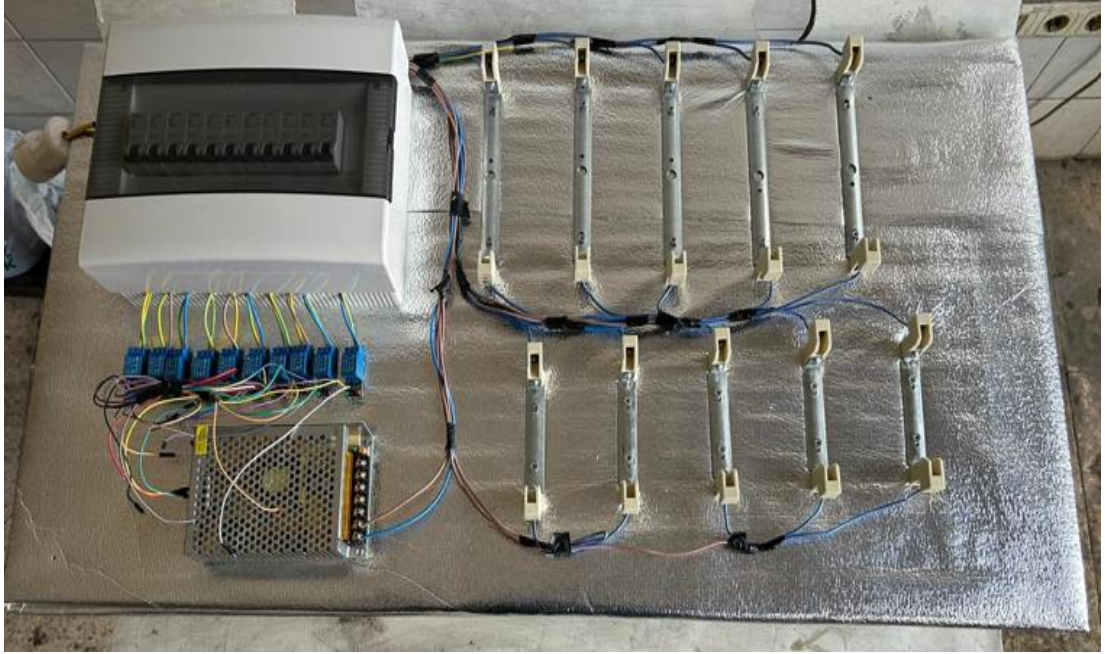
Test motoru Şekil 4.7'de görülmektedir. Deney düzeneği şemasında görülen yakıt deposu çıkarılarak yakıt tüketiminin tespit edilmesi için elektronik tartının üzerindeki tanka bağlanmıştır.



Şekil 4. 7. Deneyde kullanılan dizel motor .

4.2.2. Yükleme Ünitesi

Yük Birimi motor çalışmaya başladığında hedeflenmiş olan yükün uygulandığı ve bu yük ayarlarının yapıldığı birimden oluşmaktadır. Yükler 1000W ve 500W lık halojen lambalardan oluşmaktadır. Yük biriminde beş adet 1000 W ve beş adet 500 W olmak üzere toplam 7500 W elektrik yükü test edilebilmektedir. Bu yüklerin kontrol edildiği yük kontrol modülü mevcuttur. Bu modül sayesinde yük değişimi bilgisayar kontrollü olarak yapılabilmekte ve veri kayıtları yapılabilir. Bu çalışmada bu modül kullanılmamıştır. Bu deneylerde yük biriminin yanındaki sigorta kutusundan manuel yük ayarı yapılmıştır. Yapılan çalışmada deneyler esnasında dinamik yük değişimi olmamıştır. 500 W, 1000 W, 1500 W ve 2000 W yüklerde deneyler yapılmıştır. Elektriksel Yük ve Birimi Şekil 4.8’de görülmektedir.



Şekil 4. 8. Elektriksel yük birimi.

4.2.3. Egzoz Emisyonlarının Ölçümü

Egzoz emisyonları için kullanılan ölçüm cihazı şekil 4.9’da gösterilen Bilsa markadır. Cihazın üreticisinin kullanmış olduğu yazılım mevcuttur. Dizel motorun egzozundan

emisyön ölçüm cihazına gelen emisyönler bahsi geçen yazılımın arayüzü tarafından ölçülerek bilgisayarın arayüzü olan monitöre görüntüleri aktarmaktadır.



Şekil 4. 9. Egzöz emisyön cihazı.

Deneylerde kullanılan egzöz emisyönü ölçüm cihazı özellikleri Çizelge 4.4'te görülmektedir.

Çizelge 4. 4. Egzöz emisyön ölçüm cihazı özellikleri.

Özellikler	
Model	2007
Etkin L.(mm)	252
Çalışma Gerilimi (V)	220
Basınç (mbar)	150-1150
Tip	MOD 2210 WIN-XP

Aşağıda Çizelge 4.5'te egzoz emisyon ölçüm cihazı ölçüm yapılan emisyon teknik parametreleri görülmektedir.

Çizelge 4. 5. Egzoz emisyon ölçüm cihazı teknik parametreleri.

Parametreler	Ölçme Sınırı	Hassasiyet
CO	0-% 10	0,01%
CO ₂	0-% 20	0,01%
HC	0-10000	1 ppm
O ₂	0-% 25	0,01%
CO Corr	0-% 10	0,00%
NO _x (Opsiyon)	0-5000	1 ppm
Lambda	0-5, 2000	0,001
AFR	5-30	

4.2.4. Yakıt Tüketiminin Ölçülmesi

Şekil 4.10'da gösterilen yakıt tankı ve elektronik hassas teraziyle yakıt tüketimi ölçümü yapılmıştır. Dikomsan marka JS-B model hassas terazi kullanılmıştır. İlk olarak yakıt tankını ölçüm yapılacak olan terazinin üstüne konularak yakıt tankının darası alınmış ve sıfır değerine getirilmiştir. Daha sonra ise yakıt tankına belirlenen yakıt doldurularak test öncesinde yakıtın ağırlığı belirlenmiştir. Deneye başlanması ile kronometre çalıştırılmıştır. Bu tez çalışması için deneyler üç dakikalık periyotlar ile yapılmıştır. Üç dakikanın sonunda elektronik hassasiyeti yüksek olan terazi kontrol edilerek son değer kaydedilmiştir. İlk değer ve son değer arası fark bulunarak tüketilen yakıt miktarı kg/s türünden elde edilmiştir. Terazinin üzerinde bulunan yakıt, yakıt tankından motora şekilde görülmekte olduğu üzere iletilmektedir.



Şekil 4. 10. Yakıt tüketimi için ölçüm.

Tüm yakıt ve egzoz emisyonu kayıtları deneyler sonucunda analiz ve değerlendirmeler için hazır hale getirilmiştir.

4.2.5. Belirsizlik Analizi

Deneysel çalışmalarda ölçüm cihazlarındaki hassasiyet sebebiyle, ölçülen değerler öngörülemez bir oranda belirsizlik yani hata içerir. Bahsi geçen belirsizlik durumu, söz konusu büyüklükler kullanılarak hesaplanan diğer fiziksel büyüklüklerde de hataya sebep olmaktadır, bundan dolayı belirsizlik artarak devam etmektedir. Eğer, hedef büyüklükteki değişim, hesaplanan belirsizlik sınırları içerisinde kalıyorsa söz konusu değişim bir anlam ifade etmez. Bu nedenle, bu tezde olduğu gibi, özellikle deneysel çalışmalarda, ölçülen ve hesaplanan büyüklüklerin anlamlılığını ve güvenilirliğini incelemek amacıyla Kline ve McClintock tarafından önerilen yöntem ile belirsizlik analizinin yapılması gerekmektedir [87]. Bu yöntemle göre, ölçülen veya hesaplanan hedef fiziksel büyüklük ve büyüklüğe etki eden adet bağımsız değişkenler;

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ ise,

$$R = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) \quad (4.1)$$

yazılabilir.

Her bir bağımsız değişkene ait belirsizlik;

$W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$ ve,

R büyüklüğünün belirsizliği W_R ise,

$$W_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} \cdot W_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} \cdot W_2 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_3} \cdot W_3 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} \cdot W_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (4.2)$$

şeklinde hesaplanmaktadır [88].

Genel belirsizlik;

$$= \sqrt{\left[(B_{FÖYT})^2 + (B_{NOx})^2 + (B_{HC})^2 + (B_{CO})^2 + (B_{CO_2})^2 \right] + (B_{O_2})^2 + (B_{YÖ})^2 + (B_{DYÖ})^2} \quad (4.3)$$

şeklinde hesaplanmaktadır.

4.3. YANIT YÜZEY YÖNTEMİ (RSM) İLE OPTİMİZASYON

Yanıt Yüzey Yöntemi (Response Surface Methodology-RSM) olarak, istatistik ve matematik teknikleri ile test edilecek sistemin yanıtı modellenerek, optimize edilmesi için tercih edilen bir deney tasarım ve analiz tekniğidir [51]. RSM, regresyon analizi, matematiksel optimizasyon ve deney tasarımı metotlarını içeren bir dizi istatistik tekniklerinden meydana gelmektedir. Bu yöntem, sistem performansını iyileştirmek veya optimize etmek için yapılan deneylerden elde edilen verileri matematiksel modeller ile analiz eder. Sistem parametrelerini optimize etmeye yardımcı olur. Kimya, biyoloji, gıda, malzeme bilimi, üretim endüstrisi ve mühendislik gibi birçok alanda ürün kalitesini artırmak, maliyetleri azaltmak ve tasarım süreçlerini iyileştirmek amacıyla RSM uygulamaları kullanılmaktadır. Eşitlik 4.4. lineer bir fonksiyona dayanan en basit RSM modelidir [40].

$$\gamma = \beta_0 \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \varepsilon \quad (4.4)$$

β_0 sabit terimi, β_i lineer parametre katsayısını, γ bağımlı değişkeni, x_i bağımsız değişkenleri ve ε denemeler ile ilişkilendirilebilen artığı ifade etmektedir. Bu eşitlik birinci dereceden lineer bir eşitliği ifade eder ve sadece lineer yanıtların olduğu durumlarda kullanılabilir. Bulunan yanıtlar lineer olarak değişim göstermiyorsa bunu ortaya koyabilecek ikinci dereceden eşitlikler kullanılmalı ve eşitlikler farklı bağımlı değişkenlerin birbiriyle etkileşimini temsil eden terimlerden oluşmalıdır. Bu durum Eşitlik 4.5'te gösterilmiştir [51].

$$\gamma = \beta_0 \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \sum_{j \geq 1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (4.5)$$

Eşitlik 4.5'te görülen; i lineer katsayıları, j ikinci dereceden katsayıları, x_i ve x_j bağımsız değişkenleri, β_{ij} etkileşimli katsayıları simgelemektedir. 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 gösterilmiştir.

$$R^2 = 1 - \left[\frac{SS_{kalan}}{SS_{kalan} + SS_{model}} \right] \quad (4.6)$$

$$düz. R^2 = 1 - \left[\frac{\left(\frac{SS_{kalan}}{df_{kalan}} \right)}{\left(\frac{SS_{kalan} + SS_{model}}{df_{kalan} + df_{model}} \right)} \right] \quad (4.7)$$

$$tah. R^2 = 1 - \left[\frac{PRESS}{SS_{kalan} + SS_{model}} \right] \quad (4.8)$$

$$PRESS = \sum_{i=1}^n (e - 1)^2 \quad (4.9)$$

$$(e - 1) = 1 - \frac{e_i}{1-h_{ii}} \quad (4.10)$$

Bu çalışmada 2-EHN ve kenevir tohumu yağı eklenmiş olan dizel yakıt karışımları ve dizel yakıtın emisyon analizi yapılmış, optimum yakıt karışımını ve motor yükünü belirlemek için RSM kullanılmıştır. Optimizasyon gerçekleştirilirken emisyonların düşük olması istenmiş ve MINITAB programı kullanılmıştır.



BÖLÜM 5

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada tek silindirli bir dizel motor kullanılarak dört farklı türü ve elde edilen elektrik enerjisiyle dört farklı yükte dört farklı yakıt türü üzerinde yapılmıştır. Çizelge 5.1’de motor test sonuçları verilmiştir. FÖYT (g/kWh) ve CO (%), HC (ppm), CO₂ (%), O₂ (%), NO_x (ppm) gibi egzoz emisyon değerleri verileri elde edilmiştir. Ayrıca RSM yapılarak optimizasyon sağlanmıştır.

Çizelge 5. 1. Deneysel sonuçlar.

Yakıt	Motor Yüğü (W)	FÖYT (g/kWh)	CO (%)	HC (ppm)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	NO _x (ppm)
D80K5E15	500	993.76	0.044	18.00	3.58	16.50	284.67
D80K5E15	1,000	518.10	0.029	6.67	4.46	15.49	384.67
D80K5E15	1,500	416.08	0.028	8.33	5.22	14.60	483.00
D80K5E15	2,000	412.14	0.027	13.33	6.45	13.04	607.67
D82.5K5E12.5	500	814.25	0.033	15.67	3.48	16.84	318.33
D82.5K5E12.5	1,000	518.31	0.027	3.00	4.24	15.82	386.67
D82.5K5E12.5	1,500	431.37	0.026	5.00	5.09	14.72	506.67
D82.5K5E12.5	2,000	324.22	0.025	9.33	5.99	13.50	668.00
D85K5E10	500	833.60	0.035	20.00	3.45	16.51	315.33
D85K5E10	1,000	492.92	0.033	9.67	4.36	15.50	383.33
D85K5E10	1,500	379.25	0.033	5.00	5.18	14.46	481.00
D85K5E10	2,000	305.82	0.031	12.67	6.12	13.27	594.67
D100	500	877.82	0.051	26.00	3.58	16.36	186.33
D100	1,000	549.02	0.041	14.00	4.24	15.54	294.67
D100	1,500	322.60	0.037	6.67	5.24	14.50	360.33
D100	2,000	276.48	0.027	17.33	6.18	13.29	483.67

5.1. FREN ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMİ (FÖYT)

Deneyle sırasında motor, 500 W, 1000 W, 1500 W ve 2000 W gibi 4 aşamalı yük uygulanmış ve FÖYT'ün motor yüküne göre değişimi genel olarak Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Tüm çalışmaların yüke göre ve yakıtı göre FÖYT değerlendirmeleri Şekil 5.1'de görüldüğü üzere ele alınmıştır.

5.1.1. Yakıt Karışımı FÖYT Değişimi

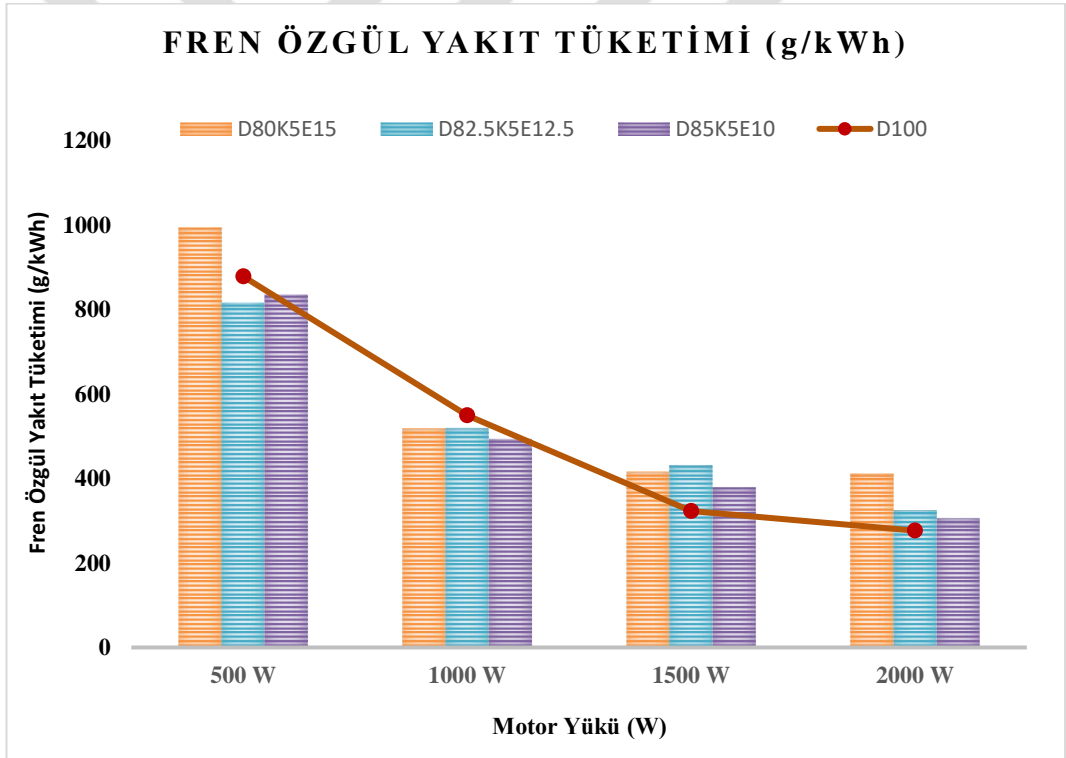
D85K5E10 yakıtında yakıt tüketimi yük arttıkça azalmakta olduğu görülmektedir. 500 W motor yükünde 833,60 g/kWh iken 2.000 W motor yükünde 305,82 g/kWh FÖYT olmuştur. D82.5K5E12.5 yakıtında yakıt tüketimi yük arttıkça azalmakta olduğu görülmektedir. 500 W motor yükünde 814,25 g/kWh ile dört yakıt karışımı içerisinde en düşük FÖYT olurken 2000 W motor yükünde 324,22 g/kWh FÖYT olmuştur. D80K5E15 yakıtında yakıt tüketimi yük arttıkça azalmakta olduğu görülmektedir. 500 W motor yükünde 993,76 g/kWh iken 2000 W motor yükünde 412,14 g/kWh FÖYT olmuştur. D100 yakıtında yakıt tüketimi yük arttıkça azalmakta olduğu görülmektedir. 500 W motor yükünde 877,76 g/kWh iken 2.000 W motor yükünde 276,48 g/kWh FÖYT ile dört yakıt içerisinde en düşük FÖYT olmuştur.

5.1.2. Motor Yükü İçin Dene Yayı Yakıtları FÖYT Değişimi

500 W motor yükünde; D80K5E15 yakıt karışımı 993,76 g/kWh FÖYT ile tüm yakıtlar için en yüksek değerde iken, D82.5K5E12.5 yakıt karışımı 814,25 g/kWh ile tüm yakıtlar için en düşük değerde FÖYT elde edilmiştir. 1.000 W motor yükünde; D100 yakıt karışımı 549,02 g/kWh FÖYT ile tüm yakıtlar için en yüksek değerde iken, D85K5E10 yakıt karışımı 292,92 g/kWh ile tüm yakıtlar için en düşük değerde FÖYT elde edilmiştir. 1.500 W motor yükünde; D82.5K5E12.5 yakıt karışımı 431,37 g/kWh FÖYT ile tüm yakıtlar için en yüksek değerde iken, D100 yakıtında 322,60 g/kWh ile tüm yakıtlar için en düşük değerde FÖYT elde edilmiştir. 2.000 W motor yükünde; D80K5E15 yakıt karışımı 412,14 g/kWh sonuçlu FÖYT ile tüm yakıtlar için en yüksek değerde iken, D100 yakıtında 276,48 g/kWh ile tüm yakıtlar için en düşük değerde FÖYT elde edilmiştir.

5.1.3. Yüke Göre Genel FÖYT Değişimi

Deneysel olarak elde edilen tüm FÖYT değerleri Şekil 5.1’de görülmektedir. 500 W yükte FÖYT değeri D80K5E15 yakıt karışımında en yüksek olurken, aynı yük için en düşük Fren özgül yakıt tüketimi D82.5K5E12.5 yakıt karışımında gerçekleşmiştir. 1.000 W güçte D80K5E15 ve D82.5K5E12.5 karışımları en yüksek ve eşit FÖYT’ü üretirken, D85K5E10 karışımı en düşük tüketimi göstermiştir. D82.5K5E12.5 karışımı 1.500 W güçte en yüksek tüketimi üretirken, D100 yakıtı en az FÖYT olmuştur. D80K5E15 karışımı 2.000 W güçte en yüksek tüketimi yaparken, D100 yakıtı da minimum tüketimi görülmüştür.



Şekil 5. 1. Yüke göre FÖYT oranının değişimi.

En düşük yakıt tüketimi 2.000 W motor yükünde D100 yakıtı ile 276,48 g/kWh olarak elde edilmiştir. Bir diğer sonuç ise tüm yakıtlar için motor yükünün artmasıyla yakıt tüketiminin azaldığıdır. FÖYT doğrudan yakıtın alt ısıl değeriyle ilişkilidir. Kullanılan HSO₄ ve 2-EHN’nin her ikisi de düşük alt kalorifik değere sahip yakıtlar olduğundan

yakıt karışımları da dizel yakıtından daha düşük kalorifik değere sahiptir. Dolayısıyla en düşük özgül yakıt tüketimi dizel yakıtında meydana gelmektedir. Başka bir deyişle, alt kalorifik değer anlamı şudur; g/kWh özgül yakıt tüketimi, 1 kW/h güç üretmek için tüketilmesi gereken yakıtı temsil eder. Şimşek vd. (2022) [21] tarafından yapılan çalışmada, diğer karışımlara eklenen %1, %2, %3 oranında dizel yakıt ile karıştırılarak deneyler yapılmıştır, 2-EHN'nin D100 yakıtına kıyasla FÖYT'yi artırdığı görülmüştür.

5.2. CO EMİSYONLARI

Dört farklı yakıtın dört farklı motor yükündeki CO (%) emisyonları üzerindeki etki incelenmiştir. Tüm çalışmaların yüke göre ve yakıtı göre değerlendirmeleri ayrıntıları Şekil 5.2'de görüldüğü üzere ele alınmıştır.

5.2.1. Yakıt Karışımı CO Emisyonu (%) Değişimi

D80K5E15 yakıtında CO (%) yük arttıkça azalmakta olduğu görülmektedir. 500 W motor yükünde 0,044 ile tüm yükler içerisinde en yüksek değer iken 2.000 W motor yükünde 0,027 ile tüm yükler içerisinde en düşük CO (%) egzoz emisyonu oluşmuştur. D82.5K5E12.5 yakıtında CO (%) yük arttıkça azalmakta olduğu görülmektedir. 500 W motor yükünde 0,033 ile tüm yükler içerisinde en yüksek değer iken 2000 W motor yükünde 0,025 ile tüm yükler içerisinde en düşük CO (%) egzoz emisyonu oluşmuştur. D85K5E10 yakıtında CO (%) emisyonu görülmektedir. 1000 W motor yükünde 0,033 ile tüm yükler içerisinde en yüksek değer ile tüm yükler içerisinde en yüksek değer iken 2.000 W motor yükünde 0,031 ile tüm yükler içerisinde en düşük CO (%) egzoz emisyonu oluşmuştur. D100 yakıtında CO (%) emisyonu görülmektedir. 500 W motor yükünde 0,051 ile tüm yükler içerisinde en yüksek değer ile tüm yükler içerisinde en yüksek değer iken 2.000 W motor yükünde 0,027 ile tüm yükler içerisinde en düşük CO (%) egzoz emisyonu oluşmuştur.

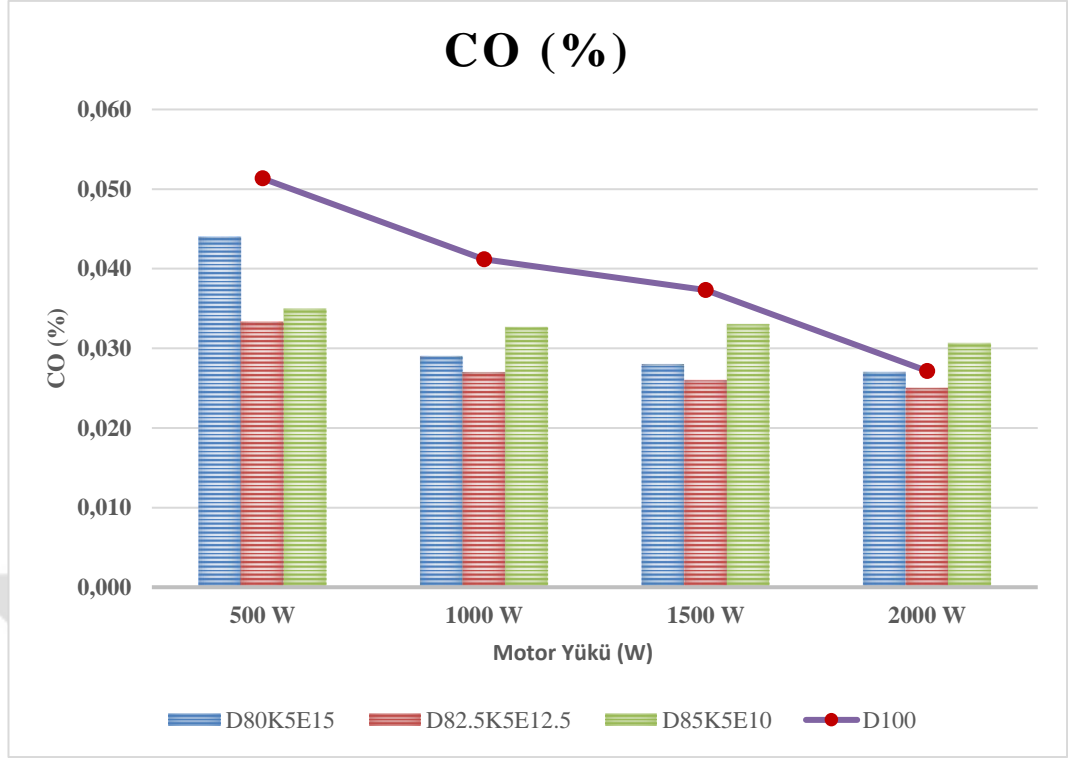
5.2.2. Motor Yüğü İçin Deney Yakıtları CO (%) Değişimi

500 W motor yükünde; D100 yakıtı 0,051 ile tüm yakıtlar için en yüksek değerde iken, D82.5K5E12.5 yakıt karışımı 0,033 ile tüm yakıtlar için için en düşük değerde CO emisyonu elde edilmiştir. 1.000 W motor yükünde; D100 yakıtı 0,041 ile tüm yakıtlar için en yüksek değerde iken, D82.5K5E12.5 yakıt karışımı 0,027 ile tüm yakıtlar için için en düşük değerde CO emisyonu elde edilmiştir. 1.500 W motor yükünde; D100 yakıtı 0,037 ile tüm yakıtlar için en yüksek değerde iken, D82.5K5E12.5 yakıt karışımı 0,026 ile tüm yakıtlar için için en düşük değerde CO emisyonu elde edilmiştir. 2000 W motor yükünde; D85K5E10 yakıtı 0,031 ile tüm yakıtlar için en yüksek değerde iken, D82.5K5E12.5 yakıt karışımı 0,025 ile tüm yakıtlar için için en düşük değerde CO emisyonu elde edilmiştir.

5.2.3. Motor Yüğü İçin Deney Yakıtları Genel CO (%) Değişimi

D85K5E10 karışımının CO emisyonları 4 farklı motor yükünde yaklaşık olarak benzer değerler elde edilmiştir. 2.000 W yükte, D82.5K5E12.5 karışımı D100 yakıtıyla aynı CO emisyon salınımı olmuştur. Tüm motor yüklerinde D82.5K5E12.5 yakıt karışımında en düşük seviyede olduğu görülmüştür. Düşük yüklerde silindirde zengin bir karışım olduğundan, CO emisyonları artar [27].

Şekil 5.2'de ilk üç motor yükü için en yüksek CO emisyonları D100 yakıtında olduğu görülmektedir. Kenevir biyodizelinin CO emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunduğu gösterilmiştir. Yük arttıkça, dizel yakıtı ile diğer karışımlar arasındaki CO emisyon farkı azaldı. Düşük yükte CO emisyonu ile dizel arasındaki farkın daha fazla olmasının, yük arttıkça ise dizel ile diğer yakıt karışımları arasındaki farkın azalmasının nedeni; yüksek yüklerde karışımın oluşması için yeterli zamanın bulunmaması ve kenevir biyodizelinin yüksek viskozitesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 5. 2. Yüğe göre CO oranının değışimi.

CO emisyonunun, zengin yakıt-hava bölgelerinde difüzyon yanmasını artırdığı düşünülmektedir [89], burada 2-EHN oranı tam yanma oranını artırır [21]. Ayrıca Şekil 5.2'de üç karışım yakıtla elde edilen CO emisyonlarının D100'den daha düşük olduğu görülmektedir. Karışım yakıtının oksijen içeriği nedeniyle silindirdeki oksijen miktarı artmış, eksik yanma oranı azalmış ve CO emisyonları düşmüştür. En düşük CO emisyonu, 2.000 W yükte D82.5K5E12.5 yakıtı ile %0,025 olarak belirlenmiştir. Yine aynı yakıt karışımında CO emisyonu %0,033 olmuştur. Aynı yükte D100 ile karşılaştırıldığında %35 gibi daha düşük emisyonlar elde edilmiştir. Şimşek ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmalarda, CO emisyonlarında benzer bir azalma gözlemlenmiştir [21].

5.3. HC EMİSYONLARI

Dört farklı yakıtın dört farklı motor yükündeki HC (ppm) emisyonları üzerindeki etki incelenmiştir. Tüm çalışmaların yüğe göre ve yakıtı göre değerlendirmeleri ayrıntıları Şekil 5.3'te görüldüğü üzere ele alınmıştır.

5.3.1. Yakıt Karışımı HC Emisyonu Değişimi

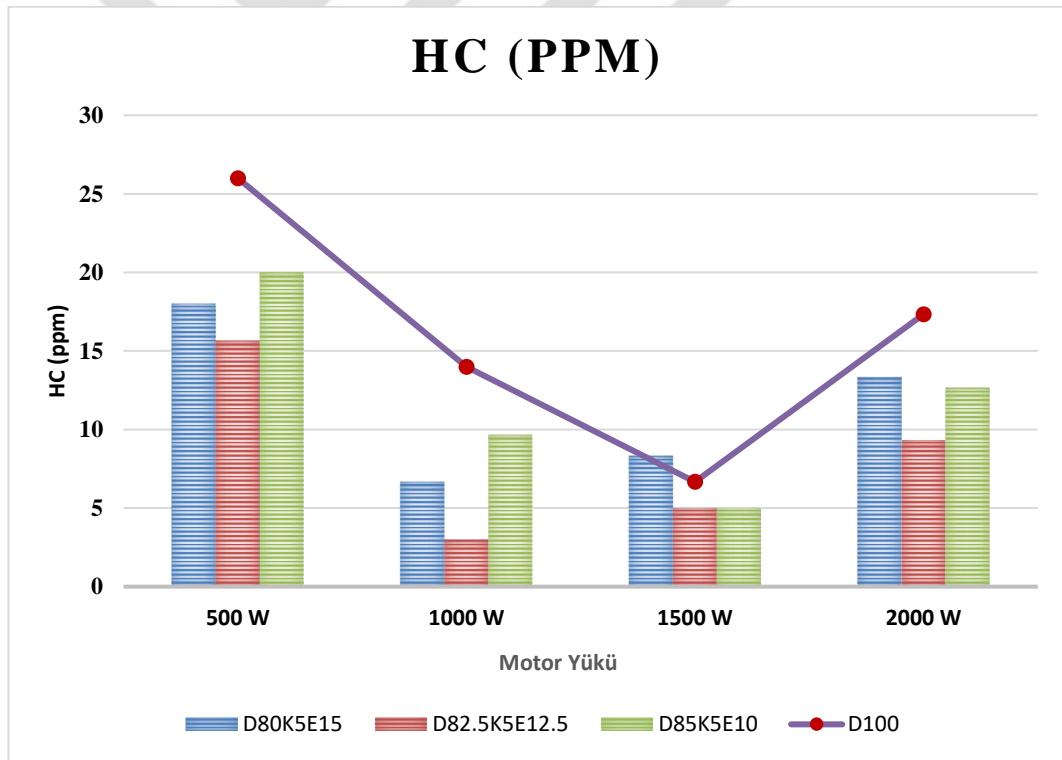
D80K5E15 yakıtının dört test yükündeki HC (ppm) davranışları görülmektedir. 500 W motor yükünde 18 ppm ile tüm yükler içerisinde en yüksek değer iken 1000 W motor yükünde 6,67 ppm ile tüm yükler içerisinde en düşük HC (ppm) egzoz emisyonu oluşmuştur. D82.5K5E12.5 yakıtının dört test yükündeki HC (ppm) davranışları görülmektedir. 500 W motor yükünde 15,67 ppm ile tüm yükler içerisinde en yüksek değer iken 1.000 W motor yükünde 3 ppm ile tüm yükler içerisinde en düşük HC (ppm) egzoz emisyonu oluşmuştur. D85K5E10 yakıtının dört test yükündeki HC (ppm) davranışları görülmektedir. 500 W motor yükünde 20 ppm ile tüm yükler içerisinde en yüksek değer iken 1500 W motor yükünde 5 ppm ile tüm yükler içerisinde en düşük HC (ppm) egzoz emisyonu oluşmuştur. D100 yakıtının dört test yükündeki HC (ppm) davranışları görülmektedir. 500 W motor yükünde 26 ppm ile tüm yükler içerisinde en yüksek değer iken 1500 W motor yükünde 7 ppm ile tüm yükler içerisinde en düşük HC (ppm) egzoz emisyonu oluşmuştur.

5.3.2. Motor Yükü İçin Deney Yakıtları HC (ppm) Değişimi

500 W motor yükünde deney yakıtlarının HC (ppm) emisyonu davranışları görülmektedir. 500 W motor yükünde; D100 yakıtı 26 ppm ile tüm yakıtlar için en yüksek değerde iken, D82.5K5E12.5 yakıt karışımı 16 ppm ile tüm yakıtlar için için en düşük değerde HC emisyonu elde edilmiştir. 1.000 W motor yükünde; D100 yakıtı 14 ppm ile tüm yakıtlar için en yüksek değerde iken, D82.5K5E12.5 yakıt karışımı 3 ppm ile tüm yakıtlar için için en düşük değerde HC emisyonu elde edilmiştir. 1500 W motor yükünde; D80K5E15 yakıtı 8,33 ppm ile tüm yakıtlar için en yüksek değerde iken, D82.5K5E12.5 ve D85K5E10 yakıt karışımı 5 ppm ile tüm yakıtlar için için en düşük değerde HC emisyonu elde edilmiştir. 2.000 W motor yükünde; D100 yakıtı 17 ppm ile tüm yakıtlar için en yüksek değerde iken, D82.5K5E12.5 yakıt karışımı 9 ppm ile tüm yakıtlar için için en düşük değerde HC emisyonu elde edilmiştir.

5.3.3. Motor Yükleri İçin Deney Yakıtları Genel HC (ppm) Değişimi

HC emisyonları yakıtın yetersiz yanması nedeniyle oluşur [90] ve silindirlerde eksik yanma işlemi nedeniyle oluşan CO yanması gibidir. Motor silindirindeki yanma sona erdikten sonra, yetersiz oksijen nedeniyle yarı yanmış yakıtın bir kısmı egzoz pompalama stroğu ile silindirden dışarı atılır ve HC emisyonlarına neden olur [21]. Çeşitli motor yüklerinde HC emisyonlarının değişiminin bir grafiği Şekil 5.3'te verilmiştir. HC emisyonlarının tüm motor yüklerinde D82.5K5E12.5 yakıt karışımında en düşük seviyede olduğu görülmektedir. Üç motor yükü için de en yüksek HC emisyonları D100 yakıtındadır. Kenevir biyodizelinin emisyonları azaltmadaki olumlu katkısı gözlemlenmiştir. Normal koşullar altında, HC'nin artan yüklerle artması beklenir, burada 500 W güçte çok yükselmiştir. Deneyle motor 50 °C'ye soğutulmuştur. Deney devam ederken yük artırılmamıştır. Deneyle 3.000 devir/dakika motor devrinde ve tam gaz açıklığında yapılmıştır.



Şekil 5. 3. Yüke göre HC oranının değişimi.

HC emisyonları, tüm yüklerde D100'den ve 1.500 W yükte D80K5E15 yakıtı hariç yakıt karışımlarından daha düşüktür. Özellikle, D82.5K5E12.5 yakıtının kullanımından kaynaklanan HC emisyonları diğer yakıtlardan çok daha düşüktür.

D82.5K5E12.5 yakıt karışımı yüklerinin ortalama HC emisyonlarının D100 yakıtından %42,55 daha az olduğu gözlemlenmiştir. En düşük HC emisyon değeri, 3 ppm ile D82.5K5E12.5 yakıtından elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen HC emisyonları 2-EHN katkısı kullanılmış olan referans çalışma ile uyumludur [25].

5.4. CO₂ EMİSYONLARI

Dört farklı yakıtın dört farklı motor yükündeki CO₂ (%) emisyonları üzerindeki etki incelenmiştir. Tüm çalışmaların yüke göre ve yakıtta göre değerlendirmeleri Şekil 5.4'te görüldüğü üzere ele alınmıştır.

5.4.1. Yakıt Karışımı CO₂ Emisyonu (%) Değişimi

D80K5E15 yakıtının dört test yükündeki CO₂ (%) davranışları görülmektedir. 2.000 W motor yükünde 6,45 ile tüm yükler içerisinde en yüksek değer iken 500 W motor yükünde 3.58 ile tüm yükler içerisinde en düşük CO₂ (%) egzoz emisyonu oluşmuştur. D82.5K5E12.5 yakıtının dört test yükündeki CO₂ (%) davranışları görülmektedir. 2.000 W motor yükünde 5,99 ile tüm yükler içerisinde en yüksek değer iken 500 W motor yükünde 3.48 ile tüm yükler içerisinde en düşük CO₂ (%) egzoz emisyonu oluşmuştur. D85K5E15 yakıtının dört test yükündeki CO₂ (%) davranışları görülmektedir. 2.000 W motor yükünde 6,12 ile tüm yükler içerisinde en yüksek değer iken 500 W motor yükünde 3.45 ile tüm yükler içerisinde en düşük CO₂ (%) egzoz emisyonu oluşmuştur. D100 yakıtının dört test yükündeki CO₂ (%) davranışları görülmektedir. 2.000 W motor yükünde 6,18 ile tüm yükler içerisinde en yüksek değer iken 500 W motor yükünde 3.58 ile tüm yükler içerisinde en düşük CO₂ (%) egzoz emisyonu oluşmuştur.

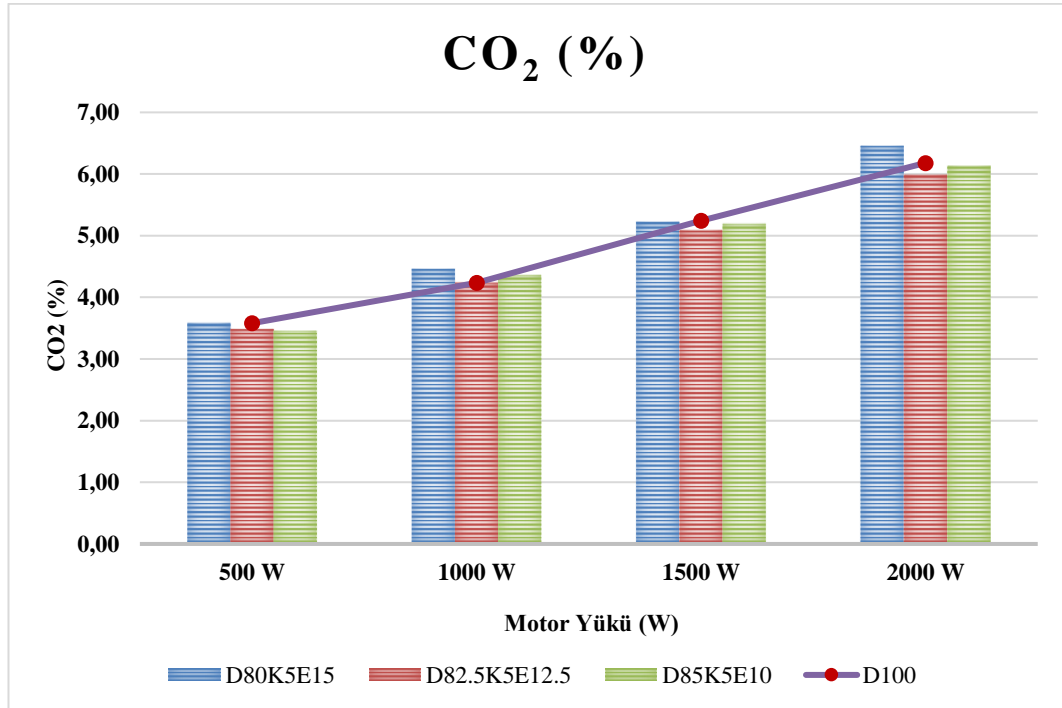
5.4.2. Motor Yüğü İçin Deney Yakıtları CO₂ (%) Değişimi

500 W motor yükünde; D100 yakıtı 3,58 ile tüm yakıtlar için en yüksek değerde iken, D85K5E10 yakıt karışımı 3,45 ile tüm yakıtlar için için en düşük değerde CO₂ (%) emisyonu elde edilmiştir. 1.000 W motor yükünde; D80K5E15 yakıtı 4,46 ile tüm yakıtlar için en yüksek değerde iken, D82.5K5E12.5 yakıt karışımı 4.24 ile tüm

yakıtlar için için en düşük değerde CO₂ (%) emisyonu elde edilmiştir. 1.500 W motor yükünde; D100 yakıtı 5,24 ile tüm yakıtlar için en yüksek değerde iken, D82.5K5E12.5 yakıt karışımı 5,09 ile tüm yakıtlar için için en düşük değerde CO₂ (%) emisyonu elde edilmiştir. 2.000 W motor yükünde; D80K5E15 yakıtı 6,45 ile tüm yakıtlar için en yüksek değerde iken, D82.5K5E12.5 yakıt karışımı 5,99 ile tüm yakıtlar için için en düşük değerde CO₂ (%) emisyonu elde edilmiştir.

5.4.3. Motor Yükleri İçin DeneY Yakıtları Genel CO₂ (%) Değişimi

Yapılan deneylerde elde edilen CO₂ emisyonlarının çeşitli yüklerde dört farklı yakıt için durumu Şekil 5.4'te verilmiştir. Yanma işleminin tamamı yanma odasında meydana gelirse, CO₂ seviyesi maksimum noktaya ulaşır [91]. Motor yükü arttıkça, oluşan CO₂ miktarının da arttığı açıkça görülmektedir. Bu, içten yanmalı motorlar için normal bir olgudur. Motor yükleri arttığında D100 emisyonları yükselmektedir. 500 W, 1000 W ve 1500 W adımlarındaki motor yükleri için CO₂ seviyeleri tüm yakıt karışımları için neredeyse eşittir. Sadece D80K5E15 yakıtı için CO₂ seviyesi biraz daha yüksektir.



Şekil 5. 4. Yüke Göre CO₂ oranının değişimi.

Şekil 5.4'te D100 yakıtına kıyasla üç farklı yakıt karışımının ortalamasında CO₂ emisyonlarında çok düşük bir azalma (%0,7) olduğu görülmüştür. Referans çalışmada, CO₂ emisyonlarındaki genel azalma yönünde küçük değişiklikler gösterdiği görülmektedir [92].

5.5. NO_x EMİSYONLARI

Dört farklı yakıtın dört farklı motor yükündeki NO_x (ppm) emisyonları üzerindeki etki incelenmiştir. Tüm çalışmaların yüke göre ve yakıtı göre değerlendirmeleri Şekil 5.5'te görüldüğü üzere ele alınmıştır.

5.5.1. Yakıt Karışımı NO_x Emisyonu (ppm) Değişimi

D80K5E15 yakıtının dört test yükündeki NO_x (ppm) davranışları görülmektedir. 2.000 W motor yükünde 607,67 ppm ile tüm yükler içerisinde en yüksek değer iken 500 W motor yükünde 284,67 ppm ile tüm yükler içerisinde en düşük NO_x (ppm) egzoz emisyonu oluşmuştur. D82.5K5E12.5 yakıtının dört test yükündeki NO_x (ppm) davranışları görülmektedir. 2.000 W motor yükünde 668 ppm ile tüm yükler içerisinde en yüksek değer iken 500 W motor yükünde 318,33 ppm ile tüm yükler içerisinde en düşük NO_x (ppm) egzoz emisyonu oluşmuştur. D85K5E10 yakıtının dört test yükündeki NO_x (ppm) davranışları görülmektedir. 2.000 W motor yükünde 594,67 ppm ile tüm yükler içerisinde en yüksek değer iken 500 W motor yükünde 315,33 ppm ile tüm yükler içerisinde en düşük NO_x (ppm) egzoz emisyonu oluşmuştur. D100 yakıtının dört test yükündeki NO_x (ppm) davranışları görülmektedir. 2.000 W motor yükünde 484 ppm ile tüm yükler içerisinde en yüksek değer iken 500 W motor yükünde 186 ppm ile tüm yükler içerisinde en düşük NO_x (ppm) egzoz emisyonu oluşmuştur.

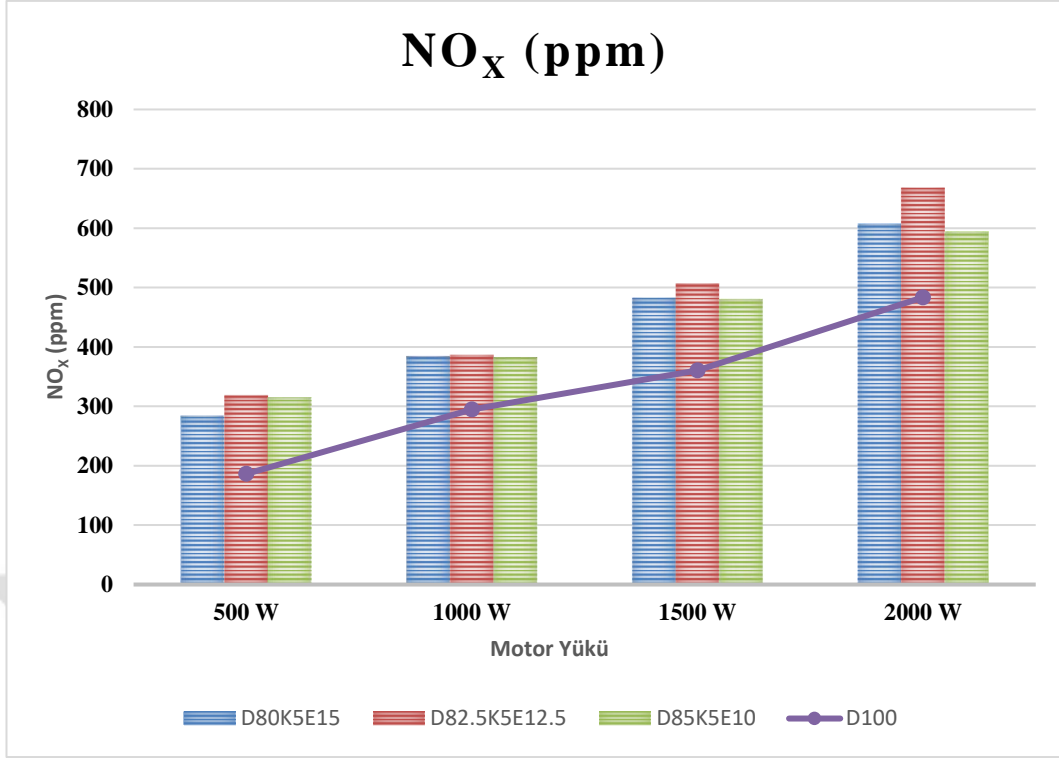
5.5.2. Motor Yüğü İçin Deney Yakıtları NO_x (ppm) Değişimi

500 W motor yükünde; D82.5K5E12.5 yakıtı 318 ppm ile tüm yakıtlar için en yüksek değerde iken, D100 yakıtı 186 ppm ile tüm yakıtlar için için en düşük değerde NO_x emisyonu elde edilmiştir. 1.000 W motor yükünde; D85K5E10 yakıtı 383ppm ile tüm

yakıtlar için en yüksek değerde iken, D100 yakıtı 295 ppm ile tüm yakıtlar için için en düşük değerde NO_x emisyonu elde edilmiştir. 1500 W motor yükünde; D82.5K5E12.5 yakıtı 507 ppm ile tüm yakıtlar için en yüksek değerde iken, D100 yakıtı 360 ppm ile tüm yakıtlar için için en düşük değerde NO_x emisyonu elde edilmiştir. 2.000 W motor yükünde; D82.5K5E12.5 yakıtı 668 ppm ile tüm yakıtlar için en yüksek değerde iken, D100 yakıtı 484 ppm ile tüm yakıtlar için için en düşük değerde NO_x emisyonu elde edilmiştir.

5.5.3. Motor Yükleri İçin Deney Yakıtları Genel NO_x (ppm) Değişimi

NO_x emisyonları, içten yanmalı motorlardan kaynaklanan çok önemli ve zararlı egzoz emisyonlarındanır. NO_x emisyonu, NO ve NO₂ gazlarının toplamından oluşur. Heywood'a (1988) göre, egzozdaki NO_x'in %10-30'u NO₂'den oluşur [91]. NO_x oluşumu endotermik bir reaksiyondur ve yanma sıcaklığıyla doğru orantılıdır. Motorlarda bu NO_x oluşumunu azaltmak için uygulanan yöntemlerden biri, yanma sıcaklığını düşüren "su enjeksiyonu" uygulamasıdır [93]. Bu çalışmada, CO ve HC'deki azalma ve CO₂'deki göreceli azalma, kullanılan yakıtın yüksek kaliteli yakıt kullanımını ifade ettiğini göstermektedir. CO₂'deki artış, küresel ısınma ve atmosferik anomaliler için istenmeyen bir durumdur. CO, akciğer ve solunum sistemi bozukluklarına neden olduğu için çok daha zararlıdır. Bu çalışmanın amacı emisyonlardaki CO ve HC'yi azaltmaktır. CO ve HC emisyonlarını azaltmak için tam yanma gereklidir. Tam yanma meydana geldikçe silindir sıcaklığı artar ve NO_x emisyonları da artar [91]. Zhang ve diğerlerinin çalışmaları, EGR yardımıyla silindir çalışmasını azaltarak NO_x emisyonlarını kademeli olarak azaltmıştır [94]. Havada bulunan ve yanma üzerinde olumlu bir etkisi olmayan azot, yüksek silindir içi yanma sıcaklığının etkisi altında ortamdaki oksijen alır ve NO_x oluşturur. NO_x emisyonları, atmosferdeki fiziksel ve kimyasal koşulların etkisi altında nitrik asit oluşturur. NO_x emisyonları, petrolün geleneksel yanmasının ve dolayısıyla biyodizel karışımlarının ve içten yanmalı proseslerdeki yakıtların, özellikle sıkıştırma ateşlemeli motorların bir ürünüdür [95]. Enjeksiyon proseslerinin dizel motorlarda yakıt yanmasını ve egzoz emisyonlarını, özellikle NO_x'u etkilediği bilinmektedir [96]. Motor yükü arttıkça silindir sıcaklığı da artar. NO_x emisyonlarının farklı yakıtlar ve motor yükleri için değişimleri Şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5. 5. Yüke göre NO_x değişimi (ppm).

Şekil 5.5'te NO_x emisyonunun tüm motor yüklerinde D100 yakıtı için en düşük seviyede olduğunu göstermektedir. Diğer yakıt karışımlarında ise D100'den daha yüksek NO_x emisyonu meydana gelmiştir.

Her güç artışında, D82.5K5E12.5 yakıt karışımı en yüksek NO_x emisyonlarını vermiştir. 2000 W dışındaki yüklerde, yakıt karışımlarının NO_x emisyonları birleştirildi. Yakıt karışımları, 500 W güç koşullarında en düşük emisyonlara sahip olduğu görülmektedir. Bu çalışmada, NO_x emisyonlarının arttığı görülmektedir. Ayrıca, tüm test yakıtları arasında en düşük NO_x emisyonları, tüm yüklerde D100 yakıtı tarafından elde edilmiştir. 2-EHN ve biyodizelin oksijen bileşeni nedeniyle, tam yanma oranı arttıkça NO_x emisyonlarının, aynı zamanda silindir içi sıcaklığın arttığı gözlemlenmektedir. Ek olarak, 2-EHN'nin nitrojen içeriği, 2-EHN içeren yakıt karışımlarında artan NO_x emisyonlarına neden olmuştur. En yüksek NO_x emisyonu 500 W yükte D82.5K5E12.5 ile elde edilirken, en düşük NO_x emisyonu 500 W yükte D100 ile elde edilmiştir. Referans çalışmada, 99 D+ 1 2-EHN ve NO_x emisyonlarının D100'den %44,67 daha yüksek olduğu görülmüştür [21].

Bu çalışmada, D82.5K5E12.5 yakıt karışımının NO_x emisyonları D100 yakıtından %41,4 daha yüksek olup, sonuçlarla uyumluluğu göstermektedir. Yakıt çeşitlendirmesi, motor emisyonlarını azaltmanıza ve performans artışının gerçekleştirmenize olanak tanımaktadır [97].

Dizel, biyodizel ve dizel-biyodizel karışımlarında 2-EHN yakıt katkısının NO_x emisyonlarının artmasına neden olmaktadır. Bu sorun birçok çalışmada gözlenmiştir [98]. Fakat bazı çalışmalarda 2-EHN ilavesinin NO_x emisyonları üzerinde olumlu bir etkisi olduğunu göstermektedir [99]. 2-EHN'nin NO_x emisyonları üzerinde olumlu bir etkisinin gösterilmesi, dizel ve 1-bütanol karışımları dahil olmak üzere alternatif yakıtlar için bu katkı maddesinin etkinliği üzerine çalışmalara olan ihtiyacı daha da haklı çıkarmaktadır [100].

5.6. O₂ EMİSYONLARI

Dört farklı yakıtın dört farklı motor yükündeki O₂ (ppm) emisyonları üzerindeki etki incelenmiştir. Tüm çalışmaların yüke göre ve yakıtı göre değerlendirmeleri Şekil 5.6'da ele alınmıştır.

5.6.1. Yakıt Karışımı O₂ Emisyonu (ppm) Değişimi

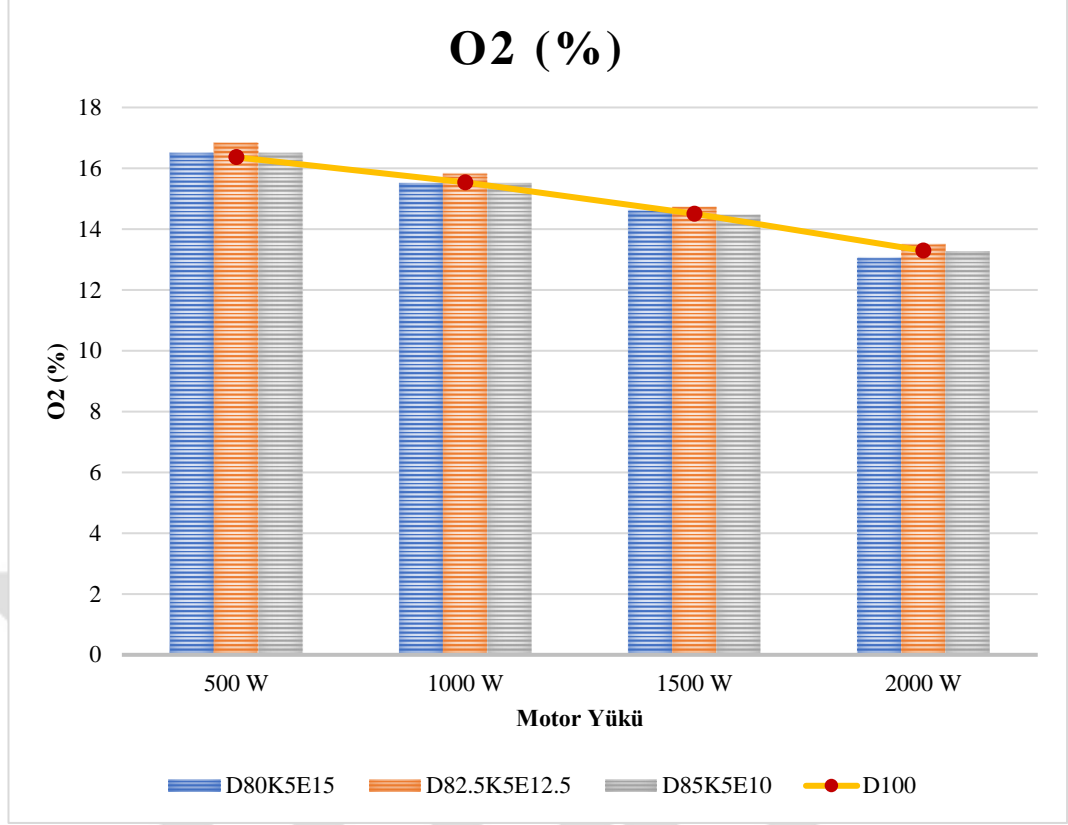
D80K5E15 yakıtının dört test yükündeki O₂ (%) davranışları görülmektedir. 500 W motor yükünde 16,5 ile tüm yükler içerisinde en yüksek değer iken 2.000 W motor yükünde 13,04 ile tüm yükler içerisinde en düşük O₂ (%) egzoz emisyonu oluşmuştur. D82.5K5E12.5 yakıtının dört test yükündeki O₂ (%) davranışları görülmektedir. 500 W motor yükünde 16,5 ile tüm yükler içerisinde en yüksek değer iken 2.000 W motor yükünde 13,04 ile tüm yükler içerisinde en düşük O₂ (%) egzoz emisyonu oluşmuştur. D85K5E10 yakıtının dört test yükündeki O₂ (%) davranışları görülmektedir. 500 W motor yükünde 16,51 ile tüm yükler içerisinde en yüksek değer iken 2000 W motor yükünde 13,27 ile tüm yükler içerisinde en düşük O₂ (%) egzoz emisyonu oluşmuştur. D100 yakıtının dört test yükündeki O₂ (%) davranışları görülmektedir. 500 W motor yükünde 16,51 ile tüm yükler içerisinde en yüksek değer iken 2.000 W motor yükünde 13,27 ile tüm yükler içerisinde en düşük O₂ (%) egzoz emisyonu oluşmuştur.

5.6.2. Motor Yüğü İçin Deney Yakıtları O₂ (%) Değişimi

500 W motor yükünde; D82.5K5E12.5 yakıtı 16,84 ile tüm yakıtlar için en yüksek değerde iken, D100 yakıt karışımı 16,36 ile tüm yakıtlar için için en düşük değerde O₂ (%) emisyonu elde edilmiştir. 1.000 W motor yükünde; D82.5K5E12.5 yakıtı 15,82 ile tüm yakıtlar için en yüksek değerde iken, D85K5E10 yakıt karışımı 15,5 ile tüm yakıtlar için için en düşük değerde O₂ (%) emisyonu elde edilmiştir. 1.500 W motor yükünde; D82.5K5E12.5 yakıtı 14,72 ile tüm yakıtlar için en yüksek değerde iken, D85K5E10 yakıt karışımı 14,46 ile tüm yakıtlar için için en düşük değerde O₂ (%) emisyonu elde edilmiştir. 2.000 W motor yükünde; D82.5K5E12.5 yakıtı 13,50 ile tüm yakıtlar için en yüksek değerde iken, D80K5E15 yakıt karışımı 13,04 ile tüm yakıtlar için için en düşük değerde O₂ (%) emisyonu elde edilmiştir.

5.6.3. Motor Yükleri İçin Deney Yakıtları Genel O₂ (%) Değişimi

HC ve CO kirleticileri egzoz gazlarında görüldüğü gibi, egzozda bulunan serbest oksijen eksik yanmayı göstermektedir. Egzoz emisyon cihazı ile ölçülen deneylerin sonuçları Şekil 5.6'da verilmiştir. Serbest O₂, motor yükü minimum olduğunda maksimumdur. Motor yükünün aksine, serbest O₂ yük arttığında düzenli olarak azalmaktadır. Yük artışına atıfta bulunarak, Şekil 5.6. incelendiğinde, tüm yakıtlar için yük arttıķça O₂ emisyonunun azaldığı görülmektedir. Yakıt türleri arasında O₂ emisyonlarında çok fazla fark olmadığı ve tüm deneylerde D82.5K5E12.5 yakıtında biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. O₂ emisyonunun varlığı, yanmaya katılmamış serbest oksijeni gösterir, bu da HC emisyonunun da arttığı anlamına gelir.



Şekil 5. 6. Yüğe göre O2 değışimi (%).

Referans çalışmada [101] 2-EHN katkı maddesi kullanılmamış, biyodizel yakıtların dizel yakıtı kıyasla daha fazla oksijen içermesinin doğal bir sonucu olarak O₂ emisyonlarında %10 ila %29 arasında değışen bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, 2-EHN yanma kalitesini artırdığı için D100 yakıtına kıyasla, diğer üç yakıt karışımı O₂ emisyonlarında ortalama %0,6'lık çok düşük bir artış göstermiştir.

5.7. BELİRSİZLİK ANALİZİ

Cihazın doğruluğu ve ölçülen değerlerin belirsizlik analizi, ölçüm doğruluğunu sağlamak için önemlidir. Farklı değışkenlerin belirsizliklerinin ölçülen değeri Çizelge 5.2'de gösterilmiştir. Belirsizlik analizi denklem (4.2)'deki biçimde hesaplanarak Çizelge 5.2'deki sonuçlar bulunmuştur.

Çizelge 5. 2. Testte kullanılan çeşitli faktörlerin belirsizlikleri.

Ölçüm Değerleri	Yüzde Belirsizlik
FÖYT	±2,38
NO _x	±2,82
HC	±1,11
CO	±3,32
CO ₂	±2,39
O ₂	±0,74
Yük ölçümü	±0,11
D.Yakıt ölçümü	±0,12

Gerçek belirsizlik denklem (4.3) ile aşağıdaki gibi hesaplanmış %±5 olarak bulunmuştur.

5.8. YANIT YÜZEY YÖNTEMİ (RSM) İLE OPTİMİZASYON

RSM ile optimizasyonu gerçekleştirilmiş ve seçilen faktörlerin yanıtlar üzerindeki etki dereceleri belirlenmiştir. Ayrıca regresyon analizi de gerçekleştirilmiş ve her bir yanıt için girdi parametrelerine bağlı olarak ortaya çıkan regresyon denklemleri Çizelge 5.3'te verilmiştir. Çizelge 5.2'de "E" 2-EHN oranını, "Y" motor yükünü, "E²" 2-EHN karesini, "Y²" motor yükünün karesini ve "EY" 2-EHN oranını ile motor yükünün çarpımını ifade etmektedir. Elde edilen regresyon denklemleriyle girdi parametrelerinin seçilen seviyeleri arasında kalmak şartı ile tüm deneylerin tahmini yapılabilmektedir.

Çizelge 5. 3. Çıktı parametrelerinin girdi parametrelerine göre regresyon eşitlikleri.

Regresyon Eşitlikleri

FÖYT $1380,0 - 18,11 E - 1,152 Y + 1,188 E^2 + 0,000303 Y^2 + 0,00420 EY$

CO $0,06141 - 0,001918 E - 0,000025 Y + 0,000048 E^2 + 0,0000061 Y^2 + 0,000001 EY$

$$\text{HC} \quad 47,93 - 1,288 E - 0,05322 Y + 0,0396 E^2 + 0,000018 E^2 + 0,000267 EY$$

$$\text{CO}_2 \quad 2,887 - 0,0414 E + 0,001241 Y + 0,00286 E^2 + 0,0000662 Y^2 + 0,000003 EY$$

$$\text{NO}_x \quad 151,1 + 18,82 E + 0,0768 Y - 0,903 E^2 + 0,000045 Y^2 + 0,00195 EY$$

$$\text{O}_2 \quad 17,056 + 0,0489 E - 0,001218 Y - 0,00181 E^2 - 0,000000 Y^2 - 0,000014 EY$$

Çizelge 5.4'te çıktılar için ayrı ayrı oluşturulan regresyon modellerinin reel deney neticelerine yakınlığı Çizelge 5.4'te görülen R^2 (korelasyon katsayısı) ile incelenmiştir.

Çizelge 5. 4. Regresyon eşitliklerinin korelasyon katsayıları.

Çıktı	R2 (%)	Düz. R2 (%)	Tah. R2 (%)
FÖYT	96,99	95,49	92,00
CO	76,80	65,20	16,76
HC	90,22	85,33	73,99
CO ₂	99,27	98,91	98,13
NO _x	98,50	97,75	95,69
O ₂	98,83	98,25	97,40

Korelasyon katsayısının 1'e olan yakınlığı verilere o denli uyumlu olduğunu ya da yapılan tahminin çok iyi bir tahmin olduğu anlamına gelmektedir. %88 üstünde bulunan korelasyon katsayısı literatürde kabul görmektedir [102–104]. Bu nedenle çıktıların regresyon modellerinin deney verileriyle uyumlu olduğu Çizelge 5.4'teki verilerle kabul edilebilir olduğu görülmektedir.

ANOVA ile elde edilen p-değerleri, çalışma sonucunda elde edilen tüm çıktılar Çizelge 5.5'te verilmiştir. İfade edilen p-değerleri çalışmanın istatistiksel olarak anlamlılığı hakkında bilgileri ortaya koymaktadır. Yapılan bu çalışma, %95 güven

aralığında gerçekleştirilmiştir. 0,05'ten küçük ($0 \leq p < 0,05$) p-değerleri istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmiştir. Çizelge 5.4'te her bir çıktı için girdilerin bireysel (E, Y), kareli (E^2 , Y^2), etkileşimli ($E*Y$) etkilerinin p-değerleri gösterilmektedir.

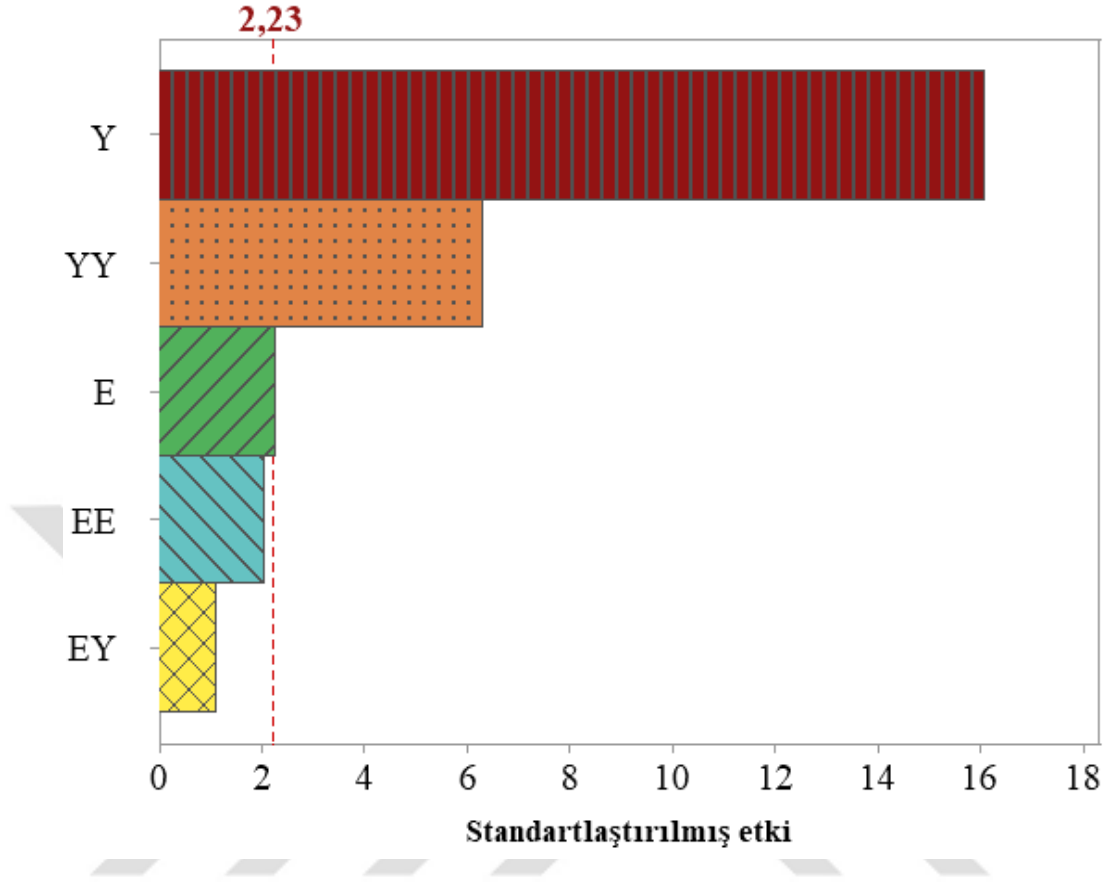
P-değeri 0,05'ten küçük bulunan girdilerin değerleri kalın punto ile yazılmış olup etkili olduğu vurgulanmıştır. Çizelge 5.5'e göre motor yükünün bireysel olarak bütün çıktılarda etkili olduğu görülmektedir. 2-EHN miktarının ise CO_2 ve O_2 hariç diğer emisyon çıktılarında etkili olduğu görülmektedir.

Çizelge 5. 5. ANOVA ile elde edilen p-değerleri.

Çıktı	E	Y	E^2	Y^2	$E*Y$
FÖYT	0,048	0,000	0,069	0,000	0,293
CO	0,017	0,001	0,381	0,295	0,157
HC	0,009	0,001	0,209	0,000	0,192
CO_2	0,319	0,000	0,053	0,092	0,734
NO_x	0,000	0,000	0,004	0,049	0,241
O_2	0,545	0,000	0,392	0,077	0,327

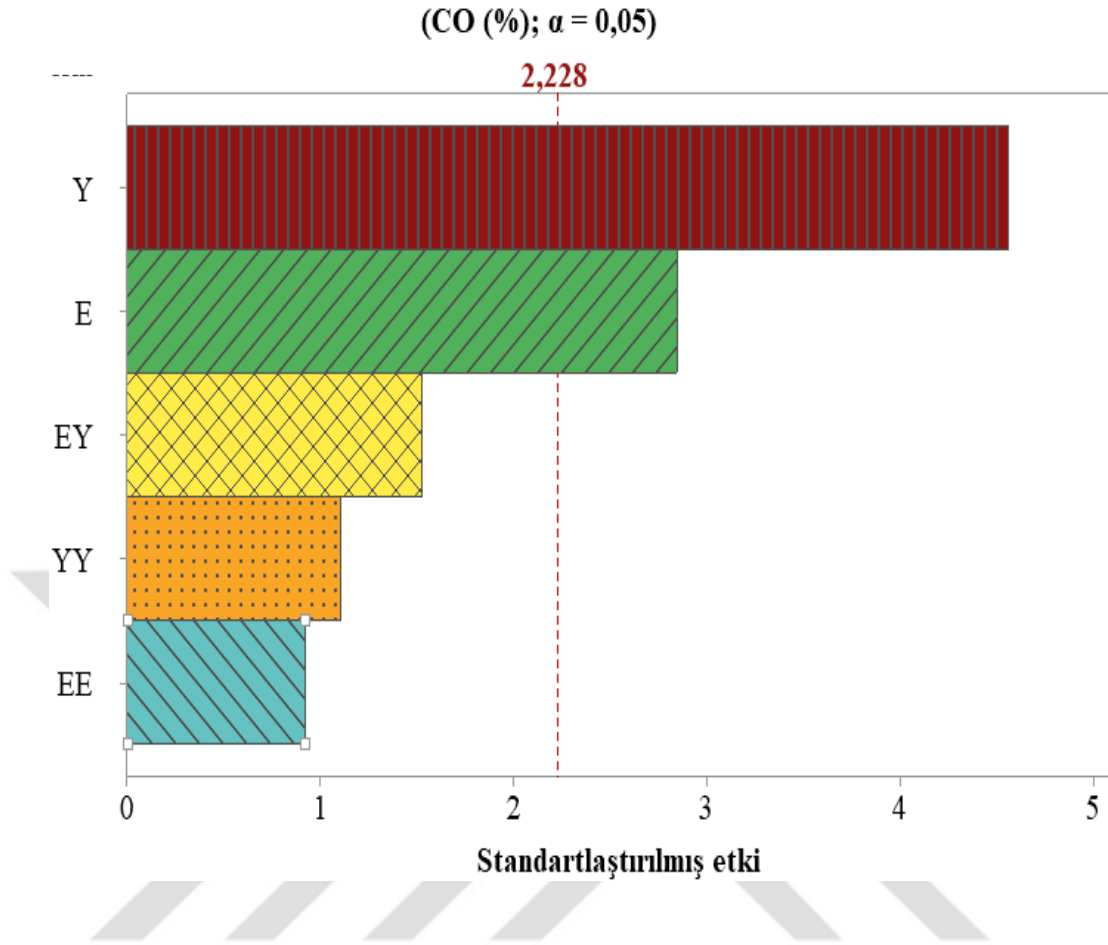
Şekil 5.7'de bütün girdi değişkenlerinin FÖYT Pareto grafiğinde görülmektedir. FÖYT için standartlaştırılmış etki alt limiti 2,23 olarak elde edilmiştir. Girdi parametrelerinden Y, YY, E, EE, E veya etkileşim EY olarak, alt limit değerinin üzerinde olan parametreler FÖYT anlamlı bir şekilde etki etmekle birlikte alt limit değerinin altında olan parametreler ise herhangi bir etki göstermemektedir. Şekil 5.7'de de anlaşıldığı üzere FÖYT çıktısına en çok etki eden parametre motor yükü olduğu görülmüş olup motor yükünü (Y) takip eden, etki eden parametreler ise motor yükünün karesi (YY) ve 2-EHN (E) olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu sonuçlar Çizelge 5.5'te de verilmiş olup her iki yöntem de birbirini doğrulamaktadır.

(FÖYT (g/kWh); $\alpha = 0,05$)



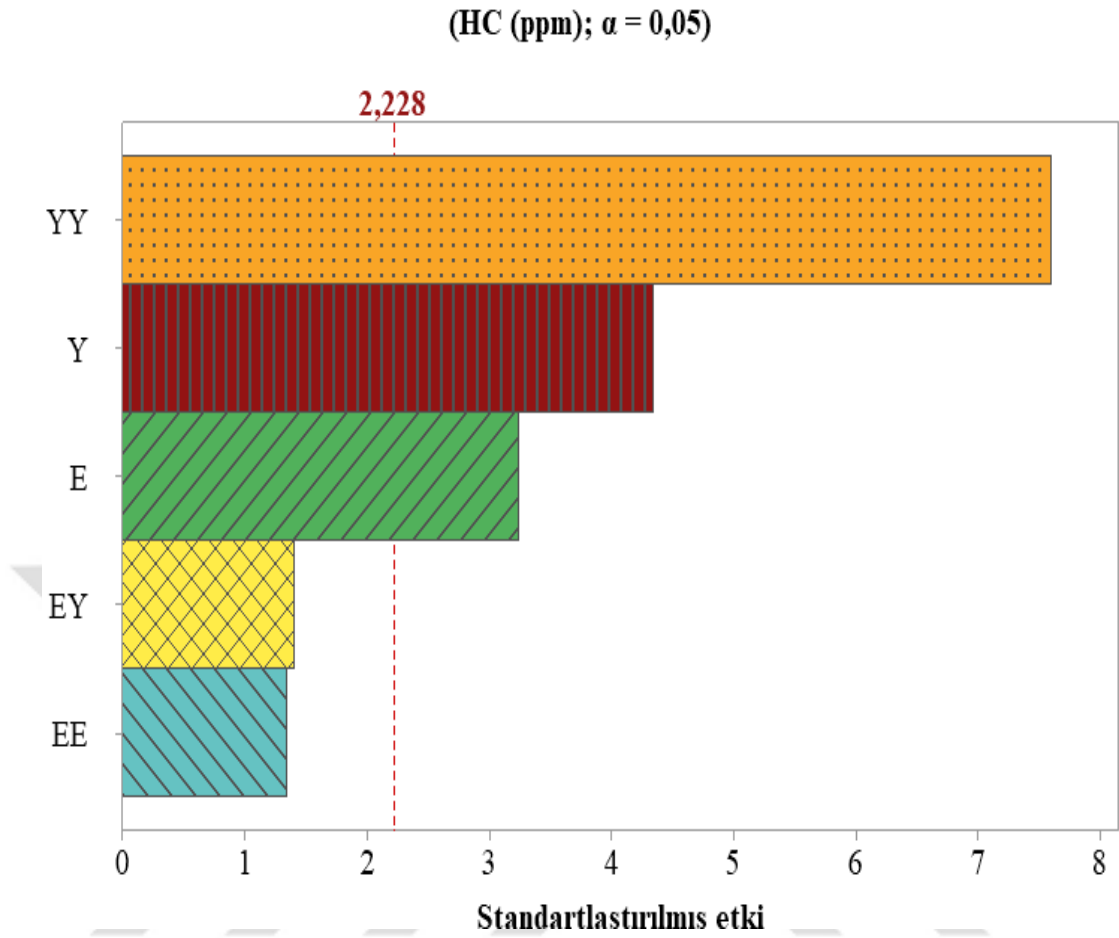
Şekil 5. 7. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde FÖYT çıktısına etkisi.

Şekil 5.8’te bütün girdi değişkenlerinin CO emisyonuna etkileri Pareto grafiğinde görülmektedir. CO emisyonu için standartlaştırılmış etki alt limiti 2,228 olarak elde edilmiştir. Girdi parametrelerinden Y, E, EY, YY, EE veya etkileşim EY olarak, alt limit değerinin üzerinde olan parametreler CO emisyonuna anlamlı bir şekilde etki etmekle birlikte alt limit değerinin altında olan parametreler ise herhangi bir etki göstermemektedir. Şekil 5.8’de 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 2-EHN miktarı oranı (E) olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu sonuçlar Çizelge 5.5’te de verilmiş olup her iki yöntem de birbirini doğrulamaktadır.



Şekil 5. 8. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde CO çıkıtısına etkisi.

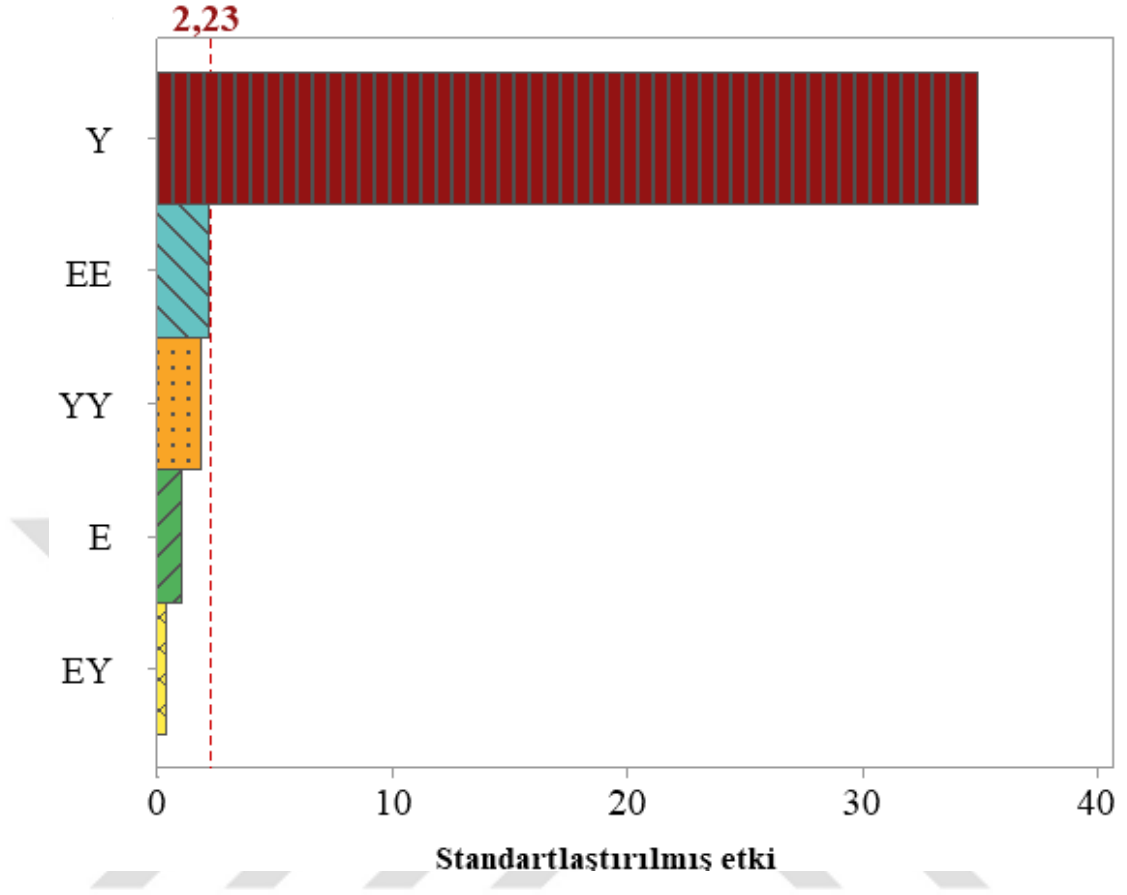
Şekil 5.9’da girdi parametrelerinin HC emisyonu üzerindeki standartlaştırılmış etkisi görülmektedir. HC emisyonu özelinde standartlaştırılmış etki alt limiti 2,228 olarak bulunmuştur. Motor yükünün karesi (YY), motor yükü (Y), 2-EHN (E), 2-EHN karesi (EE) ve etkileşimli EY girdi parametrelerinin HC emisyonuna standartlaştırılmış etkisi verilmiştir. Şekil 5.9’ dan anlaşıldığı üzere HC üzerinde motor yükünün karesi, motor yükü en fazla etkiye sahiptir. Ardından 2-EHN takip etmektedir. Bu sonuçlar aynı şekilde Çizelge 5.5’ten de doğrulanabilmektedir.



Şekil 5. 9. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde HC çıktısına etkisi.

Şekil 5.10'da girdi parametrelerinin CO₂ emisyonu üzerindeki standartlaştırılmış etkisi görülmektedir. CO₂ emisyonu özelinde standartlaştırılmış etki alt limiti 2,23 olarak bulunmuş ve Şekil 5.10'da 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. Şekil 5.10'dan anlaşıldığı üzere CO₂ üzerinde motor yükü etkilidir. Bu sonuçlar aynı şekilde Çizelge 5.5'te doğrulanabilmektedir.

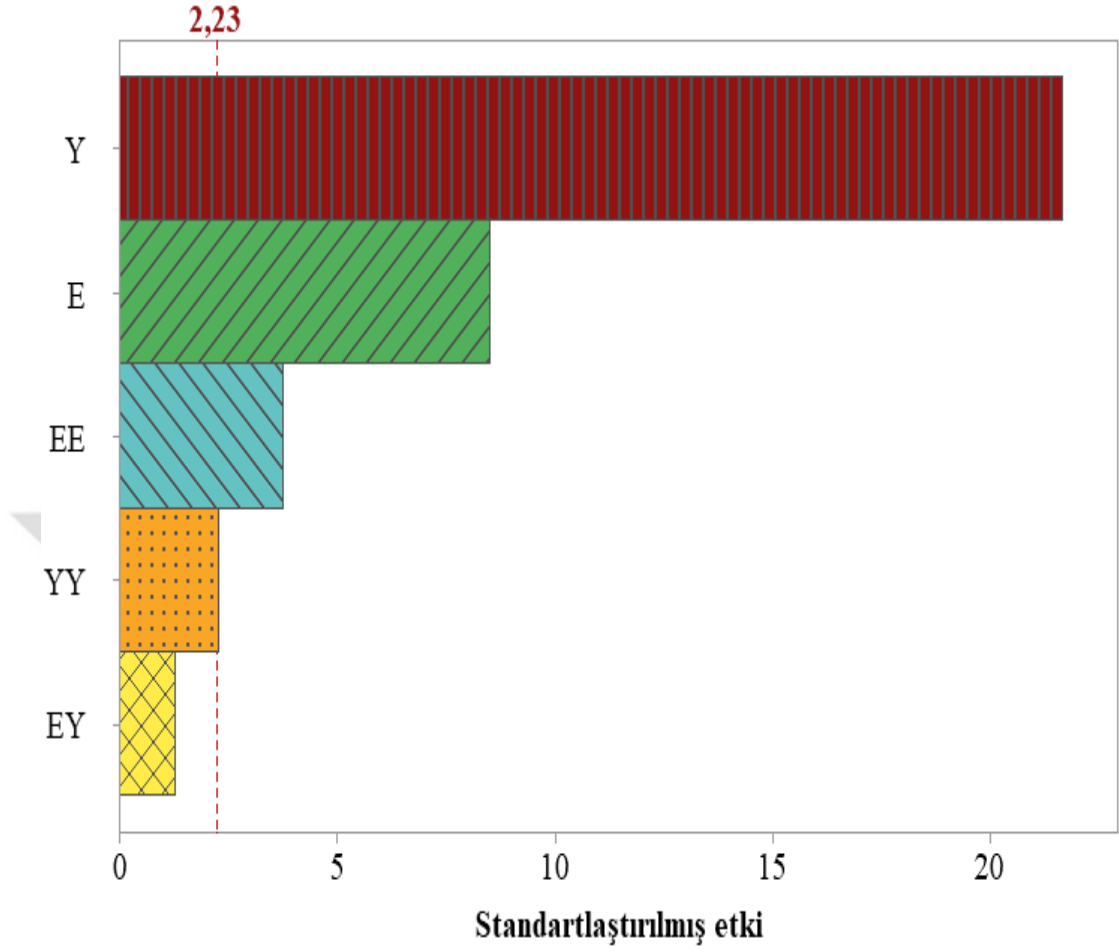
(CO₂ (%); $\alpha = 0,05$)



Şekil 5. 10. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde CO₂ çıktısına etkisi.

Şekil 5.11’de motor yükünün ve kenevir tohumu yağının NO_x emisyonu üzerindeki etkileri Pareto grafiği ile verilmiştir. NO_x emisyonunun standartlaştırılmış etki alt limiti 2,23 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 5.11 incelendiğinde NO_x emisyonuna en fazla etkiyi motor yükü oluşturmaktadır. Şekil 5.11’de görüldüğü gibi motor yükünü, 2-EHN, 2-EHN karesi ve ardından motor yükünün karesi takip etmektedir. Çizelge 5.5 incelendiğinde, Şekil 5.11’de yer alan veriler görülebilmektedir.

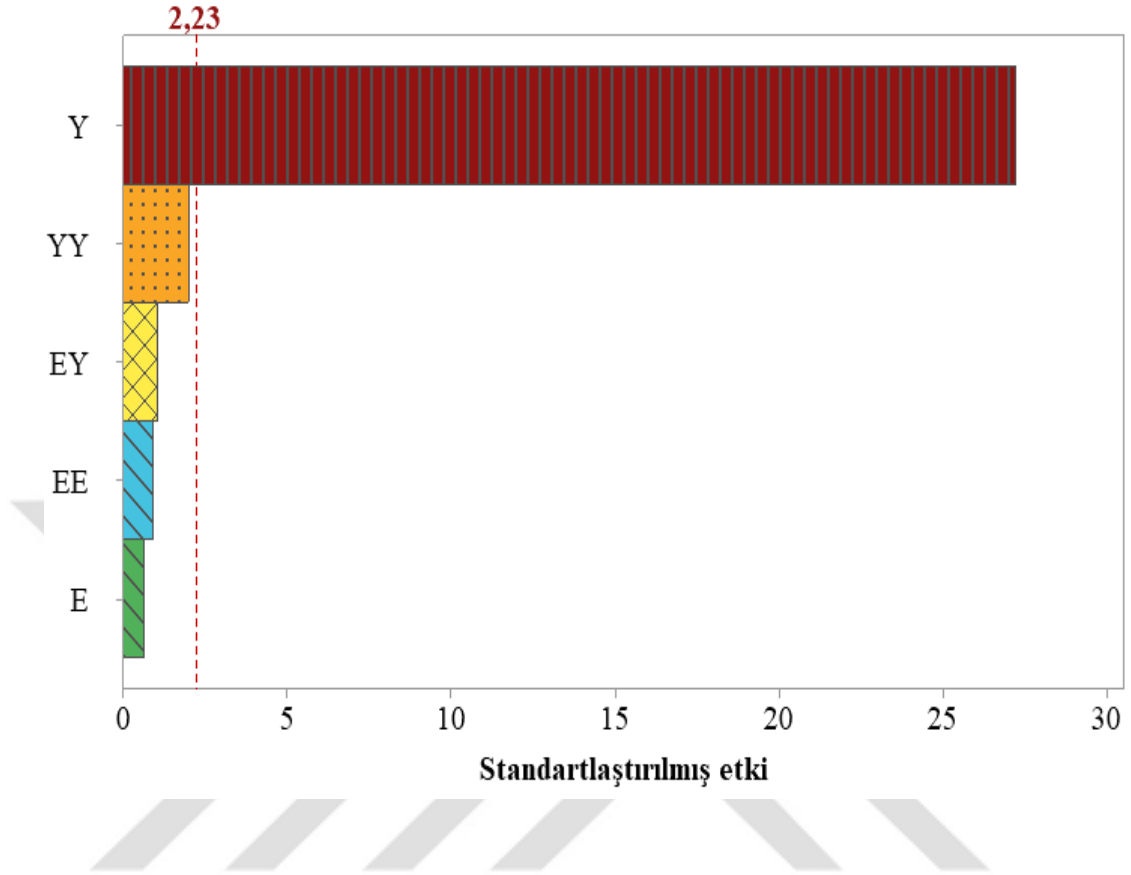
(NO_x (ppm); $\alpha = 0,05$)



Şekil 5.11. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde NO_x çıktısına etkisi.

Şekil 5.12’de motor yükü, 2-EHN karesi, 2-EHN ve motor yükünün karesi, girdi parametrelerinin O₂ emisyonuna standartlaştırılmış etkisi verilmiştir. Şekil 5.12’den anlaşıldığı üzere, motor yükü üzerinde O₂ çıktısı etkisi vardır. Bu sonuçlar aynı şekilde Çizelge 5.5’te doğrulanabilmektedir.

(O₂ (%); $\alpha = 0,05$)



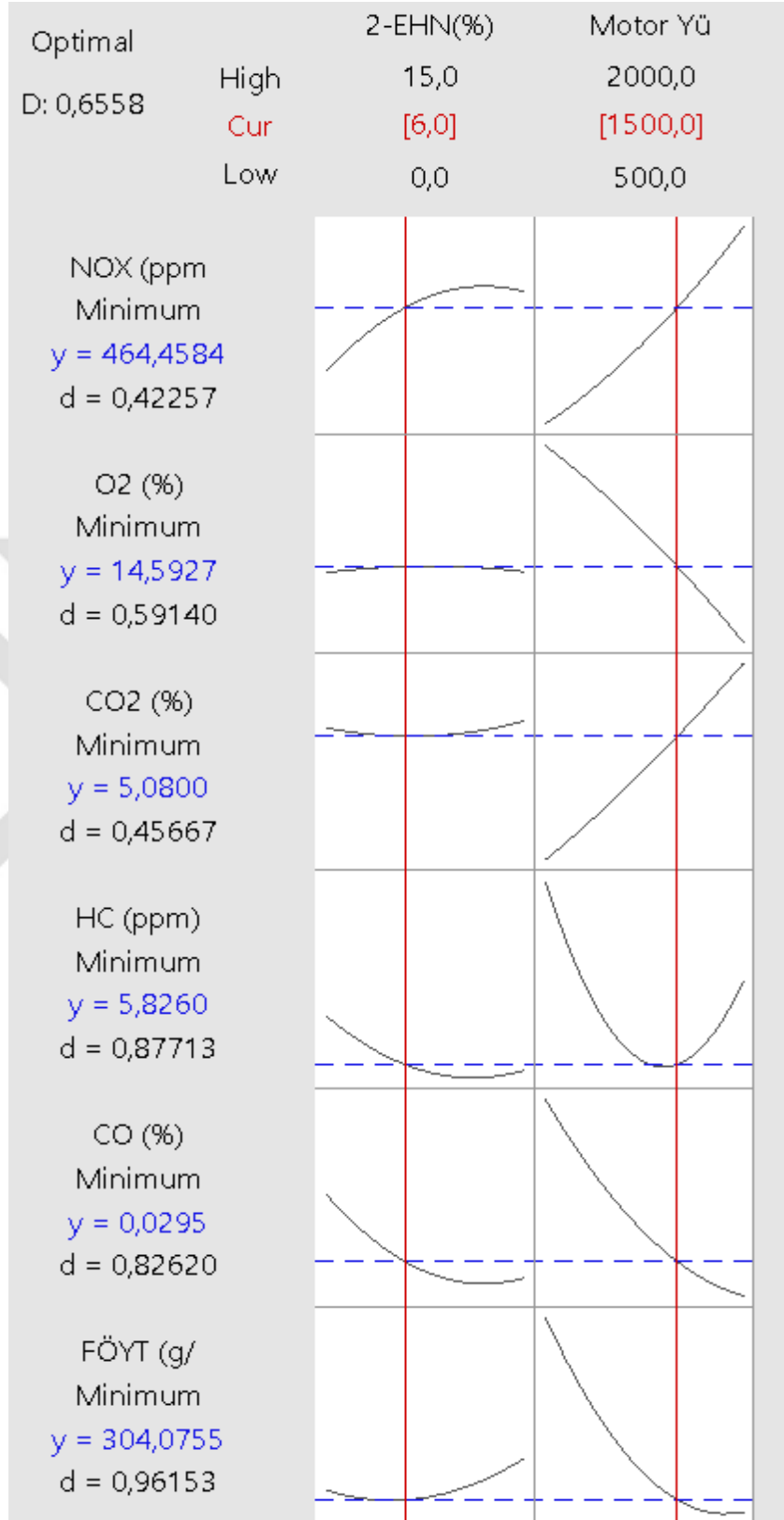
Şekil 5.12. Girdilerin Pareto grafiği üzerinde O₂ çıktısına etkisi.

RSM optimizasyon öncesinde ANOVA kullanılarak regresyon modeli, girdilerin çıktılar üzerine olan etkisi gibi çalışmalar yapılarak optimizasyon için gereken hesaplamaların tamamı gerçekleştirilmiştir. Daha sonra MINITAB programıyla, seçilmiş olan deney parametreleriyle ve regresyon modeli ışığında optimizasyon yapılmıştır. Girdi parametreleri 2-EHN ve motor yükü seçilmiş olup çıktı parametreleri FÖYT, CO, HC, CO₂, NO_x ve O₂ emisyonları olarak seçilmiştir. Seçilen girdi ve çıktı parametreleri için optimizasyon amacı, en düşük ve en yüksek değerleri Çizelge 5.6'da verilmiştir. Çizelge 5.6'da kalın bir şekilde vurgulanarak yazılan değerler, ilgili parametrenin optimizasyon sonucunda olması istenilen değerini belirtmektedir. FÖYT değeri optimizasyon sonucunda 276,48 (g/kWh) olması hedeflenmektedir. CO emisyonunun optimizasyon sonucunda %0,025 değerine ulaşması hedeflenmektedir. Aynı şekilde HC emisyonu 3 ppm değerine, CO₂ emisyonu %3,45 değerine, NO_x emisyonu 186,3 ppm değerine, O₂ emisyonu ise %13,04 değerine ulaşması hedeflenmektedir.

Çizelge 5. 6. RSM ile optimizasyon için parametreler ve değerleri.

Girdiler - Çıktılar	Amaç	En Düşük	En Yüksek
2-EHN (%)	Aralık	5	15
Motor Yüğü (W)	Aralık	500	2000
FÖYT (g/kWh)	Minimum	276,48	993,76
CO (%)	Minimum	0,025	0,051
HC (ppm)	Minimum	3	26
CO ₂ (%)	Minimum	3,45	6,45
NO _x (ppm)	Minimum	186,33	668
O ₂ (%)	Minimum	13,04	16,84

RSM ile optimizasyon sağlanırken Çizelge 5.6'da görülen parametreler ve ilgili parametrelere ait değerlerle amaçlanan girdi parametrelerinin optimum değerleri belirlenmiştir. Belirlenen değerler Şekil 5.13'te gösterilmiştir. Şekil 5.13'te görüldüğü gibi, 2-EHN'in %6 ve motor yükünde 1.500 W olarak belirlendiği RSM ile yapılan optimizasyon analizine göre FÖYT 304,076 g/kWh, CO emisyonu %3, HC emisyonu 5,83 ppm, CO₂ emisyonu %5,08, NO_x emisyonu 464,46 ppm ve O₂ emisyonu %14,59 olarak bulunmuştur. Bütün parametreler düşünüldüğünde RSM ile optimizasyonun birleşik arzu edilirlilik değeri 0,6558 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.13. RSM ile optimizasyon.

RSM ile optimizasyon sonucunda elde edilen optimum girdi parametrelerine karşılık çıktı parametrelerinin sonuçları ve optimizasyonun doğrulanması için D82.5K5E12.5 yakıt karışımına 2-EHN yakıt katkısı %6 olarak ilave edilmiş ve yükleme ünitesi 1500 W motor yüküne ayarlanarak optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen optimizasyon sonuçları, RSM sonuçları ile kıyaslanarak hata oranı hesabı ve optimizasyon sonuç doğrulanması yapılmıştır. İlgili sonuçlar Çizelge 5.7’de 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 [105].

Çizelge 5. 7. RSM sonuçlarının doğrulanması.

GİRDİ		ÇIKTI					
2-EHN (%)	Motor Yüğü (W)	FÖYT (g/kWh)		CO (%)		HC (ppm)	
		Test	RSM	Test	RSM	Test	RSM
%6	1500	306,28	304,08	0,0281	0,0295	5,56	5,83
Hata (%)		0,72		4,98		4,86	
		CO ₂ (%)		NO _x (ppm)		O ₂ (%)	
		Test	RSM	Test	RSM	Test	RSM
		5,15	5,08	479,6	464,46	14,36	14,59
Hata (%)		1,35		3,16		1,60	

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, %100 dizel yakıtın ve dizel yakıt karışımlarının motor performansı ve emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Çalışmalarda ilk olarak kenevir tohumu yağı tek başına biyodizel olarak test edilmiştir. Yüksek viskozitesi nedeniyle motor enjektörünü tıkamış ve ikinci test yapamamıştır. Bu nedenle deneyler için yakıt karışımları hazırlanmış ve kenevir tohumu yağının olumsuz etkilerinin 2-EHN ile ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Dizel yakıtı (% 100 dizel) “D”, Kenevir tohumu yağı “K” ve 2-EHN “E” gibi kodlanarak, yakıt karışımları farklı hacimsel oranlarda karıştırılmış ve üç karışım yakıt ve %100 dizel olmak üzere dört deneysel yakıt uygulanmıştır. D80K5E15 karışımı, her karışımda sabit %5 kenevir tohumu yağına %80 dizel ve %15 2EHN karıştırılarak elde edilirken, %82,5 dizel, %12,5 2EHN ve D82,5K5E12,5 karışımı ve %85 dizel, %10 2EHN ve D80K5E10 karışımı elde edilmiştir. Yakıt karışımına farklı miktarlarda 2-EHN eklenmiştir. Etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Motor performansı üzerindeki etkilerinin yanı sıra, emisyon parametreleri üzerindeki etkileri de araştırılmış ve değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

- Kullanım için en uygun karışımın; dizel oranının %80-85, kenevir tohumu yağı oranının %5, ve setan artırıcı 2EHN oranının %10-15 olduğu belirlenmiştir.
- D100 yakıtında en düşük FÖYT değeri 276,48 g/kWh olarak, 2.000 W yükte elde edilmiştir.
- D82.5K5E12.5 yakıtında en düşük CO değeri % 0,025 olarak 2.000 W yükte gerçekleşmiştir.
- D82.5K5E12.5 yakıtında en düşük HC değeri % 5,00 olarak 1.500 W yükte elde edilmiştir.
- D85K5E10 yakıtında en düşük CO₂ değeri % 3,45 değerle, 500 W yükte gözlenmiştir.

- D85K5E10 yakıtında en düşük O₂ değeri % 13,27 olarak 500 W yükte elde edilmiştir.
- D85K5E10 yakıtında en düşük NO_x değeri 186,33 ppm olarak 500 W yükte çıkmıştır.
- Dört farklı yükte Fren Özgül Yakıt Tüketimi (g/kWh) incelendiğinde, tüm yakıtlar için en düşük tüketimin 2.000 W yükte olduğu tespit edilmiştir.
- Tüm yüklerde en düşük CO emisyonları tüm yakıtlar için D82.5K5E12.5 yakıt karışımında bulunmuştur.
- Tüm yüklerde en düşük HC emisyon miktarının tüm yakıtlar için D82.5K5E12.5 yakıt karışımında olduğu görülmüştür.
- Tüm yüklerde en düşük CO₂ emisyon miktarı tüm yakıtlar için D82.5K5E12.5 yakıt karışımında görülmüştür.
- Tüm motor yüklerinde NO_x emisyonları D100 yakıtında en düşük olmuş, arttırılan 2-EHN oranındaki paralel olarak NO_x emisyonları da artmıştır.
- Yük arttıkça O₂ emisyonları azalmış ve yakıt tipleri arasında O₂ emisyonlarında çok fazla fark olmadığı görülmüştür.
- Dizel yakıtı göre kenevir tohumu yağı oranının sabit tutulması, fren özgül yakıt tüketimini etkilemezken, egzoz emisyonlarını azalttığını gözlenmiştir.

Bu çalışma ile dizel yakıtı kenevir tohumu yağı ve yakıt katkı maddesi ile harmanlayarak HC ve CO gibi daha düşük emisyonlara ulaşmak, çalışmanın geliştirilmesiyle, araçlarda bu emisyonları düşürmenin bir yolu olarak kullanılabilir. Üçlü karışım, dizel yakıtının kenevir tohumu yağı ile olumsuz emisyon etkilerini azaltmada ve biyodizel yakıtının 2-EHN ile olumsuz yönlerini en aza indirmede kullanılabilir bir yakıt olacak ve bu çalışma gelecekteki çalışmalar için farklı bir bakış açısı ortaya koyacaktır. Dünyada fosil yakıtların azalmasıyla birlikte, kenevir tohumu yağı gibi bitkisel biyodizel karışımlarının kullanımı gelecekte ticari tarımsal teşviklere yol açacak ve ciddi endüstriyel kar fırsatları sağlayacaktır.

RSM ile optimizasyon yapılmıştır. Çok fazla açıdan inceleme yapılması nedeniyle optimizasyon yapılarak, optimum emisyon ve yakıt tüketim değerlerine sahip olabilecek yakıt ve koşullar bulunmuştur. Optimizasyon gerçekleştirilirken Çizelge 5.5'teki şartlar belirlenmiş olup bu şartlara göre kenevir tohumu yağı oranı sabit

tutularak, 2-EHN oranı ile motor yükü tespit edilmiştir. Deneylerde kullanılacak tüm yakıt karışımlarında etkili ve D82.5K5E12.5 yakıtına %6 oranında 2-EHN eklenerek 1.500 W motor yükünde optimum şartlar elde edileceği görülmüş olup, çalışmanın son aşamasında bu şartlarla RSM yapılmış ve ortalama %2,78 bağıl hata ile optimizasyonun doğrulanmıştır.

Yapılan bu çalışmada kullanılan parametreler dışında farklı motor değişkenlerinde ve farklı oranlarda 2-EHN ve kenevir tohumu yağı ile deneyler yapılması önerilmektedir. Farklı 2-EHN ve kenevir tohumu yağı oranlarında yapılacak olan çalışmada yakıt içerisinde 2-EHN ve kenevir tohumu yağı ilavesinin emisyonlar ve FÖYT üzerine etkisi derinlemesine incelenebilecektir. Bu şekilde farklı motor değişkenlerinde yapılacak deneylerde elde edilen yakıtların gerçek hayatta kullanımı değerlendirilebilecektir. Bu çalışmada dizel motor ile edilen verilere göre; dizel yakıtı, 2-EHN ve kenevir tohumu yağının uygun oranda karıştırılmasının egzoz emisyonlarını azalttığı, dizelin olumsuz emisyon etkilerinin kenevir tohumu yağı ile azaldığını, 2-EHN ile ise, yanma kalitesini iyileştirdiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Simsek, S., Uslu, S., & Simsek, H. “Experimental study on the ability of different biogas level dual fuel spark ignition engine: Emission mitigation, performance, and combustion analysis”, *Oil & Gas Science and Technology–Revue d’IFP Energies nouvelles*, 76, 74 (2021).
2. Zhen, X., Wang, Y., & Liu, D. “Bio-butanol as a new generation of clean alternative fuel for SI (spark ignition) and CI (compression ignition) engines”, *Renewable Energy*, 147, 2494-2521 (2020).
3. Jagtap, S. P., Pawar, A. N., & Lahane, S. “Improving the usability of biodiesel blend in low heat rejection diesel engine through combustion, performance and emission analysis”, *Renewable Energy*, 155, 628-644 (2020).
4. Canan, A., Calhan, R., & Ozkaymak, M. “Investigation of the effects of different slags as accelerant on anaerobic digestion and methane yield”, *Biomass Conversion And Biorefinery*, 11(4), 1395-1406 (2021).
5. Uslu, S., & Celik, M. B. “Combustion and emission characteristics of isoamyl alcohol-gasoline blends in spark ignition engine”, *Fuel*, 262, 116496 (2020).
6. Uslu S., Aydin M., “Effect of operating parameters on performance and emissions of a diesel engine fueled with ternary blends of palm oil biodiesel/diethyl ether/diesel by Taguchi method”, *Fuel*, 275-117978 (2020).
7. Jiaqiang, E., Liu, G., Zhang, Z., Han, D., Chen, J., Wei, K. & Yin, Z., “Effect analysis on cold starting performance enhancement of a diesel engine fueled with biodiesel fuel based on an improved thermodynamic model” *Applied Energy*, 243, 321-335 (2019).
8. Uslu S., Celik M.B. “Experimental investigation of the effects of diethyl ether-diesel fuel blends on engine parameters in a low power diesel engine”, *International Journal Engineering Sciences & Research Technology* 7(5):1-(2018).
9. Yılmaz, E., Solmaz, H., Polat, S., & Altın, M. “Üç-fazlı dizel emülsiyon yakıtlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 28(1) (2013).

10. Sanli B.G., Uludamar E., Ozcani M. "Evaluation of energetic-exergetic and sustainability parameters of biodiesel fuels produced from palm oil and opium poppy oil as alternative fuels in diesel engines", *Fuel*, 258 (2019).
11. Aydin M., Uslu S., Celik M.B., "Performance and emission prediction of a compression ignition engine fueled with biodiesel-diesel blends: a combined application of ANN and RSM based optimization", *Fuel*, 260 (2020).
12. Simsek S. Ondalyan B., Saygin H. "Improvement of the properties of sugar factory fusel oil waste and investigation of its effect on the performance and emissions of spark ignition engine", *Bio Resources* 14(1):440-52 (2019).
13. Baskovic U.Z., Vihar R., Seljak T., Katrasnik T. "Feasibility analysis of 100% tire pyrolysis oil in a common rail Diesel engine", *Energy*, 137-980-90 (2017).
14. Kumar, N., & Raheman, H. "Production, characterization and utilization of second generation biodiesel blend in diesel engine using water and nanoparticles as additives. *Fuel*, 308, 122063 (2022).
15. Yesilyurt, M. K., & Aydin, M. "Experimental investigation on the performance, combustion and exhaust emission characteristics of a compression-ignition engine fueled with cottonseed oil biodiesel/diethyl ether/diesel fuel blends" *Energy Conversion and Management*, 205, 112355 (2020).
16. Mehra R.K., Duan H., Luo S., Rao A., Ma F. "Experimental and artificial neural network (ANN) study of hydrogen enriched compressed natural gas (HCNG) engine under various ignition timings and excess air ratios", *Energy*, 228:736-54 (2018).
17. Uslu S., Celik M.B. "Prediction of engine emissions and performance with artificial neural networks in a single cylinder diesel engine using diethyl ether", *Engineering Science and Technology. Int J*;21(6) (2018).
18. Bhatia S.K., Bhatia R.K., Jeon J., Pugazhendhi A., Awasthi M.K., Kumar D., Kumar G., Yoon J., Yang Y., "An overview on advancements in biobased transesterification methods for biodiesel production: Oil resources, extraction, biocatalysts, and process intensification Technologies", *Fuel*, 285:119117 (2021).
19. Huang J., Xiao H., Yang X., Guo F., Hu X. "Effects of methanol blending on combustion characteristics and various emissions of a diesel engine fueled with soybean biodiesel", *Fuel* 282:1 18734 (2020).
20. Rajan K., Sujith V., Ganesan M., Haroon M.P. "Mathivanan SD, Elumalai R Performance and emissions characteristics of DI diesel engine using biodiesel

- blend with different injection pressures”, *Mater Today Procers* 33(7):4699-4702, (2020).
21. Simsek S., Uslu S., Simsek H. “Comparison of the changes in diesel engine characteristics caused by the addition of 2-EHN cetane improver according to the use of diesel and second-generation biodiesel”, *Petroleum Science And Technology*, 10916466, 2113097 (2022).
 22. Jeevanantham A.K., Reddy D.M., Goyal N., Bansal D., Kumar G., Kumar A., Nanthagopal K., Ashok B. “Experimental study on the effect of cetane improver with turpentine oil on CI engine characteristics”, *Fuel*, 262 (2020).
 23. Imdadul H.K., Masjuki H.H., Kalam M.A., Zulkifli N.W.M., Alabdulkarem A., Rashed M.M., Ashraful A.M. “Influences of ignition improver additive on ternary (diesel-biodiesel-higher alcohol) blends thermal stability and diesel engine performance”, *Energy Conversion Management*, 123:252-64 (2016).
 24. Chen G., Di L., Zhang Q., Zheng Z., Zhang W., “Effects of 2,5-dimethylfuran fuel properties coupling with EGR (exhaust gas recirculation) on combustion and emission characteristics in common-rail diesel engines”, *Energy*, 93(1):284-93 (2015).
 25. Ileri, E., Karaoglan A. D., and Akpınar S., “Optimizing cetane improver concentration in biodiesel-diesel blend via grey wolf optimizer algorithm” *Fuel* 273:117784, (2020).
 26. Simsek, S., and 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).
 27. Simsek, S., S. Uslu, H. Simsek, and G. Uslu. “Multi-objective-optimization of process parameters of diesel engine fueled with biodiesel/2-ethylhexyl nitrate by using Taguchi method”, *Energy*, 231:120866, (2021).
 28. Ulaş E., “Kenevirden Biyodizel ve Ekonomik Kazanç Modeli”, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, *Endüstriyel Kenevir Gerçeklik Paneli*, Samsun, (2018).
 29. Oğuz H. & M.Ç. Tolu M.Ç. “Investigation of fuel properties of biodiesel produced from hemp seed oil”, *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, e-ISSN: 2146 – 9067 (2023).
 30. Koncuk, F., “Biyodizel üretimi ve dizel motorunda motor-yanma karakteristiklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum, (2008).

31. Uslu, S., “Biyodizel üretimi ve dizel motorunda motor-yanma karakteristiklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük**, (2018).
32. Karakuş, N., “Yakıt Özelliklerinin Dizel Motor Performansına ve Emisyonlara Etkisi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara**, (2000).
33. Alakel, H., “Bir dizel motorda biyodizel, dizel ve etanolün motor performansına etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay**, (2008).
34. Temizel İ., “Bir Dizel Motorunun Performans ve Emisyonları Üzerine Katkı Maddelerinin Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ**, (2010).
35. Abdulvahitoğlu A., “Sentezlenmiş Yakıt Karışımları ile Çalışan Bir Dizel Motorun Performans ve Emisyon Karakteristikleri”, Doktora Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana**, (2009).
36. Ciniviz, M., Örs, İ. and Kul, B. S., “The effect of adding EN (2-Ethylhexyl Nitrate) to diesel-ethanol blends on performance and exhaust emissions”, **International Journal of Automotive Science and Technology Ind.**, 1 (1): 16-21 (2017).
37. Duboc B., “The effect of fuel additives on diesel fuel delivery system and combustion performance”, Doctoral Thesis, **University College London, London**, (2014).
38. Aydın, M., Uslu, S., & Çelik, M. B. “Performance and emission prediction of a compression ignition engine fueled with biodiesel-diesel blends: A combined application of ANN and RSM based optimization”, **Fuel**, 269, 117472 (2020).
39. Simsek S, Uslu S. “Determination of a diesel engine operating parameters powered with canola, safflower and waste vegetable oil based biodiesel combination using response surface methodology (RSM)”, **Fuel**, 270 (2020).
40. Uslu S. “Optimization of diesel engine operating parameters fueled with palm oildiesel blend: Comparative evaluation between response surface methodology (RSM) and artificial neural network (ANN)”, **Fuel**, 276 117990 (2020).
41. Şimşek S. and Uslu, S. “Comparative evaluation of the influence of waste vegetable oil and waste animal oil-based biodiesel on diesel engine performance and emissions”, **Fuel**, 280: (1186136) 1-10 (2020).

42. Sezer, İ. “Dizel yakıtına etanol ve dietil eter katılmasının motor performansı ve emisyonlara etkilerinin deneysel incelenmesi”, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi / Termal Bilim ve Teknoloji Dergisi* 37: (1) 61-68 (2017).
43. Üstün, S. “Investigation of engine performance and emission characteristics of organic-based manganese addition into waste fusel oil-diesel mixture”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi*, 36: (3) 1515-1529 (2021).
44. Vallinayagam R. S., Vedharaj W.M., Yang C.G., Saravanan P.S., Lee K.J.E., Chua S.K., “Impact of ignition promoting additives on the characteristics of a diesel engine powered by pine oil–diesel blend”, *Fuel*, 117: (A) 278-285 (2014).
45. Nandi, M.K. "The Performance of Di-Tertiary-Butyl Peroxide as Cetane Improver in Diesel Fuels", *Preprints of Papers-American Chemical Society Division Fuel Chemistry*, 41, 863-867, (1996).
46. Zhang Q., Yao M., Luo J., Chen H., Zhang X., “Diesel engine combustion and emissions of 2.5-dimethylfuran-diesel blends with 2-ethylhexyl nitrate addition”, *Fuel* 111:887-91, (2013).
47. Ickes, A.M., Bohac, S.V., and Assanis, D.N., "Effect of 2-Ethylhexyl Nitrate Cetane Improver on NO_x Emissions from Premixed Low-Temperature Diesel Combustion", *Energy & Fuels*, 23, 10, 4943-4948, (2009).
48. Zahos-Siagos, I., Karathanassis V. and Karonis D. “Exhaust Emissions and Physicochemical Properties of n-Butanol/Diesel Blends with 2-Ethylhexyl Nitrate (EHN) or Hydrotreated Used Cooking Oil (HUCO) as Cetane Improvers”, *Energies*, 11: (3413), 1-23, (2018).
49. Ravi, S., and Karthikeyan A. “Assessment of performance and emission characteristics of diesel engine supplied with waste plastic oil propanol and ethylhexyl nitrate blends”, *Materials Today: Proceedings*, 44(5):3642-6. (2020).
50. Sathiyamoorthi, R., Babu S. C., Rajangam, V., Tamizhselvan L.S., “Evaluation of Neem Oil Biodiesel with 2-Ethyl Hexyl Nitrate (2-EHN) as Cetane Improver on Performance and Emission Characteristics of a DI Diesel Engine” Department of Mechanical Engineering, *Panimalar Engineering College, India*,(2018).
51. Gürüf, G. Dizel-Biyodizel Yakıt Karışımlarına Nano Parçacık (B₂O₃) İlavesinin Motor Performansına ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi, Ekserji Analizi Ve Optimizasyonu”, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2024).
52. Moser, B., R., Camelina (Camelina Sativa L.) Oil as a Biofuels Feedstock: Golden Opportunity or False Hope *Lipid Technology*, 22,12 270-273, (2010).

53. İnternet: Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2024) – with major processing by Our World in Data. “Biofuels production”. Energy Institute, “Statistical Review of World Energy”. **“Türkiye’de Biyodizel”**
<https://www.tbe.com.tr/tr/turkiye-de-biyodizel-0159>, (2024).
54. Azi, H. “Bir dizel motorda hint yağı biyodizeli ve dietil eter kullanımının motor performansına ve emisyonlara etkisinin araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, **Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Batman Üniversitesi**, Batman, Sy 41, (2005).
55. Erel, F. P. “Biyodizel üretiminde ters lojistik uygulamaları” Yüksek Lisans Tezi, **Tarım Ekonomisi Anabilim Dalı, Namık Kemal Üniversitesi**, Tekirdağ, Sy 43 (2014).
56. Eliçin, A. K. (2011). “Biyodizel yakıtla çalıştırılan küçük güçlü bir dizel motorun performans ve emisyonuna giriş hava basıncı etkisinin deneysel olarak araştırılması” Doktora Tezi, Sy 13, **Ankara Üniversitesi**, Ankara (2011).
57. Andre, C. M., Hausman, J. F., & Guerriero, G. “Cannabis sativa: the plant of the thousand and one molecules”, **Frontiers in plant science**, 7, 19 (2016).
58. Harris, A. T., Riddlestone, S., Bell, Z., & Hartwell, P. R. “Towards zero emission pulp and paper production: the BioRegional MiniMill” **Journal Of Cleaner Production**, 16(18), 1971-1979 (2008).
59. Li, S. Y., Stuart, J. D., Li, Y., & Parnas, R. S. “The feasibility of converting Cannabis sativa L. oil into biodiesel” **Bioresource Technology**, 101(21), 8457-8460 (2010).
60. Struik, P. C., Amaducci, S., Bullard, M. J., Stutterheim, N. C., Venturi, G., & Cromack, H. T. H. “Agronomy of fibre hemp (Cannabis sativa L.) in Europe” **Industrial Crops And Products**, 11(2-3), 107-118 (2000).
61. Schluttenhofer, C., & Yuan, L. “Challenges towards revitalizing hemp: A multifaceted crop” **Trends in Plant Science**, 22(11), 917-929 (2017).
62. Viswanathan, M. B., Cheng, M. H., Clemente, T. E., Dweikat, I., & Singh, V. “Economic perspective of ethanol and biodiesel coproduction from industrial hemp” **Journal of Cleaner Production**, 299, 126875 (2021).
63. Asokan, M. A., Prabu, S. S., Bollu, A., Reddy, M. A., Ram, A., & Sukhadia, D. S. (2021). Emission and performance behavior of hemp seed oil biodiesel/diesel blends in DI diesel engine. **Materials Today: Proceedings**, 46, 8127-8132.

64. Fidan, M. S., & Alkan, E. "Bitkisel Hammaddelerden elde edilen biyodizelin alternatif enerji kaynağı olarak kullanılması" *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(2), 144-160. (2014).
65. Kumar, S., Cho, J. H., Park, J., Moon, I. "Advances in diesel–alcohol blends and their effects on the performance and emissions of diesel engines", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22:46-72 (2013).
66. Jamrozik, A., Tutak, W., Gnatowska, R., Nowak, Ł. "Comparative analysis of the combustion stability of diesel-methanol and diesel-ethanol in a dual fuel engine", *Energies*, 12(6):971 (2019).
67. Xingcai, L., Zhen, H., Wugao, Z., Degang, L. "The influence of ethanol additives on the performance and combustion characteristics of diesel engines", *Combustion Science and Technology*, 176(8):1309-1329).
68. Li, F., Yi, B., Fu, W., Song, L., Liu, T., Hu, H., Lin, Q. "Experimental study on spray characteristics of long-chain alcohol diesel fuels in a constant volume chamber", *Journal of the Energy Institute*, 92(1):94-107 (2019).
69. Kumar, B. R., Saravanan, S. "Use of higher alcohol biofuels in diesel engines: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60:84-115.).
70. Ma, Y., Huang, S., Huang, R., Zhang, Y., Xu, S. (2017). Ignition and combustion characteristics of n-pentanol–diesel blends in a constant volume chamber", *Applied Energy*, 185:519-530 (2016).
71. Rasskazchikova, T. V., Kapustin, V. M., Karpov, S. A. "Ethanol as high–octane additive to automotive gasolines. production and use in russia and abroad", *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 40(4):203-210 (2004).
72. Doğan, O. (2011). The influence of n-butanol/diesel fuel blends utilization on a small diesel engine performance and emissions. *Fuel*, 90(7):2467-2472).
73. Hua, Y., "Research progress of higher alcohols as alternative fuels for compression ignition engines", *Fuel*, 357: 129749 (2024).
74. Kahraman, N., Akansu, S. O., & Albayrak, B. "İçten yanmalı motorlarda alternatif yakıt olarak hidrojen kullanılması", *Mühendis ve Makine Dergisi*, 48(569), 9-15 (2007).
75. Batmaz, İ. "Buji ateşlemeli motorlarda yakıtta hidrojen ilavesinin motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi" *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(1) (2007).

76. Acaroğlu, P. M., "Alternatif Enerji Kaynakları", *Nobel Yayın Dağıtım*, İstanbul, (2007).
77. 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).
78. Özer, S., & Vural, E. "Pilot Yakıt Olarak Dizel/n-Heptan, Dizel/Toluen Kullanan Dizel Bir Motorda CNG İlavesinin Etkileri", *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 1-15 (2020).
79. İnternet :“Biyoetanol Yakıt Hakkında”
<https://www.decofire.com/bioethanol-yakit-hakk%C4%B1nda> (2024).
80. Hill, J., Nelson, E., Tilman, D., Polasky, S., & Tiffany, D. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. *Proceedings of the National Academy of sciences*, 103(30), 11206-11210 (2006).
81. Najafi G., Ghobadian B., Tavakoli T., Yusaf T. "Potential of Bioethanol Production from Agriculture Wastes in Iran", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13: 1418-1427 (2009).
82. Hahn-Hägerdal B., Galbe M., Gorwa-Grauslund M. F., Lidén G., Zacchi G. "Bio-Ethanol The Fuel of Tomorrow From the Residues of Today", *Trends in Biotechnology*, 24(10): 549-556 (2006).
83. İnternet: "Cetane Number Improver (2-EHN) Market Research Report: Market size, Industry outlook, Market Forecast, Demand Analysis, Market Share, Market Report 2021-2026"
<https://www.industryarc.com/Report/6439/Cetane-Improver-Market-Research-Report.html> (2023).
84. Almodovar, C. A., & Goldsmith, C. F. "Laser schlieren study of the thermal decomposition of 2-ethylhexyl-nitrate", *Proceedings of the Combustion Institute*, 38(1), 997-1005 (2021).
85. Li, R., Wang, Z., Ni, P., Zhao, Y., Li, M., & Li, L. "Effects of cetane number improvers on the performance of diesel engine fuelled with methanol/biodiesel blend", *Fuel*, 128, 180-187 (2014).
86. John, C. B., & Raja, S. A. "Analysis of combustion, emission and performance attributes of hemp biodiesel on a compression ignition engine". *World Review of Science, Technology and Sustainable Development*, 16(2), 169-183 (2020).

87. Holman, J.P., “Experimental Methods for Engineers”, 7 th Edition, **McGraw-Hill Education**, New York, (2001).
88. Gülüm, M., “Çeşitli Üretim Parametrelerinin Mısır ve Fındık Yağından Üretilen Biyodizellerin Önemli Yakıt Özelliklerine Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Trabzon, (2014).
89. Atmanlı, A. “Effects of a cetane improver on fuel properties and engine characteristics of a diesel engine fueled with the blends of diesel, hazelnut oil and higher carbon alcohol”, **Fuel**, 172, 209-217 (2016).
90. Hasan, A. O., Al-Rawashdeh, H., Abu-jrai, A., Gomaa, M. R., & Jamil, F. “Impact of variable compression ratios on engine performance and unregulated HC emitted from a research single cylinder engine fueled with commercial gasoline”, **International Journal of Hydrogen Energy**, 48(68), 26619-26628 (2023).
91. Heywood J.B. Internal Combustion Engine Fundamentals, 2nd Edition, **McGraw – Hill Education**, ISBN: 978126011610 (2018).
92. Tillem, İ. “Dizel Motorlar İçin Alternatif Yakıt Olarak Biyodizel Üretimi ve Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, **Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Sy 54 (2005).
93. Serrano, J., Jiménez-Espadafor, F. J., Lora, A., Modesto-López, L., Gañán-Calvo, A., & López-Serrano, J. “Experimental analysis of NO_x reduction through water addition and comparison with exhaust gas recycling”, **Energy**, 168, 737-752 (2019).
94. Zhang Z., Liu H., Li Y., Lu J., Ye Y., Tian J., Li J. & Xu Y. “Research and optimization of hydrogen addition and EGR on the combustion, performance, and emission of the biodiesel-hydrogen dual-fuel engine with different loads based on the RSM”, **Heliyon**, 4, 10: e23389 (2024).
95. Maroa S., & Inambao F. “Biodiesel, Combustion Performance and Emissions Characteristics”, **Green Energy and Technology**, ISSN 1865-3529 (2020).
96. Masera K. & Hossain A.K. “Advancement of biodiesel fuel quality and NO_x emission control techniques”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 178:113235 (2023).
97. Zhang Z., Zhong W., Tan D., Cui S., Pan M., Zhao Z., Zhang J & Hu J. “Hydrocarbon adsorption mechanism of modern automobile engines and methods

of reducing hydrocarbon emissions during cold start process: A review”, *Journal of Environmental Management*, 353: 120188 (2024).

98. Uyaroglu, A., & Unaldı, M. “Analysis of the performance and emission characteristics of biokerosene with 2-ethylhexyl nitrate additive”, *The Eurasia Proceedings of Science Technology Engineering and Mathematics*, 17, 60-68 (2022).
99. Kim, H. Y., Ge, J. C., & Choi, N. J. “Effects of ethanol–diesel on the combustion and emissions from a diesel engine at a low idle speed”, *Applied Sciences*, 10(12), 4153 (2020).
100. Kuszewski, H., & Jaworski, A. “Investigating the Effect of 2-Ethylhexyl Nitrate Cetane Improver (2-EHN) on the Autoignition Characteristics of a 1-Butanol–Diesel Blend”, *Energies (19961073)*, 17(16) (2024).
101. Şimşek S. & Uslu S. “Analysis of the effects of cetane improver addition to diesel on engine performance and emissions”, *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 26-32 (2021).
102. 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).
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. 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).

ÖZGEÇMİŞ

