



DİZEL MOTORA İZOPROPANOL İLAVESİNİN PERFORMANS VE ÇEVRE KİRLİLİĞİNE ETKİSİ

**2024
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Mahmut Sami YILMAZ

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK**

**DİZEL MOTORA İZOPROPANOL İLAVESİNİN PERFORMANS VE
ÇEVRE KİRLİLİĞİNE ETKİSİ**

Mahmut Sami YILMAZ

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK**

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

**KARABÜK
Ocak 2024**

Mahmut Sami YILMAZ tarafından hazırlanan “DİZEL MOTORA İZOPROPANOL İLAVESİNİN PERFORMANS VE ÇEVRE KİRLİLİĞİNE ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 25/01/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Mehmet ŞEN (AİBÜ)

.....

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

.....

Üye : Doç. Dr. Samet USLU (KBÜ)

.....

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

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



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

Mahmut Sami YILMAZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİZEL MOTORA İZOPROPANOL İLAVESİNİN PERFORMANS VE ÇEVRE KİRLİLİĞİNE ETKİSİ

Mahmut Sami YILMAZ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK

Ocak 2024, 63 sayfa

Dizel motorlarda kirletici miktarını azaltmak amacıyla alkoller, doğal gaz ve LPG gibi alternatif yakıtlar kullanılmaktadır. Alkollerin yapısında oksijen bulunması, C/H oranının düşük olması, buharlaşma ısısının yüksek olması nedeniyle emisyonlar üzerinde olumlu etkisi vardır.

Bu çalışmada dizel yakıtı-izopropanol karışımlarının motor parametrelerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Testlerde direkt püskürtmeli, tek silindirli, 4 zamanlı bir motor kullanılmıştır. Karışım yakıtları; dizel yakıtına %10, %20 ve %30 oranlarında izopropanol eklenmesiyle elde edilmiştir. Yapılan test sonuçlarına göre; tüm yüklerde İ10, İ20 ve İ30 yakıtlarının ÖYT değerleri dizel yakıtına göre daha yüksek çıkmıştır. İ30 yakıtı dizel yakıtına göre ÖYT değerlerinde ortalama %10 artış göstermiştir. Yakıtlar içerisinde en yüksek efektif verim değeri İ10 yakıtıyla elde edilmiştir. İ10 efektif verimi dizel yakıtı ile kıyaslandığında ortalama %1 daha

yüksek çıkmıştır. Dizel motorda izopropanol kullanımı ile çevre kirliliğine neden olan emisyon değerlerinde iyileşme gözlenmiştir. Karışımdaki izopropanol miktarının artmasına paralel olarak NO_x, is ve CO emisyonunda azalmalar elde edilmiştir. İ30 yakıtlı çalışmada dizel yakıtı göre NO_x emisyonu %28, is emisyonu %20 ve CO emisyonu %18 daha düşük çıkmıştır. Yakıtlar içerisinde HC emisyonu bakımından en iyi performans gösteren yakıt İ10 yakıtıdır. Tüm yükler için İ10 yakıtı D100 yakıtına göre HC emisyonu bakımından ortalama %12 daha düşük sonuç vermiştir.

Anahtar Sözcükler : İzopropanol, emisyon, performans, dizel yakıtı.

Bilim Kodu : 91440

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EFFECT OF ADDING ISOPROPANOL TO A DIESEL ENGINE ON PERFORMANCE AND ENVIRONMENTAL POLLUTION

Mahmut Sami YILMAZ

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

Thesis Advisor:

Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK

January 2024, 63 pages

Alternative fuels such as alcohols, natural gas and LPG are used in diesel engines to reduce the number of pollutants. Alcohols have a positive effect on emissions due to the presence of oxygen in their structure, low C/H ratio, and high evaporation heat.

In this study, the effects of diesel fuel-isopropanol mixtures on engine parameters were examined experimentally. A direct injection, single cylinder, 4-stroke engine was used in the tests. Mixed fuels were obtained by adding 10%, 20% and 30% isopropanol to diesel fuel. According to the test results, at all loads, SFC values of İ10, İ20 and İ30 fuels were higher than diesel fuel. İ30 fuel showed an average of 10% increase in SFC values compared to diesel fuel. Among the fuels, the highest effective efficiency value was obtained with İ10 fuel. İ10 fuel effective efficiency was 1% higher on average when compared to diesel fuel. With the use of isopropanol in the diesel engine, an improvement in the emission values that cause environmental

pollution has been observed. In parallel with the increase in the amount of isopropanol in the mixture, decreases in NO_x, soot and CO emissions were obtained. In İ30 fuel operation compared to diesel fuel, NO_x emissions are 28% lower, soot emissions are 20% lower and CO emissions are 18% lower. Among the fuels, the best performing fuel in terms of HC emissions is İ10 fuel. For all loads, İ10 fuel resulted in an average of 12% lower HC emissions than D100 fuel.

Key Word : Isopropanol, emission, performance, diesel fuel.

Science Code : 91440



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının ilerleyişinde ve gelişiminde desteğini esirgemeyen ve çalışmama bilim ışığında yön veren, Sayın Hocam Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
BÖLÜM 3	10
DİZEL MOTORLAR.....	10
3.1 DİZEL MOTOR ÇEVİRİMİ	10
3.1.1 Emme Zamanı	10
3.1.2 Sıkıştırma Zamanı	10
3.1.3 İş Zamanı	11
3.1.4 Egzoz Zamanı	11
BÖLÜM 4	13
DİZEL MOTORLARINDA YANMA VE EMİSYONLARIN OLUŞUMU	13
4.1. YANMA	13

Sayfa

4.1.1. Tutuşma Gecikmesi	14
4.1.1.1. Sıkıştırma Sonu Sıcaklığı	14
4.1.1.2. Sıkıştırma Sonu Basıncı	14
4.1.1.3. Yakıtın Kimyasal Yapısı	15
4.1.1.4. Yakıtın Atomize Edilmesi	15
4.1.1.5. Sıkıştırılan Havada Meydana Getirilen Türbülans	15
4.1.2. Kontrolsüz Yanma	15
4.1.3. Kontrollü Yanma	16
4.1.4. Gecikmiş Yanma	16
4.2. EMİSYONLARIN OLUŞUMU	16
4.2.1. Partikül Madde ve İş Emisyonları	18
4.2.2. Azot Oksit (NOx) Emisyonları	18
4.2.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonları	19
4.2.4. Karbonmonoksit (CO) Emisyonları	20
BÖLÜM 5	21
DİZEL MOTOR YAKITLARI	21
5.1. DİZEL YAKITI	21
5.1.1. Dizel Yakıtının Sınıflandırması	21
5.1.2 Dizel Yakıtının Özellikleri	22
5.1.2.1. Viskozite	22
5.2. MOTORDA ALTERNATİF YAKITLAR	24
5.2.1. Doğal Gaz	25
5.2.2. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)	25
5.2.3. Hidrojen	26
5.2.4. Biyogaz	26
5.2.5. Biyodizel	26
5.2.6. Alkoller	27
5.3. DİZEL MOTORLARINDA ALKOLLERİN KULLANILMASI	27
5.3.1. Metanol	27
5.3.2. Bütanol	28

	<u>Sayfa</u>
5.3.3. Etanol.....	28
5.3.4. İzopropanol (2-propanol) veya İzopropil Alkol	29
 BÖLÜM 6	 32
MATERYAL VE METOT	32
6.1. MATERYAL.....	32
6.1.1. Test Çalışma Yeri	32
6.1.2. Test Motoruna Ait Genel Özellikler	33
6.1.3. Motor Yükleme Ünitesi	34
6.1.4. Deney Yakıtları	35
6.2. DENEYLERDE KULLANILAN CİHAZLAR	36
6.2.1. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı.....	36
6.2.2. İş Emisyon Ölçüm Cihazı.....	37
6.2.3. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzenegi.....	38
6.2.4. Dijital Kronometre.....	38
6.2.5. Dijital Multimetre	39
6.3. TEST ÇALIŞMALARININ YAPILIŞI	39
6.3.1. Motor Testleri	39
6.4. DENEYSEL ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR	40
 BÖLÜM 7	 42
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	42
7.1. MOTOR PERFORMANS PARAMETRELERİ.....	42
7.2. EGZOZ EMİSYONLARI	45
 BÖLÜM 8	 50
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	50
8.1. SONUÇLAR.....	50
8.2. ÖNERİLER.....	52

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR	53
EK AÇIKLAMALAR A.....	58
PERFORMANS VE EMİSYON DEĞERLERİ	58
ÖZGEÇMİŞ	63



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. 4 zamanlı içten yanmalı dizel motor çevrimi.....	12
Şekil 4.1. Dizel motor yanma olayının safhaları.....	13
Şekil 4.2. Dizel motorunda HFK'nın emisyonu etkisi.	17
Şekil 6.1. Test çalışma düzeneği.....	32
Şekil 6.2. Test çalışma düzeneğinin şematik hali.	33
Şekil 6.3. Deney motorunun genel görünüşü.	33
Şekil 6.4. Motor yükleme ünitesi.	35
Şekil 6.5. Egzoz emisyon ölçüm cihazı.	36
Şekil 6.6. Is emisyon ölçüm cihazı.	37
Şekil 6.7. Elektronik terazi.....	38
Şekil 6.8. Dijital kronometre.....	38
Şekil 6.9. Dijital multimetre.....	39
Şekil 7.1. Dizel yakıtı, dizel-izopropanol karışımlarının ÖYT değişimleri.....	43
Şekil 7.2. Dizel yakıtı, dizel-izopropanol karışımlarının efektif verim değişimleri ..	44
Şekil 7.3. Dizel yakıtı, dizel-izopropanol karışımlarının EGS değişimleri.....	45
Şekil 7.4. Dizel yakıtı, dizel-izopropanol karışımlarının NO _x değişimleri.....	46
Şekil 7.5. Dizel yakıtı, dizel-izopropanol karışımlarının is emisyonu değişimleri....	47
Şekil 7.6. Dizel yakıtı, dizel-izopropanol karışımlarının HC emisyonu değişimleri..	48
.....	48
Şekil 7.7. Dizel yakıtı, dizel-izopropanol karışımlarının CO emisyonu değişimleri....	49
.....	49

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 5.1. Etanole ait özellikler.	29
Çizelge 5.2. İzopropanole ait özellikler.	30
Çizelge 6.1. Deney motoru özellikleri.	34
Çizelge 6.2. Testte kullanılan jeneratöre ait teknik özellikler.	34
Çizelge 6.3. Dizel yakıtı ve izopropanolün özellikleri	35
Çizelge 6.4. İzopropanol-dizel yakıt karışımlarının % olarak değerleri.	36
Çizelge 6.5. Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri	37
Çizelge 6.6. Deney yakıtlarına ait alt ısı değerler.	40

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

H/Y	: Hava/Yakıt oranı
C/H	: Karbon/Hidrojen oranı
n	: Motor hızı (d/d)
ε	: Sıkıştırma oranı
Me	: Motor momenti (Nm)
Pe	: Efektif güç (kW)
Be	: Yakıt tüketimi (kg/h)
be	: Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)
Hu	: Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)
λ	: Hava fazlalık katsayısı
CO ₂	: Karbondioksit
CO	: Karbonmonoksit
NO _x	: Azotoksit
HC	: Hidrokarbon
CH ₄	: Metan
PM	: Partikül madde

KISALTMALAR

HFK	: Hava Fazlalık Katsayısı
EGS	: Egzoz Gaz Sıcaklığı
KMA	: Krank Mili Açısı (°)
PA	: Püskürtme Avansı (°)
PB	: Püskürtme Başlangıcı
PS	: Püskürtme Sonu
ÖYT	: Özgöl Yakıt Tüketimi
TG	: Tutuşma Gecikmesi
MOS	: Motor Oktan Sayısı
AOS	: Araştırma Oktan Sayısı
IBE	: İzopropanol/Bütanol/Etanol
ABE	: Aseton/Bütanol/Etanol
İ0	: İçerisinde izopropanol bulunmayan yakıt
İ10	: İçerisinde %10 izopropanol bulunan yakıt
İ20	: İçerisinde %20 izopropanol bulunan yakıt
İ30	: İçerisinde %30 izopropanol bulunan yakıt

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Fosil kökenli enerji kaynakları, kömür, petrol ve doğalgaz gibi yer altındaki organik materyallerin milyonlarca yıl boyunca çürüyerek oluşan ve insanlar tarafından enerji üretimi için kullanılan kaynaklardır. Fosil yakıtlar, milyonlarca yıl süren jeolojik süreçler sonucunda oluşurlar, bu nedenle doğal olarak oluşumları birkaç yıl alırken, insanlar tarafından tüketilmeleri çok daha hızlıdır. Bu durum, fosil yakıtların tükenebilir olmalarına yol açar. Özellikle petrol ve doğalgaz gibi kaynaklar, enerji talebinin sürekli artmasıyla birlikte daha hızlı bir şekilde tükenme riski taşımaktadır. Fosil yakıtların çevresel etkileri geniş kapsamlıdır ve çeşitli sorunlara neden olabilir. Fosil yakıtların yanması, atmosfere sera gazları salınımına yol açar. Bu gazlar, atmosferdeki sera etkisini artırarak küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine neden olabilir. Fosil yakıtların yanması sırasında atmosfere kirleticiler salınır. Bunlar arasında sülfür dioksit, azot oksitler ve partikül madde bulunur, bu da hava kalitesini düşürerek solunum ve sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Fosil yakıtların çıkarılması ve işlenmesi sırasında su kirliliği riski vardır. Petrol sızıntıları deniz ve su kaynaklarını kirletebilmektedir.

Ulaşım sektörü, dünya genelinde büyük ölçüde petrol tüketimine dayanmaktadır. Petrol, taşıma araçlarının (karayolu, demiryolu, deniz ve hava taşımacılığı) çoğunda ana enerji kaynağı olarak kullanılır. Benzin ve dizel, binek araçlardan ticari kamyonlara kadar geniş bir araç yelpazesinde kullanılan yaygın petrol ürünleridir. Bu araçlar genellikle içten yanmalı motorlara sahiptir ve yakıt olarak petrol ürünlerini kullanırlar. Şehir içi ve şehirlerarası otobüsler de genellikle dizel yakıt kullanır. Demiryolu taşımacılığında, dizel lokomotifler genellikle uzun mesafeli ve yüksek güç gerektiren taşımalarda tercih edilir. Deniz taşımacılığında, gemiler genellikle ağır yükleri taşımak için dizel yakıtlar kullanır. Büyük tankerler, konteyner gemileri ve diğer deniz araçları genellikle petrol türevi yakıtları kullanarak çalışır. Havayolu

taşımacılığında jet yakıtları, genellikle kerosen (JP-8) olarak adlandırılan özel bir türdür. Bu yakıtlar genellikle rafine edilmiş petrol ürünleridir.

Fosil yakıtların sürdürülebilir olmaması ve çevresel sorunlara yol açması, dünya genelinde alternatif enerji kaynaklarına yönelik bir ilgi artışına neden olmuştur. İçten yanmalı motorlara sahip araçlarda, LPG, alkoller, doğal gaz, hidrojen ve biyodizel gibi alternatif yakıtlar tercih edilmektedir. Alternatif enerji kaynakları, ulaşım sektöründe petrol tüketimini azaltmaya ve daha çevre dostu bir ulaşım sistemine geçişe yönelik çabaların bir parçası olmaktadır (Tuncer, 2023).

Taşıt emisyonları, taşıtların egzozundan atmosfere salınan gazlar ve partikül madde karışımını ifade eder. Bu emisyonlar, bir dizi zararlı etkiye neden olabilir ve çevresel ve sağlık sorunlarına katkıda bulunabilir. Taşıt egzozlarından çıkan partikül maddeler, hava kirliliğine neden olabilir ve solunum yolu problemlerine, kardiyovasküler hastalıklara ve genel sağlık sorunlarına katkıda bulunabilir. NOx emisyonları, ozon oluşturarak hava kalitesini düşürebilir ve solunum sistemi sorunlarına neden olabilir. Ayrıca azot oksitler, asit yağmurlarına da katkıda bulunabilir.

Taşıtlardan salınan karbon dioksit, sera gazları arasında yer alır ve küresel ısınmaya katkıda bulunarak iklim değişikliğini tetikleyebilir. Karbon monoksit (CO) ve hidrokarbonlar (HC) taşıt emisyonlarının önemli bileşenleridir ve çeşitli zararlı etkilere neden olabilirler: CO, renksiz ve kokusuz bir gazdır ve vücutta oksijen taşıma kapasitesini azaltarak zehirleyici etkilere neden olabilir. Hemoglobin ile yüksek oranda bağlanarak normal oksijen taşıma fonksiyonunu engeller. Hidrokarbon emisyonları, ozon ve çeşitli partikül maddelerin oluşumuna katkıda bulunabilir. Bu durum, hava kalitesinin düşmesine ve solunum problemlerinin artmasına yol açabilir. Bu zararlar, özellikle şehirlerdeki yoğun trafik ve kötü hava kalitesi durumlarında daha belirgin hale gelir. Bu nedenle, hava kalitesini iyileştirmek ve insan sağlığını korumak amacıyla taşıt emisyonlarının kontrolü ve azaltılması önemlidir.

Dizel motorlar yüksek torka sahip olmalarından dolayı ağır taşıtlarda tercih edilmektedir. Bu motorlarda CO ve HC emisyonları düşük seviyelerde iken NO_x ve is emisyon değerleri oldukça yüksektir. Emisyon standart değerlerinin sürekli aşağı çekilmesinden dolayı motor emisyonlarının azaltılması gerekmektedir. Katalitik konvertör, partikül filtresi gibi egzoz kontrol yöntemleri ile kirleticilerin azaltılmasına çalışılmaktadır. Dizel yakıtları içerisine bazı kimyasal katkıları eklenerek emisyon kontrol sisteminin yükünün azaltılması hedeflenmektedir.

Alkoller taşıdıkları bazı özelliklerinden dolayı dizel motorlarda dizel yakıtı ilave edilerek kullanılmaktadır. Alkollerin yapısında oksijen bulunması, C/H oranının düşük olması ve buharlaşma ısısının yüksek olmasından dolayı bazı emisyon değerlerinde düşme sağlamaktadır.

Bu çalışmada dizel yakıtı ilave edilmek üzere izopropanol tercih edilmiştir. İzopropanol karışım yakıtlardaki faz ayrışması sorununu gidermek amacıyla yakıtlara katılmakta ve olumlu sonuçlar alınmaktadır. Dizel motorda izopropanol kullanımının efektif verime, özgül yakıt tüketimine ve egzoz kirleticilerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi çalışmanın hedefini oluşturmaktadır.

Çalışma kapsamında, dizel yakıtına farklı oranlarda (%10, %20 ve %30) izopropanol eklenerek karışım yakıtları oluşturulmuştur. Bu karışımlar, deney motorunda çeşitli yüklerde ve sabit hızda test edilmiştir. İzopropanol eklemesinin motor parametreleri üzerindeki etkisi, dizel yakıtıyla karşılaştırılarak detaylı bir şekilde incelenmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÖZETİ

Dizel motorlarda dizel yakıt içerisinde izopropanol ve diğer alkoller ilave edilerek motor performansına ve hava kirliliğine etkileri araştırılmıştır.

Zülfü ve Aydın (2020) bir dizel motorda biyodizel yakıtta izopropanol ilavesinin yanma, performans ve emisyonlara etkilerini incelemişlerdir. Biyodizel ve izopropanolle oluşturulan karışimli yakıtların kullanımıyla motor performansı, özgül yakıt tüketimi ve emisyon değerleri, dizel yakıtla kıyasla belirgin bir farklılık göstermemiştir. Yük altındaki test koşullarında, tüm deney yakıtları için benzer yanma parametreleri olduğu görülmüştür. İzopropanol ilavesiyle NO_x emisyonlarında bir miktar azalma olduğu görülmüştür. İzopropanol ilavesi özgül yakıt tüketimi ile CO ve HC emisyonlarının az da olsa artmasına neden olmuştur.

Şimşek ve Çolak (2019) yaptıkları çalışmayla biyodizelle çalışan bir dizel motorda biyodizel izopropanol karışımlarının kirleticiler üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Motorda kullanılan alkol oranı %10 ve %20'dir. Yapılan motor deneyleri sonucunda performansın iyileştiği, NO_x, CO ve PM emisyonlarında düşme, HC emisyonlarında artış olduğu görülmüştür.

Fırat vd. (2022) tarafından ortaya koyulan bir araştırmada reaktivite kontrollü sıkıştırma ateşlemeli motorda izo-izopropanol/biyodizel yakıt karışımının yanma süreciyle emisyonlara etkileri incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre izopropanol ilavesiyle yanma parametrelerinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. NO ve is emisyonunda azalma, CO ve HC emisyonlarında artış gözlenmiştir.

Bencheikha vd. (2019) yaptıkları araştırmada; atık yemeklik yağdan elde edilen biyodizel, dizel yakıtı ve izopropanol karışımlarının yakıt özellikleri, karakterizasyon

ve motor emisyonlarına etkilerini araştırmışlardır. Dizel-biyodizel karışımlarına izopropanol ilavesiyle özgül yakıt tüketiminde artış olurken, karbon monoksit, azotoksit, is emisyonu ve egzoz gaz sıcaklığında azalma olmuştur.

Şen (2019) tek silindirli bir dizel test motorunda farklı püskürtme basınçlarının yanma parametreleri ve emisyonlar üzerindeki etkilerini incelemiştir. Motorda yakıt olarak dizel yakıtı-izopropanol karışımları kullanılmıştır. İzopropanol kullanımı ile is ve NOx emisyonlarında azalma sağlanmıştır. Alkol ilavesiyle egzoz gaz sıcaklığında azalma görülmüş ve yanma süresi kısalmıştır. %15 izopropanol ilavesiyle özgül yakıt tüketimi ve fren termik veriminde artış izlenmiştir.

Tosun (2017) yaptığı çalışmada aspir biyodizeli kullanan bir dizel motorda izopropanolün motor parametrelerine etkisini deneysel olarak incelemiştir. Deney sonuçlarına göre, NOx emisyonlarında düşme elde edilmiştir. Diğer taraftan HC ve CO emisyonlarında artış kaydedildiği görülmüştür. İzopropanol kullanımı özgül yakıt tüketimini artırmış, fren termik veriminde önemli bir değişiklik olmamıştır. Tüm yakıtlar için silindir basıncı ve ısı salınım değerlerinde önemli bir değişim olmamıştır.

Hazer ve Sevinç (2023) yaptıkları çalışmada bir dizel motorda üzüm çekirdeği yağı ve izopropanol karışımlarının verim ve emisyonlara etkilerini araştırmışlardır. Motor testleri hava soğutmalı tek silindirli dizel motorda gerçekleştirilmiştir. Dizel yakıtı içerisine %10 ve %30 oranında çekirdek yağı ve %5 oranında izopropanol ilave edilmiştir. Yapılan testlerle is, CO, HC, NOx, özgül yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklığı ve fren termik verim parametreleri dikkate alınmıştır. Deney sonucuna göre, izopropanol ilaveli test yakıtlarında özgül yakıt tüketimi, CO, is ve HC emisyonlarının azaldığı ancak NOx, fren termik verim ve egzoz gaz sıcaklığında artış olduğu kaydedilmiştir. Üzüm çekirdeği yağına uygulanan ön ısıtma işlemi uygun bir yakıt akışı sağlayarak yağın viskozitesini azaltmış ve izopropanol ilavesi yakıtın oksijen açısından zenginleşmesine katkı sağlamıştır.

Calam (2018) yaptığı çalışmada izo-izopropanol yakıtı kullanımının homojen dolgu dizel motorda motorun yanma karakteristikleri, motor performansı ve egzoz

emisyonları üzerine etkilerini incelemiştir. İzopropanol kullanımı ile silindir içi basıncın gecikmeye alındığının görüldüğü ve yanma süresinin uzadığı belirlenmiştir. İzopropanolün CO ve HC kirleticilerini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür.

Zhao vd. (2022) yaptıkları çalışmada, Common-rail yakıt sistemli dizel motorda düşük emme basınçları altında dizel yakıtı, izopropanol ve pentanol karışımları kullanımının yanma ve emisyon özelliklerine etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada beş giriş basıncı (1,2; 1,0; 0,8; 0,7 ve 0,6 atm) seçilmiştir. Dizel yakıtta %20 ve %40 oranlarında izopropanol ve pentanol eklenmiştir. Deney sonuçlarına göre karışım yakıtları dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında dizel-izopropanol ve dizel-pentanol karışımlarının tutuşma gecikmelerinin daha uzun ve yanma sürelerinin daha kısa olduğu görülmüştür. Dizel-alkol karışımlarının, saf dizele kıyasla daha yüksek NOx emisyonlarına sahip olduğu ancak is emisyonlarını azalttığı belirlenmiştir.

Kukana ve Jackhar (2022) ortaya koydukları çalışmayla, dizel-izopropanol-kompozit biyodizel üçlü karışımından oluşan yakıtın dizel motorun çalışma parametrelerine etkisini ele almışlardır. Deney sonuçlarına göre özgül yakıt tüketiminin ve fren termik verimin arttığı görülmüştür. Kirleticiler açısından olumlu sonuçlar alınmış, CO, HC ve NOx kirleticilerinde azalma sağlanmıştır.

Zhao vd. (2021) yaptıkları çalışmada Common-rail dizel motorda yüksek karışım oranına sahip dizel-alkol karışımlarının yanma ve emisyon özelliklerine etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada dizel yakıtta izopropanol, pentanol, bütanol ve hexanol %40 oranında katılmıştır. Alkol karışımlarında silindir basınçları geç oluşmuş ve dizele göre %10 daha yüksek basınç alınmıştır. Özgül yakıt tüketiminin arttığı, termik verimin azaldığı görülmüştür. NOx emisyonlarında artış, is emisyonlarında azalma tespit edilmiştir.

Pinzi vd. (2017) yaptıkları araştırmada, alkol sınıfında yer alan etanolün ve izopropanolün dizel yakıtıyla elde edilen yeni yakıt karışımlarının egzoz ve gürültü emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Çalışma sonuçlarına göre; karışımda kısa zincirli alkollerin varlığı, muhtemelen karışımın setan sayısının azalmasına bağlı olarak ses basıncı seviyesini artırmıştır. Egzoz emisyonları, muhtemelen yakıttaki

oksijenin artmasına bağlı olarak, karışımdaki alkol miktarı arttıkça is emisyonlarında da bir azalma görülmüştür. Ayrıca alkol ilavesi ile NO_x emisyonlarında azalma olmuştur. Bunun nedeni, düşük setan sayısına veya oksijen içeriğine rağmen, kısa zincirli alkollerin daha düşük yanma ısısı ve daha düşük adyabatik alev sıcaklığı ile daha yüksek buharlaşma ısısının baskın etkisi olabilir. Sonuç olarak, yanma sıcaklığında genel bir azalma ve dolayısıyla daha düşük bir NO_x oluşumu oranı elde edilmiştir. Öte yandan oksijenli alkol-dizel yakıt karışımları, eksik yanmanın bir sonucu olarak HC ve CO emisyonlarında artış göstermiştir. Bu eğilim muhtemelen karışımların düşük homojenliğinden veya alkolün termal bozunmasından kaynaklanıyor olabilir. Ayrıca karışımda etanol yerine izopropanolün tercih edilmesi ile egzoz ve gürültü açısından daha iyi davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, izopropanolün setan sayısı ve kalorifik değerinin etanolden ziyade dizel yakıtına daha yakın olmasıdır.

Atmanlı (2016) yaptığı çalışmada, dizel yakıtı-atık yağ biyodizel karışımlarına izopropanol, bütanol ve pentanol ilave ederek motor testleri yapmıştır. Alkol karışimli çalışmada ısı verim ve özgül yakıt tüketiminin arttığı görülmüştür. Ayrıca HC ve CO emisyonlarında artış olurken NO_x emisyonlarında düşme izlenmiştir.

Xiaoyan vd. (2006) gerçekleştirdikleri çalışmada; dizel motorunu soya metil ester, dizel yakıtı ve dizel etanol karışımları ile çalıştırarak performans ve kirleticilere etkisini gözlemlemişlerdir. Dizel yakıtına eklenen etanol, partikül madde ve CO kirleticilerinde azalmaya sebep olmuştur. Diğer taraftan NO_x emisyonu üzerinde olumsuz tesiri olmuş ve %4 ila %12 artış kaydedilmiştir. Biyodizel ve etanol ilaveli yakıtla yapılan testlerde bu yakıtların motor performans parametreleri üzerinde olumlu etkileri olduğu gözlemlenmiştir.

Song vd. (2007) tarafından yürütölen çalışmada, sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda alternatif yakıt olarak etil alkol kullanımı incelenmiştir. Etil alkolün egzoz kirleticilerine olan etkilerine bakılmıştır. Dizel yakıtı etil alkol karışma oranları %5, %10, %15 ve %20 olarak belirlenmiştir. Artan etil alkol miktarı ile PM ve NO_x salımında azalma elde edilirken CO ve HC salımında artış gözlenmiştir.

Rakopoulos vd. (2010) yapmış olduğu araştırmada; dizel yakıtıa bütanol eklemişlerdir. Bütanol eklenme oranı %8, %16 ve %24 olacak şekilde ayarlanmıştır. Bütıl alkol-dizel yakıt karışımlarıyla yapılan deneylerle emisyon ve yakıt sarfiyatı değişimine bakılmıştır. Artan bütanol oranının azot oksit, karbon monoksit ve PM (Partikül Madde) emisyonları üzerinde olumlu etkisi görölmüştür. Ancak hidrokarbon salımında ve özgül yakıt sarfiyatında artış görölmüştür. Özgül yakıt sarfiyatının artmasına rağmen bütanol kullanımıyla fren termik veriminde yükseliş sağlanmıştır.

Huang vd. (2009) dizele ilave edilen etil alkol ile elde edilen karışımının yakıt tüketimi ve egzoz kirleticilerine etkisini incelemişlerdir. Etanolün dizel yakıtına karışma oranı %10, %20, %25 ve %30 olarak ayarlanmıştır. Dizel yakıtı içerisindeki etanol karışım yüzdesi arttıka özgül yakıt sarfiyatı ve HC salımı da artmıştır. Etanolün CO ve NO_x emisyonları üzerinde olumlu etkiler göstermiş ve bu emisyonlarda düşmeye sebep olmuştur.

Al-Momany ve Al-Hasan (2008) sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda izobütanol kullanımının etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada deney motoru olarak düşük güçlü tek silindirli 4 zamanlı bir motor tercih edilmiştir. İzobütıl alkolün dizele eklenme oranı %10, %20, %25 ve %30 olarak ayarlanmıştır. Deney motoru değişik hız testine tabi tutulmuştur. Bütanol ilavesi egzoz gaz sıcaklığını ve motor çıkış gücünü bir miktar düşürmüştür. Bu azalmaya yol açan faktörler arasında; tercih edilen alkolün düşük setan sayısına sahip olması sebebiyle tutuşma gecikmesinin artması ve alkolün sıcaklık değerinin düşüklüğü öne çıkmaktadır.

Yılmaz (2012) tarafından yürütölen araştırmada üçlü yakıt karışımlarının özgül yakıt tüketimi ve emisyonlara etkisi incelenmiştir. Deneylerde yakıt olarak dizel-biyodizel-etanol yakıt karışımı ile dizel-biyodizel-metanol yakıt karışımları kullanılmıştır. Karışım içindeki alkol yüzdesinin artışı ile NO salımında düşme, HC ile CO salımında ise artış olduğu gözlemlenmiştir. Yine alkol yüzdesindeki artışla birlikte özgül yakıt sarfiyatı da artmıştır. Dizel yakıtına kıyasla daha düşük alt ısı değere sahip olan alkol, özgül yakıt sarfiyatının artmasında etkili olmaktadır. HC ve CO

salımının azaltılmasında metil alkolün etil alkole göre daha yüksek etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Zhang vd. (2010) sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda alternatif yakıt olarak metil alkol kullanmıştır. Motorun emme havasına metil alkol verilerek kirleticiler üzerindeki etkisine bakılmıştır. Test sonuçları, metil alkolün CO ve HC salımında artışa sebep olduğunu göstermiştir. Diğer taraftan alkol kullanımıyla, dizel motorlar için önemli emisyonlar olan NOx ve PM salımında azalma sağlandığı görülmüştür.



BÖLÜM 3

DİZEL MOTORLAR

3.1 DİZEL MOTOR ÇEVİRİMİ

Dört zamanlı dizel motorlarında çevrim, pistonun 4 hareketinde tamamlanmakta ve bu esnada krank mili 2 devir yapmaktadır. Krank milinin 2 devri 720° olduğu için her zamana 180° 'lik krank açısı düşer. Pistonun üst ölü noktadan alt ölü noktaya itilmesiyle krank mili dairesel hareket yaparak iş elde edilir. Dizel motorları çalışma prensibine göre bu zamanlar sırasıyla emme, sıkıştırma, iş, egzoz şeklindedir.

3.1.1 Emme Zamanı

Emme safhası, krank miline bağlı pistonun Ü.Ö.N.'dan başlayıp A.Ö.N.'ya kadar hareketine devam ettiği süreyi ifade eder. Bu hareket esnasında emme supabı açık, egzoz supabı kapalıdır. Piston alt ölü noktaya doğru inerken silindir içinde hacim büyüdüğünden dolayı bir alçak basınç oluşur. Böylece atmosferik basınçta olan dış hava, hava filtresinden geçerek açık olan emme supabından silindire dolar. Bu doluş, pistonun alt ölü noktaya gelmesi ve emme supabının kapanması ile sona erer. Emme zamanında silindir içindeki havanın sıcaklığı ortalama $80-120^\circ\text{C}$ 'dir. Emme zamanı tamamlandığında emme supabı da kapanmış olmaktadır (Tuncer, 2023).

3.1.2 Sıkıştırma Zamanı

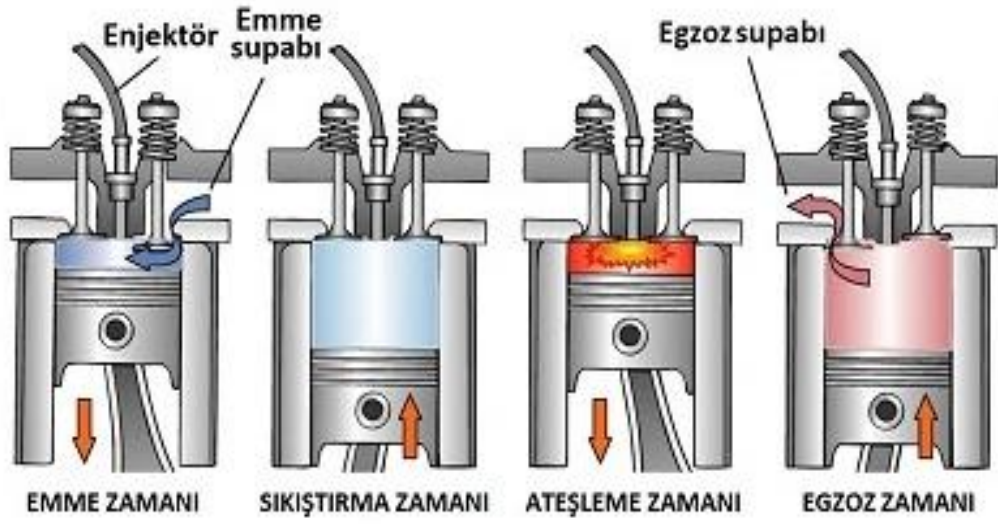
Bu zaman esnasında piston, alt ölü noktada ve her iki supap kapalıdır. Krank milinin dönmesi ile piston üst ölü noktaya doğru harekete başlar. Her iki supap kapalı olduğu için, emme zamanında silindire alınan hava sıkıştırılarak basıncı yaklaşık olarak 10-12 bara, sıcaklığı ise $700-800^\circ\text{C}$ ye ulaşır (Tuncer, 2023).

3.1.3 İş Zamanı

Sıkıştırma safhasının sonunda piston üst ölü noktada olur. Yanma odasına sıkıştırılmış, basıncı ve sıcaklığı artmış olan hava içerisine, yakıt pompasından gelen basınçlı yakıt enjektör vasıtasıyla yanma sürecine uygun bir şekilde ön, ana ve son püskürtme şeklinde atomize durumda püskürtülür ve yanma başlar. Yakıtın yanması sonucunda oluşan ortalama 60-80 bar yüksek basınçla piston alt ölü noktaya doğru itilir ve biyel vasıtası ile krank milini döndürür. Pistonun hareketi ile silindir içerisinde yer alan gazların basıncı da azalır. Yanma süreci gerçekleşirken silindir içindeki sıcaklık değeri yaklaşık olarak 2000 °C'ye kadar çıkmaktadır. Bu şekilde iş (yanma ve genişleme) safhası gerçekleşmiş olur (Tuncer, 2023).

3.1.4 Egzoz Zamanı

İş (yanma ve genişleme) safhasının sonunda piston alt ölü noktaya gelir. Yeni bir çevrime başlanabilmesi için, piston üst ölü noktaya ilerlediği sırada, enerjisinden yararlanılan yanmış gazların dışarı atılması gerekir. Bu nedenle emme zamanında kapalı olan egzoz supabı açılır ve piston üst ölü noktaya doğru çıkarken, basıncı 3-4 bara, sıcaklığı da 80-120°'ye düşmüş olan yanmış gazları dışarı atmaya başlar. Netice olarak silindir içerisindeki gaz basıncı pistonu ters kuvvet uygulamaz. Böylece egzoz zamanı sonunda piston üst ölü noktaya gelir, yanmış gazlar dışarı atılır ve motor yeni bir çevrime hazır hale gelir (Soykan, 2012). Şekil 3.1'de 4 safhadan oluşan içten yanmalı dizel motorun çevrimlerine ait evreler yer almaktadır.



Şekil 3.1. 4 zamanlı içten yanmalı dizel motor çevrimi (İnternet 1, 2023)

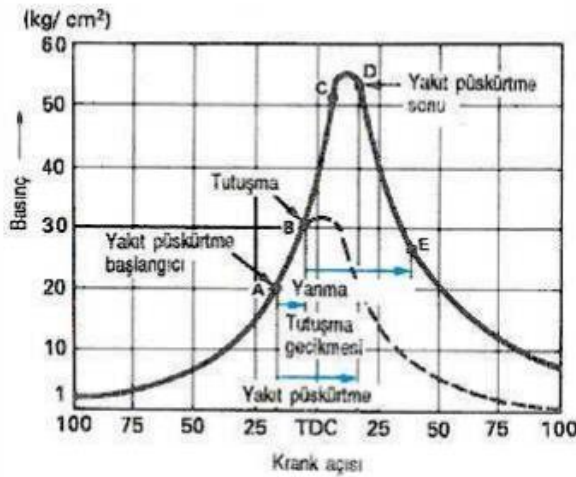
BÖLÜM 4

DİZEL MOTORLARINDA YANMA VE EMİSYONLARIN OLUŞUMU

4.1. YANMA

Bir dizel motorunda dış ortamdan alınan havanın emme supabından gelip emme anında silindir içerisine alınıp sıkıştırılması ile yanmanın gerçekleşmesi için zemin sağlanmış olur. Sıkıştırma bitimine yaklaşıldığında sıcaklık değeri artan hava içerisine yakıt, üst ölü noktadan 15° - 30° 'ye gelmeden enjektör yardımıyla püskürtülür. Yanma işlemi bu şekilde başlayarak ve yanma sonucunda ortaya çıkan gazların egzoz supabı ile dış ortama atılmasıyla tamamlanır. Motorlarda yanma olayında yakıt püskürtme sistemi ve yanma odası tasarımı da önemlidir çünkü motor verimi püskürtme avansı ve yakıt miktarına bağlı olarak farklı sonuçlar verebilmektedir (Borat vd,1992).

İçten yanmalı bir dizel motorunda yanma olayı tutuşma gecikmesinin olduğu, kontrolsüz yanmanın gerçekleştiği, kontrollü yanmanın ve gecikmiş yanmanın yer aldığı dört safhada meydana gelir (İnternet 2, 2023). Şekil 4.1'de dizel motorun yanma olayının safhalarına yer verilmiştir.



Şekil 4.1. Dizel motor yanma olayının safhaları (İnternet 2, 2023)

4.1.1. Tutuşma Gecikmesi

Silindir içerisine püskürtülen yakıt tanecikleri, sıkıştırma sonuna yaklaşıldığında anında tutuşma gerçekleştirmez. Yakıt taneciklerinin alevlenebilmesi öncelikle oksijenle karışmasına ve tutuşmak için belli bir sıcaklığa ulaşması gerekmektedir. Bundan dolayı belirli bir sreye ihtiyaç duyulmaktadır. Buna "tutuşma gecikmesi" denilmektedir. Tutuşma gecikmesini řu şekilde tanımlayacak olursak; enjektör, yakıtı silindir içindeki sıkıştırılmış havaya püskürtmeye başlamasından itibaren ilk alevin ortaya çıkmasına kadar geçmiş olan süredir (İnternet 2, 2023).

Tutuşma gecikmesi tamamen ortadan kaldırmak mümkün olmasa da motorun gürültülü ve vuruntusuz çalışması gibi kayda değer durumlar üzerinde etkili olduğundan bu zamanın mümkün olan en kısa zamanda gerçekleşecek olması önemlidir. Sıkıştırma sonunda oluşan sıcaklık, sıkıştırmanın bitimindeki basınç, yakıtın kimyasal bileşenleri, yakıt tanelerinin atomize edilme süreci ve sıkıştırılma sonucu hava içinde oluşturulan türbülans faktörleri, tutuşma gecikmesi süresinin kısılmasına veya uzamasına etki edebilen önemli parametrelerdir (İnternet 2, 2023).

4.1.1.1. Sıkıştırma Sonu Sıcaklığı

Sıkıştırma safhasının bitimindeki sıcaklık, emme supabından gelen havanın ve soğutma suyu sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Dolayısıyla, silindire alınan yanma odasındaki havanın ve soğutma suyu sıcaklıklarındaki artışlar, tutuşma gecikmesinde azaltıcı bir etki oluşturur (İnternet 2, 2023).

4.1.1.2. Sıkıştırma Sonu Basıncı

Silindir içindeki sıkıştırmanın sonunda oluşan basınç ve bu basına bağlı sıcaklık değerlerini yükseltmek için sıkıştırma oranını yükseltmek ve silindir içine basınçlı hava verilmesi gerekmektedir. Bu durum, püskürtülen yakıtın hızla tutuşmasına neden olur ve böylece tutuşma gecikmesinin süresi kısılr (İnternet 2, 2023).

4.1.1.3. Yakıtın Kimyasal Yapısı

Dizel yakıtı oluşturan kimyasal bileşimindeki etkili en önemli faktörlerden biri, tutuşma gecikmesini belirleyen öncelikli unsurlardan biri olan setan sayısıdır. Dizel yakıtının setan sayısı bir diğer adıyla dizel indeksi arttıkça, tutuşma gecikmesi de bu sebeple azalmaktadır (İnternet 2, 2023).

4.1.1.4. Yakıtın Atomize Edilmesi

Silindir içerisinde sıkıştırılan havaya püskürtülen yakıt tanecikleri olabildiğince küçük olması, bu taneciklerin sıkıştırılan havayla karışma, ısınma ve tutuşma süreçlerini kolaylaştırır. Bu taneciklerin boyutlarını ise dizel yakıtının akmaya karşı koyduğu direnci, püskürtme basınç değeri ve motor enjektör delik çapı etkiler (İnternet 2, 2023).

4.1.1.5. Sıkıştırılan Havada Meydana Getirilen Türbülans

Motor silindirinde sıkıştırılmış havada yer alan hava akımlarının yani türbülans olarak adlandırılan bu akım, yanma odasına yönlendirilen yakıt taneciklerini iterek, aynı zamanda bu taneciklerin ısınma hızını arttırmış olur. Bu durum tutuşma gecikmesi zamanını doğal olarak azaltır. Hava akışını düzenlemek ve silindir içerisine alınan havayı yönlendirmek amacıyla piston ya da yanma odasına uygulanan özel tasarım verme işlemi ile bu hava hareketi sağlanır. Motorun devir sayısındaki artışı da türbülansı arttıran bir durumdur (İnternet 2, 2023).

4.1.2. Kontrolsüz Yanma

Motorun tutuşma gecikmesi zamanında silindir içerisine püskürtülen ve silindir içinde toplanan yakıt, ısınarak havayla birlikte bir sıcaklığa ulaşınca dek buhar olur. Yakıtın tutuşması başlar başlamaz, yakıtın tamamı hemen alevlenmeye başlar ve böylece hızlı bir şekilde yanma süreci başlar. Gerçekleşen bu yanma hızı, silindir içerisinde ani bir basınç artışına sebebiyet verir. Ani basınç artışı, motoru oluşturan parçaların birbirleri arasındaki boşlukların aniden kapanmasına yol açarak motorun

gürültülü, vuruntulu ve sarsıntılı bir şekilde çalışmasına neden olur. Bu duruma "dizel vuruntusu" denilmektedir. Dizel vuruntusunun ortaya çıkmasıyla motorda mekanik stresin artması ve zaman içinde bileşenlerin yorulması ortaya çıkabilmektedir. Bu durum, motorun genel dayanıklılığı ve performansı üzerinde olumsuz etkilere neden olur (Tuncer, 2023).

Motordaki dizel vuruntusunu azaltmak amacıyla tutuşma gecikmesi zamanını azaltmak ve dizel yakıtının ilk zamanda silindir içine püskürme miktarını azaltmak gereklidir. Bunun için ise kademeli tür enjektör memesi kullanmak gerekir. Bu enjektör sistemi, yakıtın düzenli ve homojen bir biçimde silindire püskürtülmesiyle dizel vuruntusunun azaltılmasına katkı sağlar (İnternet 2, 2023).

4.1.3. Kontrollü Yanma

KontROLSÜZ yanma tamamlandığında, silindirde oluşan basınç ve sıcaklık, enjektör tarafından püskürtülen yakıtı anında tutuşturabilecek kritik bir seviyeye yükselir ve devam eden püskürtülen yakıt, silindire giriş yaptıkça gecikme olmadan yanar. Basınç, en üst düzeye ulaşana kadar bir artış gösterir. Diğer püskürtme ve yanma aşamalarında ise basınç sabit olur. Bu yanma evresi, doğrudan yakıt püskürtme sistemi tarafından kontrol edilmektedir (İnternet 2, 2023).

4.1.4. Gecikmiş Yanma

Yakıtın silindir içerisine püskürtülme aşaması tamamlanmış ve motor iş safhasına geçmiştir. Önceki aşamada püskürtülmüş ancak yanma fırsatı bulamamış yakıt, iş safhasında oksijen bulduğunda yanar. Bu olaya, yanma sürecinde meydana gelen gecikme nedeniyle "gecikmiş yanma" olarak isimlendirilir (İnternet 2, 2023).

4.2. EMİSYONLARIN OLUŞUMU

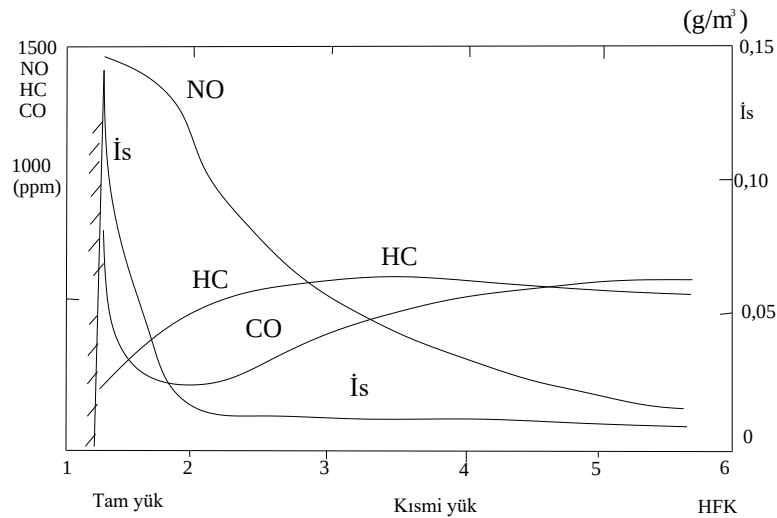
Dizel motorlarda emisyon oluşumu, karmaşık bir süreçtir ve çeşitli faktörlerin etkileşimiyle belirlenir. Bu motorlardan kaynaklanan emisyonlar eksik yanmayla oluşan azot oksitler (NO_x), partikül madde (PM), karbon monoksit (CO) ve

hidrokarbonları (HC) ile tam yanmayla oluşan CO_2 , H_2O , NO_x ve SO_2 'dir (Afşar, 2015). Bu emisyonların oluşumu, bir dizi kimyasal reaksiyon ve fiziksel süreçle ilişkilidir.

Yakıtın yanması sırasında dizel motorlarda yüksek sıcaklık ve basınç altında gerçekleşen yanma işlemi, azot ve oksijen moleküllerini birleştirerek NO_x emisyonlarını üretebilir. Bu durum, özellikle yüksek yanma sıcaklıklarının olduğu durumlarda daha belirgin hale gelir. Partikül madde emisyonları ise yanma işlemi sırasında oluşan karbon partiküllerinden kaynaklanır ve motor içindeki çeşitli süreçlerle şekillenir. Bu yüzden NO_x ve is emisyonlarının izlenmesi önemli olmaktadır (Afşar, 2015).

Ayrıca, dizel motorlarda yanma verimliliği, yakıtın tamamen yanması ile ilgili önemli bir faktördür. Tam yanma sağlanamadığında, karbon monoksit ve hidrokarbon emisyonları artabilir. Yakıtın kalitesi, motorun tasarımı, enjeksiyon sistemleri ve yanma koşulları gibi faktörler de emisyon oluşumunu etkiler.

Dizel motorlarında is emisyonunun değeri en küçük H/Y oranını belirlemekle beraber HFK değerinin 2'nin altında olması da is emisyonunu artırır (Ajav ve Akingbehin, 2002; Özer, 2010). Şekil 4.2'de dizel motorunda HFK'nın emisyona etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Dizel motorunda HFK'nın emisyona etkisi.

4.2.1. Partikül Madde ve İs Emisyonları

Otomotiv sektöründe partikül madde ve is emisyonları, içten yanmalı motorlardan kaynaklanan önemli bir çevresel sorundur. Bu emisyonlar, genellikle yakıtın yanma süreci sırasında ortaya çıkan karbon partikülleri ve organik bileşenlerden oluşur. Dizel motorlu araçlarda özellikle dikkate alınması gereken partikül madde emisyonları, motor içindeki yanma sıcaklığı ve basınç gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu partiküller, atmosfere salındıklarında solunum yollarına zarar verebilecek boyutlara sahip olabilir.

İs emisyonları ise genellikle yanma işlemi sırasında organik maddelerin yetersiz oksidasyonu veya tam yanma gerçekleşmediğinde ortaya çıkar. Otomotiv sektöründe, bu emisyonlar genellikle egzoz sistemleri ve motor tasarımıyla ilgili olarak geliştirilen kontrol stratejileriyle azaltılmaya çalışılır.

Son yıllarda, otomotiv endüstrisi, daha düşük partikül madde ve is emisyonlarına sahip araçları üretme konusunda büyük çaba harcamıştır. Geliştirilmiş yanma teknolojileri, filtreleme sistemleri ve egzoz gazı arıtma sistemleri gibi teknolojiler, bu emisyonları azaltmak ve sürdürülebilir bir otomotiv endüstrisi oluşturmak adına önemli adımlar atılmasına olanak tanır.

Ancak, bu alandaki çalışmaların devam etmesi ve daha etkili emisyon kontrol stratejilerinin geliştirilmesi, otomotiv sektöründeki çevresel etkilerin azaltılması açısından kritik öneme sahiptir. Bu çabalar hem hava kalitesini iyileştirmeyi hem de sağlık risklerini en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca dünyada geçerli olan emisyon değerlerinin bir sınıra sahip olması motordan elde edilen gücü etkileyen bir faktördür (Uslu, 2006).

4.2.2. Azot Oksit (NO_x) Emisyonları

Azot oksit (NO_x) emisyonları, otomotiv endüstrisinde içten yanmalı motorlardan kaynaklanan önemli bir çevresel sorundur. Bu emisyonlar, yüksek sıcaklıklı yanma süreçlerinden kaynaklanan azot ve oksijenin reaksiyonu sonucu oluşur ve atmosferde

çeşitli olumsuz etkilere yol açabilir. Bu tür emisyonlar, ozon tabasında olumsuzluğa yol açabilir ve solunum yollarına zarar verebilecek nitrojen dioksit (NO₂) gibi bileşenleri içerebilir (Merker vd, 2006; Rakopoulos ve Giakoumis, 2009)

Motor kontrol sistemlerinin optimize edilmesi, yanma süreçlerinin iyileştirilmesi ve egzoz gazlarının arıtılması da NO_x emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunabilir. Otomotiv endüstrisi, çevresel sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmak adına NO_x emisyonlarını minimize etme konusunda sürekli olarak çaba sarf etmektedir. Bu çabalar, hem hava kalitesini iyileştirme amacını taşıırken hem de çevresel etkileri en aza indirme gayretini yansıtmaktadır.

Motorlardaki azot oksit emisyonlarını azaltma amacıyla, püskürtme sürecinin geciktirilmesiyle silindirdeki basınç düşürülmekte ya da EGR uygulama yöntemi yapılmaktadır. Bu çalışmalar, motorun yanma işlemlerini optimize ederek atmosfere salınan zararlı emisyonları minimize etmeye yönelik etkili yaklaşımları amaçlamaktadır (Rakopoulos ve Giakoumis, 2009).

4.2.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonları

Hidrokarbon (HC) emisyonları, otomotiv sektöründe dikkate alınması gereken kirleticilerden birisidir. Bu emisyonlar, içten yanmalı motorlardan kaynaklanan yanma süreçlerinin bir sonucu olarak atmosfere salınan organik bileşenlerden meydana gelir. HC emisyonları, genellikle yanma sürecinin tamamlanmaması veya yanma işlemlerinin yetersiz oksidasyonu nedeniyle ortaya çıkar. Hidrokarbonların oluşumu, alevlerin silindir çeperi alanında gerçekleşmektedir (Uslu, 2006).

Otomotiv endüstrisi, HC emisyonlarını azaltmak için çeşitli teknolojiler geliştirmiştir. Bu teknolojiler arasında katalitik konvertörler, yakıt enjeksiyon sistemlerinin optimize edilmesi, EGR sistemleri ve hava-yakıt karışımının doğrudan enjeksiyonu gibi yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler ile yakıtın daha etkili bir şekilde yanmasını sağlamak ve atmosfere salınan HC emisyonlarını minimize etmek amaçlanmaktadır.

4.2.4. Karbonmonoksit (CO) Emisyonları

Bu emisyonlar, içten yanmalı motorlardan kaynaklanan yanma süreçlerinin bir yan ürünü olarak ortaya çıkar. CO, atmosferde zararlı etkilere yol açabilen renksiz ve kokusuz bir gazdır. CO emisyonlarının oluşumu, hidrojen/yakıt oranına göre farklılıklar gösterebilmektedir. Yanma odası içerisinde yeterli oksijen mevcut olduğunda, karbonmonoksit emisyonlarının CO₂ haline gelmesi mümkündür. Motorlardaki CO emisyonları, yanma süreçlerinin tamamlanmaması veya yanma sıcaklıklarının yeterince yüksek olmaması durumlarında artabilir. Bu durum, özellikle düşük yüklenmelerde ve düşük hızlarda motor çalıştırma koşullarında daha görülebilir hale gelir. Düşük yüklenmedeki oksijen oranının az seviyede bulunması CO miktarını arttırmaktadır (Ajav, 2002; Özer, 2010).

BÖLÜM 5

DİZEL MOTOR YAKITLARI

5.1. DİZEL YAKITI

Motorda kullanılan dizel yakıtı (motorin), ham petrolün damıtılma süreci sonucunda 180–370 °C arasında kaynamaya başlayan noktada oluşan hidrokarbonlardan elde edilir. Tutuşabilirlik, az oranda kükürt içeriği ile temel yağlayıcılık motorinde aranan özelliklerdir. Moleküler yapı açısından, motorin yakıtı benzinle karşılaştırıldığında daha uzun molekül zincirine sahiptir, bu da tutuşma sürecini daha zor hale getirir (Acaroğlu vd, 2018). Dizel yakıtın yapısı, aromatik ve parafin gibi farklı hidrokarbon yapılarından oluşur. Ayrıca, yakıtın içinde doğal olarak organik kükürt bulunmaktadır (Afşar, 2015). Bu özellikler, dizel yakıtın yanma özelliklerini etkileyebilir ve emisyonlara etki edebilir.

5.1.1. Dizel Yakıtının Sınıflandırması

ASTM dizel yakıtlarının tanım ve sınıflandırılması için bazı standartlar getirerek bunu 3 bölümle detaylandırmıştır:

No.1-D: Yüksek hız ve yük değişimleri gerektiren motorlarda kullanılan bu damıtık uçucu yakıt, belirgin buharlaşma özelliği ile dikkat çeker (Tuncer, 2023).

No.2-D: İçerisinde kraking ve damıtma işlemlerine tabi tutulmuş bileşenleri barındıran No.2-D yakıtı, No.1-D'ye göre daha az buharlaşma özelliğine sahiptir. Genellikle ağır hizmet gerektiren motorlarda tercih edilir (Tuncer, 2023).

No.4-D: Damıtma karışımları ve yoğun damıtılmış atık maddelerden oluşan No.4-D, sabit hızda çalışan motorlarda kullanılmak üzere tercih edilmektedir (Tuncer, 2023).

5.1.2 Dizel Yakıtının Özellikleri

İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtlar, çeşitli standartlara uygun olarak üretilir. Bu standartlar, genellikle çevresel etki, güvenlik ve motor türleri gibi faktörlere bağlı olarak belirlenir. Yakıtların üretimindeki standartlar, motorların çeşitli işletme koşullarına ve çevresel gereksinimlere uyum sağlamak amacıyla düzenlenir ve sürekli olarak revize edilir (Tuncer, 2023).

5.1.2.1. Viskozite

Viskozite, sıvıların akışa karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanır. Dinamik viskozite, düzlemsel yapılar arasında 1 m/s hızla kaydırılan 1 m² alanla sıvı tabakasını hareket ettirmek için gereken kuvveti ifade eder. Kinematik viskozite ise dinamik viskozitenin yoğunluğa oranlanmasıyla elde edilir (Altın, 1998).

Viskozite, yakıtların motor performansındaki kritik etkenlerden biridir. Havayla yakıtın etkili bir şekilde karışabilmesiyle beraber istenen yanma sürecinin gerçekleşebilmesi için uygun viskozite aralığı önemlidir. Düşük viskozite, püskürtülen yakıtın homojen bir karışım oluşturmaya yardımcı olur, bu da daha etkili bir yanma anlamına gelir. Ancak, viskozitenin çok düşük olması, enjektörlerde sızma ve kaçağın oluşmasına neden olabilir (Tuncer, 2023).

Viskozite yakıt yapısı arttıkça, enjektör sisteminden püskürtülen yakıtın ayrışması daha zor hale gelir, bu da homojen bir karışım oluşturmaya engeller. Soğuk hava koşullarında viskozitenin artması, püskürtme işleminin istenen şekilde gerçekleşmesini zorlaştırabilir. Homojen olmayan bir yakıt karışımı, yanma verimliliğinin düşmesine ve hidrokarbon emisyonlarının artmasına yol açabilir. Sıcaklığın viskozite üzerinde doğrudan bir etkisi olduğundan, viskozite değerleri her zaman belirli bir sıcaklıkla birlikte verilmelidir. Motorlarda kullanılan yakıtların kullanılabilir viskozite aralığı genellikle 50 °C'de 1,5–5 Engler derecesi olarak belirlenmiştir (Yamık, 2002).

5.1.2.2. Isıl Değer

Isıl değer, 1 kilogram yakıtın yanma sürecinden elde edilen ısıнын miktarı şeklinde tarif edilir ve birimi kcal/kg veya kJ/kg olarak ölçülür. Bu değerin iki türü vardır: üst ısı değer ve alt ısı değeridir. İçten yanmalı motorlarda, yanma sonucunda su buharı oluştuğundan, yakıtların ısı değeri genellikle alt ısı değeri olarak bilinir (Yamık, 2002).

Isıl değer, yakıtların beklenen performans üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu değer arttıkça, özgül yakıt tüketimi gibi kritik faktörlerde azalma gözlemlenir. Özellikle sıvı yakıt kullanan taşıtlarda, yüksek ısı değere sahip yakıtlar kullanıldığında depo boyutları daha küçük tutulabilir, bu da taşıtların daha kompakt olmasını sağlar (Tuncer, 2023)

5.1.2.3. Setan Sayısı

Motorin yakıtlarında belirli bir setan sayısının mevcut olması arzulanır. Setan sayısı, yakıtın tutuşma yeteneğini yansıtan bir ölçüdür. Motorlarda, yakıtın anında tutuşması için sıcaklıkla basıncı yükseltilmiş havanın içerisine püskürtme yapılır. Setan sayısı düşük olan yakıtlarda, püskürtme işleminden sonra tutuşma gerçekleşmez ve bu durumda silindir içinde yakıt birikir, ardından ani bir yanma başlar, vuruntu olarak adlandırılan bir durum oluşur (Yamık, 2002).

Tutuşma gecikme süresini düşürmek için yakıtta bazı setan arttırıcı maddeler eklenir. Bu durumda, yanma hızının artması sonucunda yanma süreci iş safhasının sonuna ermeden tamamlanır ve bu da egzoz gazı sıcaklığının azalmasına sebep olur (Heywood, 1988).

5.1.2.4. Akma Noktası

Yakıtların akma noktası, motorların ilk çalıştırılmasında özellikle soğuk hava koşullarında kritik bir öneme sahiptir. Eğer akma noktası yüksekse, soğuk havalarda yakıtın yoğunluğu artabilir ve bu durumda motorun çalıştırılması işlemi sorunlu hale

gelebilir. Akma noktasını düşürmek amacıyla, yakıtlara çeşitli katkı maddeleri eklenmektedir (Hacıkadıroğlu, 2007).

5.1.2.5. Uçuculuk

Taşıt yakıtlarının belirlenen miktarda uçucu bileşen içermesi, ilk çalıştırma işlemini kolaylaştırır, isli yanmayı azaltır ve homojen bir karışım elde edilmesine olanak tanır. Uçuculuk değerleri, yakıtların damıtma özelliklerini yansıtarak bu avantajların ortaya çıkmasına katkı sağlar. Dizel yakıtlarının damıtma işlemi genellikle 180°C–370°C sıcaklık aralığında gerçekleşir (Altın, 1998).

5.1.2.6. Parlama Noktası

Yakıtın bir kabın içine konulması ve alt tarafından ısıtılmasıyla üst kısmında alev dolaştırılması sonucunda, yakıtın buharlaşan hali geçici bir şekilde tutuşmaya maruz kalıyorsa, bu olayın gerçekleştiği en düşük sıcaklık noktasına parlama noktası denir. Ancak, yakıt buharına bağlı olarak sönme işlemi tamamlanmadan yanma olayı devam ediyorsa, bu sürecin gerçekleştiği sıcaklık noktasına alevlenme noktası denir (Ulusoy, 1999).

5.2. MOTORDA ALTERNATİF YAKITLAR

Dünya enerji ihtiyacının büyük bir kısmı günümüzde hala petrolden karşılanmakta olup, ancak petrol kaynaklarının sınırlı olması nedeniyle alternatif yakıt türlerine yönelik ilgi giderek artmaktadır (Özsezen ve Çanakçı, 2008). Bu alternatif yakıtların bazı belirgin özellikleri vardır:

1. Motor verimliliği artışı: Yeni yakıt türleri, motor verimliliğini artırma potansiyeline sahip olmalıdır.
2. Yapısal uyum: Alternatif yakıtlar, mevcut motor yapılarında değişiklik yapmadan kullanılabilir.
3. Düşük emisyon: Motorlarda oluşan zararlı emisyon türlerini azaltma özelliğine sahip olmalıdır.

4. Düşük maliyet ve kolay temin: Ekonomik açıdan rekabetçi olmalı ve temini kolay olmalıdır.

Bu kriterlere uygun olarak, motorlarda kullanılabilecek bazı alternatif yakıtlar şunlardır (Tuncer, 2023):

1. Gaz Yakıtlar;
 - 1.1 Doğal Gaz,
 - 1.2 Sıvılaştırılmış Petrol Gazı,
 - 1.3 Hidrojen,
 - 1.4 Biyogaz,
2. Sıvı Yakıtlar,
 - 2.1 Biyodizel.
 - 2.2 Alkoller.

5.2.1. Doğal Gaz

Kimyasal bileşeni içerisindeki yüksek oranda metan (CH_4) gazından oluşan doğalgaz, temiz enerji kaynakları arasında yer alır. Bu enerji kaynağı, yer altı kaynaklarından çıkarılarak elde edilir ve çevre dostu bir seçenek olarak öne çıkar. Doğalgazın içeriği, metanın yanı sıra az miktarda bütan (C_4H_{10}), etan (C_2H_6), pentan (C_5H_{12}), propan (C_3H_8), karbondioksit (CO_2) gazı ve azot (N_2) içermektedir. Yapılan araştırmalara göre, doğalgazın araştırma oktan sayısı (AOS) 130, motor oktan sayısı (MOS) ise 105 civarındadır. Motorda kullanımı incelendiğinde, doğalgazın parçalar üzerinde aşındırıcı bir etkiye sahip olmadığı gözlemlenir. Ayrıca, doğalgazın sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak içten yanmalı dizel motorlarda da yakıt şeklinde kullanılabildiği belirtilmektedir (Kocagöz, 2009).

5.2.2. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG)

Petrolün ham formundan elde edilen bir enerji kaynağı türü olan LPG, propan ve bütanın karışımından meydana gelir. Bu yakıtın depolanması, yüksek basınçlı

ortamlarda sıkıştırılmasıyla sağlanır. Genellikle ekonomik olması nedeniyle benzin motorlu taşıtlarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Ciniviz, 2001).

5.2.3. Hidrojen

Hidrojen, fazla miktarda bulunan bir element olmasına rağmen saf formda bulunmaz. Bu nedenle, farklı yöntemlerle saflaştırılmaktadır. Hidrojenin üretimi genellikle fosil yakıtların kullanılmasıyla gerçekleştirilir. Bu üretim süreçleri arasında metanın kısmi oksidasyonu, doğal gazın buhar reformasyonu ve kömürün gazlaştırma işlemleri bulunmaktadır. Ayrıca, suyun elektroliz edilmesi ve biyokütlenin gazlaştırılması da alternatif üretim yöntemlerindendir (İnternet 3, 2023).

Hidrojen, yakıt pilli araçlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, yakıt pillerinin maliyetli üretimi, hidrojenin geniş çapta kullanımını kısıtlayıcı bir faktördür (Soruşbay ve Arslan, 1998). Hidrojen, içten yanmalı motorlarda kullanıldığında sadece NO_x emisyonlarına neden olurken, HC, CO₂ ve CO emisyonlarına rastlanmaz.

5.2.4. Biyogaz

Organik atıklardan üretilen bir gaz olan biyogaz, biyogaz üretiminde bitkisel atıklar veya hayvansal gübreler gibi temel maddeler kullanılarak elde edilir. Biyogaz, hava ile karşılaştırıldığında daha hafif, kokusuz ve renksiz bir gazdır. Gazın içeriğinde genellikle %20 ila %45 arasında karbondioksit, %1 ila %10 arasında hidrojen, %50 ila %84 arasında metan ve az miktarda azot bulunur. Biyogazların ısı değeri aralığı genellikle 4700 ila 5700 kcal/m³'tür. Ayrıca, biyogazların hava-yakıt oranı yaklaşık olarak 7/1'dir (Karabektaş ve Ergen, 2009).

5.2.5. Biyodizel

Biyodizel, bitki kökenli ya da hayvansal yağların alkol ilavesi ile bir katalizör aracılığıyla gerçekleşen tepkime sonucunda elde edilen bir alternatif yakıttır. Pamuk, mısır, soya gibi bitkilerden veya hayvansal yağlardan üretilir. Dizel motorlarda

kullanılmak üzere, biyodizel ya orijinal yakıta ilave edilerek ya da saf olarak kullanılabilir. Biyodizel, yüksek setan sayısına sahiptir ancak ısı değeri dizel yakıtına kıyasla daha düşüktür. Bu nedenle, motorlarda önemli bir değişiklik yapmadan kullanılabilir. Ayrıca, motor emisyon değerlerini azaltma özelliği, basit üretilirliği ve düşük maliyeti nedeniyle aktif olarak kullanılmaktadır (Altun ve Gür, 2005).

5.2.6. Alkoller

Bitkilerin distilasyonu veya fermantasyonu sonucunda elde edilen bileşiklere alkol denir. Genellikle nişasta ve şeker içeren bitkilerin işlenmesiyle üretilirler. Alkoller, içerdikleri hidrojen, oksijen ve karbon sayesinde yakıt olarak kullanılabilir özelliklere sahiptir. Petrol bazlı yakıtlarla karşılaştırıldığında, alkollerin daha az hava ihtiyacı olduğu gözlemlenmiştir, çünkü yapısında oksijen bulundurlar. İçten yanmalı motorlarda yaygın olarak kullanılan alkoller arasında etanol, metanol ve bütanol bulunmaktadır. Alkoller, benzinli motorlarda %100 oranında kullanılabilir gibi, benzine farklı oranlarda eklenerek de kullanılabilir (Sayın vd, 2009; Jincheng vd, 2009).

Dizel motorlarda, motorine belirli miktarlarda alkol katılmasıyla emisyonların azaltılması hedeflenmektedir. Bu yaklaşımın özellikle CO, NO_x ve is emisyonlarını azaltmada etkili olduğu bilinmektedir. Alkollerin dizel motorlarda kullanımı, sürdürülebilir ve çevre dostu enerji alternatifleri arayışında önemli bir yer tutmaktadır (Tuncer, 2023).

5.3. DİZEL MOTORLARINDA ALKOLLERİN KULLANILMASI

5.3.1. Metanol

Metanolün üretimi, fosil yakıtın su buharıyla yüksek sıcaklıkta ısı işleme tabi tutularak gerçekleştirilir. Bu süreçte, H₂ ve CO' nun katalitik ortamlarda sentezlenmesi aşamaları yaşanır. Metanol, dizel yakıtla karşılaştırıldığında daha

düşük bir ısı değere sahiptir, bu da kendi kendine tutuşma sıcaklığının daha yüksek olduğu anlamına gelir. Düşük sıcaklıklar, NO_x emisyonlarını azaltmaya yardımcı olabilir. Metanol, sıvı formda olduğu için higroskopiktir, yani havadaki nemi doğrudan üzerine çeker. Bu nem çekme özelliği nedeniyle, donanımlarda ve yakıt sistemlerinde korozyona neden olabilir. Bu sorunu önlemek amacıyla, yakıt donanımları koruyucu özelliklere sahip maddelerle kaplatılmaktadır (Hışır, 2010; Özer, 2010).

5.3.2. Bütanol

Bütanolün kapalı formülü C₄H₉OH olarak gösterilir ve n-bütil alkol, bütan-1-ol veya n-bütanol olarak da adlandırılır. Bu bileşiğin suyu çekme özelliği olmadığı için motor parçalarının korozyona uğramasına etki etmez. Dizel yakıtlarıyla kolayca karışarak faz ayrışmasına sebep olmaz (Uyar, 1992; Al-Momany ve Al-Hasan, 2008).

Kimyasal gösterimi C₄H₁₀O'dur. Bütanol, insan sağlığına zararlıdır ve zehirli bir özelliğe sahiptir. Bütanolün ısı değeri, dizel yakıtla karşılaştırıldığında daha düşüktür, bu nedenle dizel yakıtına eklenmesi durumunda motorun özgül yakıt tüketimi artar. Bütanol genellikle dizel yakıtına %40'a kadar oranlarda eklenerek kullanılır (Özer, 2010).

5.3.3. Etanol

Etanol, renksiz ve saydam bir yakıttır, diğer yakıtlarla karşılaştırıldığında temiz bir yanma özelliğine sahiptir. Yüksek buharlaşma ısısına sahiptir, bu da yanma işlemi sırasında son sıcaklık değerinin düşük olmasına neden olur. İçinde oksijen bulunduğundan, az miktarda azot oksit ve karbonmonoksit emisyonları meydana gelir (Uyar, 1992; Hışır, 2010).

Dizel motorlarda 1970'li yıllardan itibaren etanol alternatif yakıt olarak kullanılmaya başlanmıştır. Araştırmalar neticesinde etanolün kullanımıyla karbonmonoksit emisyonunda ve partikül madde oluşumunda azalma olduğu görülmüştür. Bazı

ülkelerde etanolün düşük maliyeti nedeniyle kullanımında artış yaşanmıştır. Etanol, dizel yakıtla istenilen şekilde karışabilme özelliği ve emisyonları azaltma potansiyeli nedeniyle dikkat çekmektedir (Hansen vd, 2001; Çelikten, 2004).

Dizel yakıtına etanol eklenmesi, karışımda ısı değerlerinde ve yakıt viskozitesinde azalmalara neden olur. Bu durum, motorda değişikliklere yol açabilir. Etanolün dizel yakıtına eklenmesi çeşitli yöntemlerle gerçekleştirilebilir. Bu yöntemler arasında, enjektör ile silindir içine doğrudan dizel-etanol karışımının püskürtülmesi, etanolün buhar halinde emme manifolduna püskürtülmesi ve etanol ile dizelin farklı enjektörlerle püskürtülmesi bulunmaktadır (Çelikten, 2004). Çizelge 5.1'de etanole ait özellikler yer almaktadır.

Çizelge 5.1. Etanole ait özellikler.

Özellikler	Etanol
Kimyasal denklemi	C_2H_5OH
C/H oranı	0.333
Molekül ağırlığı (kg/kmol)	44.04
Alt ısı değeri (kJ/kg)	27×10^3
Stokiyometrik H/Y oranı	9
Buharın basıncı (kPa, 23.5 °C)	17
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	257
Araştırma oktan sayısı	106
Motor oktan sayısı	89

Dizel yakıtına yüksek oranda etanol eklenmesi durumunda, faz ayrışmasını önlemek için karışıma izopropanol ilave edilmesi önerilmektedir. Ayrıca, kullanılan biyodizel yakıtına %10-20 oranında etanol eklenmesinin, emisyonlar üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu gözlemlenmiştir (Çelikten, 2004).

5.3.4. İzopropanol (2-propanol) veya İzopropil Alkol

İzopropanol aynı zamanda diğer adıyla izopropil alkol olarak da bilinmektedir. CAS numarası: 67-63-0'dır. Moleküler formülü C_3H_8O 'dur. İzopropanol, üç karbonlu düz zincirli bir yapıya sahip olan ve yüksek enerji yoğunluğuna sahip bir alkol çeşididir.

Metanol ve etanol gibi alkollere göre dizel yakıtı ile karışım oluşturabilen bir alternatif olarak öne çıkmıştır. İzopropanolün molekül ağırlığı 60.1 g/mol, yoğunluk değeri 785 kg/m³ şeklinde verilmektedir (İnternet 4, 2023). Çizelge 5.2’ de izopropanole ait özelliklere yer verilmiştir.

Çizelge 5.2. İzopropanole ait özellikler.

Özellikler	İzopropanolün Değerleri
Kimyasal Formül	C ₃ H ₈ O
Molekül ağırlığı, g/mol	60,1
Yoğunluk (kg/m ³)	785
Oksijen içeriği (% ağırlık)	26.6
Viskozite (mm ² /s)	2,803
Stokiyometrik hava/yakıt oranı (A/F) _s	10,28
Kaynama noktası (°C)	82.6
Alt ısı değeri (MJ/kg)	32,94
Buharlaşma gizli ısı (kJ/kg)	758
Araştırma Oktan Sayısı (RON)	112,5
Motor Oktan Sayısı (MON)	---

İzopropanol, genellikle renksiz ve oda sıcaklığında sıvı halde bulunan bir maddedir. Bu izomerik yapıdaki izopropanol türevi, aseton ve çözücü üretiminde, antiseptik olarak ve günlük yaşamda antifriz, dezenfektan, temizlik solüsyonları, saç ve cilt ürünleri gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır (İnternet 4, 2023)

İzopropanol, genellikle petrokimyasallardan okso sentezi yoluyla üretilse de fosil yakıt kaynaklarının tükenme endişesi nedeniyle sürdürülebilir üretim yöntemleri üzerinde çalışılmaktadır. Biyokütle veya evsel atıklar gibi alternatif yöntemlerle de elde edilebilir (Liu ve ark., 2014). Son yıllarda, ABE fermantasyonu yerine IBE fermantasyonu ile bütanol üretimi önem kazanmıştır, çünkü IBE fermantasyonunda aseton yerine izopropanol yan ürün olarak ortaya çıkar (Demirdelen, 2019).

İzopropanol, asetona göre daha kullanışlı bir yan ürün haline gelmiştir (Rogers ve ark., 2006). Bu durum, izopropanolün daha yüksek enerji içeriğine ve oktan sayısına sahip olması, içten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtlara karıştırıldığında enerji

verimini arttırma ve emisyonları önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahip olması, aynı zamanda motor parçaları üzerinde daha az aşındırıcı etkiye sahip olması gibi nedenlere dayanmaktadır (Li ve ark., 2018).

Yapılan çalışmalarda, izopropanolün propilen üretiminde kullanılmasının yanı sıra, plastik ve diğer birçok endüstriyel ürünün üretiminde kullanılan bir kimyasal madde olduğu belirtilmiştir (Collas ve ark., 2012). Ancak, dizel motorlarında izopropanol kullanımına dair literatürde sınırlı sayıda çalışma bulunması, izopropanol yakıtının potansiyelini daha fazla araştırmayı teşvik etmektedir (İlçin, 2020). Avrupa dizel yakıt standartlarına göre, izopropanolün diğer yakıtlarla %45 üzerindeki karışım oranlarında kinematik viskozite ve kayganlık özelliklerini sağlamada zorluklar yaşanmıştır. Bu nedenle, izopropanolün dizel yakıtlarla karışım oranlarının belirlenmesi ve uygun kullanım alanlarının daha fazla araştırılması önemlidir (Kumar ve Saravanan, 2016).

BÖLÜM 6

MATERYAL VE METOT

6.1. MATERYAL

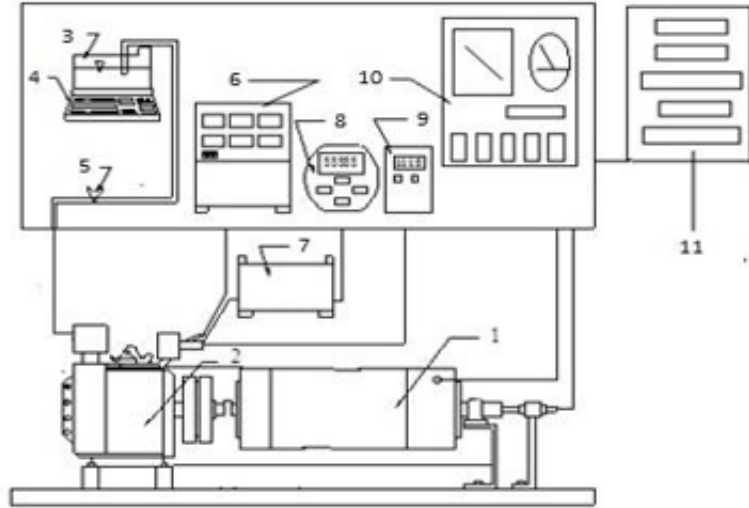
Bölüm içerisinde; test çalışmalarının gerçekleştirildiği yer, kullanılan materyaller, test motoru, kullanılan yakıtların özellikleri ile test safhalarına ait bilgiler yer almaktadır.

6.1.1. Test Çalışma Yeri

Deney çalışmaları Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi içerisinde yer alan Otomotiv Mühendisliği laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.1’de test çalışma düzeneği gösterilmiş, Şekil 6.2’de test çalışma düzeneğinin şematik hali yer almaktadır.



Şekil 6.1. Test çalışma düzeneği



1- Yük Jeneratörü 2- Test Motoru 3- Yakıt Deposu 4- Elektronik Terazı 5-Yakıt Vanası 6- Emisyon Ölçüm Cihazı 7- İs Emisyon Ölçüm Cihazı 8- İs Emisyon Ölçüm Cihazı İndikatörü 9- Sıcaklık Ölçer 10- Yük Kontrol Ünitesi 11- Yük Ünitesi

Şekil 6.2. Test çalışma düzeneğini şematik hali

6.1.2. Test Motoruna Ait Genel Özellikler

Deneylerin gerçekleşmesi için DATSU marka tek silindirli dizel motora sahip dizel-jeneratör grubu kullanılmıştır. Test motorunun genel görünümü Şekil 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.3. Deney motorunun genel görünüşü.

Testte kullanılan motora ait temel özellikler Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Deney motoru özellikleri.

Motor tipi	4 zamanlı direkt püskürtmeli, dizel motor
Silindir adedi	1
Silindir çapı (mm)	86
Kurs (mm)	71
Sıkıştırma oranı	18 /1
Supap sistemi	Üstten kamlı, 2 supaplı
Maksimum hız (d/d)	3000
Silindir hacmi (cm ³)	418
Püskürtme basıncı (bar)	200
Püskürtme avansı	25±1

Motorun deneyde belirlenen yük aralıklarında çalışmasını gerçekleştirmek için farklı yüklerin verilmesini sağlayan jeneratörlü sistem kullanılmıştır. Testlerde kullanılan jeneratörün teknik özellikleri Çizelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Testte kullanılan jeneratöre ait teknik özellikler.

JENERATÖR	
Model	DA 6000
Maksimum çıkış gücü	6,2 kW
Sürekli çıkış gücü	5,4 kW
Voltaj	230
Faz	Monofaze
Frekans	50 Hz
Güç faktörü	1

6.1.3. Motor Yükleme Ünitesi

Deneylerin gerçekleşme safhalarında motorun yüklenmesi için jeneratör-motor sınıfı ekipmanından faydalanılmıştır. Testler sırasında jeneratör sabit devirde (3000 d/d) motor yüklemesi ile çalışmaktadır. Gerçekleştiren testlerde motora değişik yüklerin verilmesi için yük ünitesi jeneratöre bağlanmıştır. Bu ünite 500 Watt, 1000 Watt

ve 2000 Watt'lık halojen ampullerin oluşturduğu yük devresi kullanılmıştır. Şekil 6.4'te verilen görselde motorun yükleme ünitesi görseli yer almaktadır.



Şekil 6.4. Motor yükleme ünitesi.

6.1.4. Deney Yakıtları

Deneylerin gerçekleştirilebilmesi amacıyla TEKKİM marka izopropanol ve dizel yakıt temin edilmiştir. Testlerde kullanılan dizel yakıtı ve izopropanolün teknik özellikleri Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Dizel yakıtı ve izopropanolün özellikleri

Özellikler	Dizel Yakıtı	İzopropanol
Yoğunluk (g/cm^3)	0,840	0,803
Alevlenme Noktası ($^{\circ}\text{C}$)	55	22
Alt Isıl Değeri (kJ/kg)	43000	30477
Donma Noktası ($^{\circ}\text{C}$)	-15	-126
Setan Sayısı	52	12
Kinematik Viskozite (mm^2/s , 40°C)	3,25	1,74

Test çalışması için kullanılan yakıt, dizel yakıtı ve dizel yakıtı izopropanol ilave edilmesiyle oluşturulmuştur. Dizel yakıtına yüzdesel miktarlarda eklenen izopropanol yakıt içerisinde homojen olarak çözülmüştür. Çizelge 6. 4'te izopropanol-dizel yakıt karışımlarının % olarak değerleri verilmiştir.

Çizelge 6.4. İzopropanol-dizel yakıt karışımlarının % olarak değerleri

Karışımın ismi	Dizel yakıt miktarı (%)	İzopropanol miktarı (%)
D100	100	0
İ10	90	10
İ20	80	20
İ30	70	30

6.2. DENEYLERDE KULLANILAN CİHAZLAR

6.2.1. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı

Deney çalışmalarında kullanılan BİLSA marka egzoz emisyon ölçüm cihazı ile CO₂, HC, CO, O₂, λ (hava fazlalık katsayısı) ve NO_x emisyonu ölçebilmektedir. Emisyon ölçüm değerlerini veren cihaz Şekil 6.5'te verilmiştir. Egzoz emisyon cihazının teknik özelliklerine Tablo 6.5'te yer verilmiştir.



Şekil 6.5. Egzoz emisyon ölçüm cihazı.

Çizelge 6.5. Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri (İnternet 5, 2023).

Parametreler	Ölçme Sınırı	Hassasiyet
CO	0-%10	%0,001
CO ₂	0-%20	%0,01
HC	0-10000	1 ppm
O ₂	0-%25	%0,01
NO _x	0-5000	1 ppm
Lamda	0,5-2.00	0.001

6.2.2. İs Emisyon Ölçüm Cihazı

Test motorunda is ölçüm değerlerini alabilmek için dizel motorlarda ek bir ekipman kullanılmaktadır. Test aşamasında is emisyon değerlerinin ölçülebilmesi için BİLSA marka ölçüm cihazından faydalanılmıştır. Şekil 6.6'da görülen cihaz emisyon değerini K ve % olarak vermektedir. Test sonuçlarının veri çıktısı BİLSA cihazının ekranından alınabilmektedir.



Şekil 6.6. İs emisyon ölçüm cihazı.

6.2.3. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği

Test çalışmalarında yakıt tüketimi kütleli olarak ölçülmüştür. Ölçümün yapılabilmesi amacıyla test aşamalarında ölçme hassasiyeti 1 gr olan elektronik teraziden faydalanılmıştır. Şekil 6.7’de elektronik teraziye yer verilmiştir.



Şekil 6.7. Elektronik terazi.

6.2.4. Dijital Kronometre

Test çalışmalarında yakıt tüketim zamanını hesaplamak için ENKO KK-613D marka dijital kronometreden faydalanılmıştır. Dijital kronometrenin ölçümlerdeki değeri 1 salise olarak belirlenmiştir. Şekil 6.8’de dijital kronometrenin görseli yer almaktadır.



Şekil 6.8. Dijital kronometre.

6.2.5. Dijital Multimetre

Test çalışmaları sırasında motordan çıkan egzoz gaz sıcaklığının ölçülmesi için dijital multimetre olan TT T-ECHNI-C A930C marka termokupllu sıcaklık ölçüm cihazından yararlanılmıştır. Şekil 6.9’da dijital multimetre görseli yer almaktadır.



Şekil 6.9. Dijital multimetre.

6.3. TEST ÇALIŞMALARININ YAPILIŞI

6.3.1. Motor Testleri

Çalışma testlerinden önce gerekli iş sağlığı ve güvenliği önlemleri alındıktan sonra motor ayarları ve bakımı gerçekleştirilerek uygun çalışma ortamı oluşturulmuştur. Deney safhalarına geçilmeden önce motor yükleme yapılarak rölanti çalışma sıcaklığına getirilmiş ve sonrasında çalışma evrelerine geçilmiştir.

Test ilk olarak dizel yakıtı (D100) kullanılarak yapılmıştır. Saf dizel yakıtı test işlemi tamamlandıktan sonra dizel yakıt içerisine farklı oranlarda izopropanol ilave edilerek testlere devam edilmiştir. Dizel yakıt içerisine hacimsel olarak %10, %20 ve %30 oranlarında izopropanol eklenmesi ile İ10, İ20 ve İ30 yakıtları elde edilmiştir.

Deney aşamasında motorun yüklenmesi işlemi jeneratöre yük verilmesi ile olmuştur. 500 Watt, 1000 Watt ve 2000 Watt’lık halojenli ampullerin bir araya gelmesi ile

oluşturulan ünite aracılığıyla yükleme işlemi uygulanmıştır. Yük jeneratörü sabit devirde (3000 d/d) çalışmaktadır. Bu sayede motor deneyleri sabit hızda farklı yüklerde yapılmıştır. Test motoru standart püskürtme basıncında (200 bar) dizel, dizel-izopropanol karışımları ile (İ10, İ20, İ30); farklı motor yüklerinde (1000, 2000, 3000, 4000, 5000 Watt) test edilmiştir. Gerçekleşen test aşamasında motor istenen kararlı çalışma yapısına ulaştıktan sonra yakıt tüketimi, egzoz gaz sıcaklığı (EGS), HC, NO_x, CO ve is emisyon değerleri ölçülmüştür. Efektif verim, özgül yakıt tüketimi ile ilgili hesaplama işlemleri yapılmıştır.

6.4. DENEYSEL ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR

Yapılan çalışma sonrasında efektif veriminin hesaplanması için aşağıdaki formülden yararlanılmıştır.

$$\eta = \frac{Pe * 3600}{B * Hu}$$

η : Efektif verim (%)

Pe : Efektif motor gücü (kW)

B : Yakıt tüketimi (kg/h)

Hu : Yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg)

Deneyde kullanılan yakıtlara ait alt ısı değer verileri Çizelge 6.6'da belirtilmiştir. Karışım yakıtlarının ait ısı değerlerinin hesaplanması aşamasında; karışım oranları, yakıt ısı değerleri ve yoğunluklar kullanılarak sonuca ulaşılmıştır.

Çizelge 6.6. Deney yakıtlarına ait alt ısı değerler.

Yakıt türü	Alt ısı değeri (kJ/kg)
Dizel yakıtı (D100)	43000
İzopropanol	30477
İ10	41474,7
İ20	40495,4
İ30	39234,1

Motor ilgili yükte kararlı biçimde çalışırken yakıtın kaç saniye içinde ne kadar tüketildiği elektronik terazi ve kronometre ile belirlenmiştir. Hesaplanan değer kg/h değerine dönüştürülmüştür.

Özgül yakıt tüketiminin hesaplanması için aşağıdaki formülden yararlanılmıştır.

$$be = \frac{Be * 1000}{Pe}$$

be : Özgül yakıt tüketimi, (g/kWh)

Be : Yakıt tüketimi, (kg/h)

Pe : Efektif motor gücü, (kW)

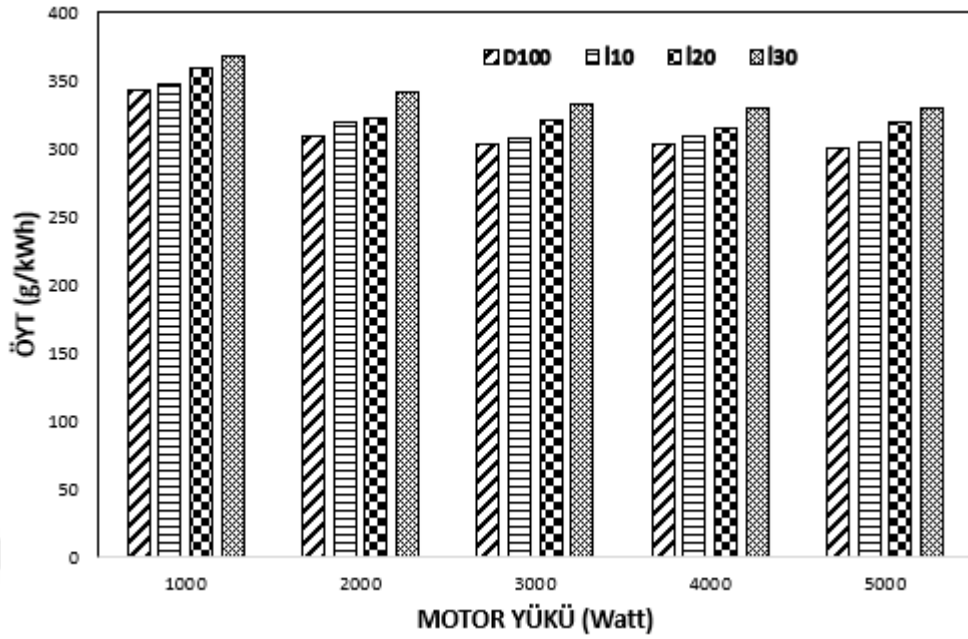
BÖLÜM 7

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Yapılan deneysel çalışmada; dizel yakıtına değişik oranlarda (%10, %20 ve %30) katılan izopropanolün motor karakteristiklerine etkisini araştırmak amacıyla deney motoru değişik yüklerde (1000, 2000, 3000, 4000, 5000 Watt) yüklenmiştir. Deneysel veriler ve yapılan hesaplamalarla motor parametrelerindeki değişim izlenmiş ve sonuçlandırılmıştır.

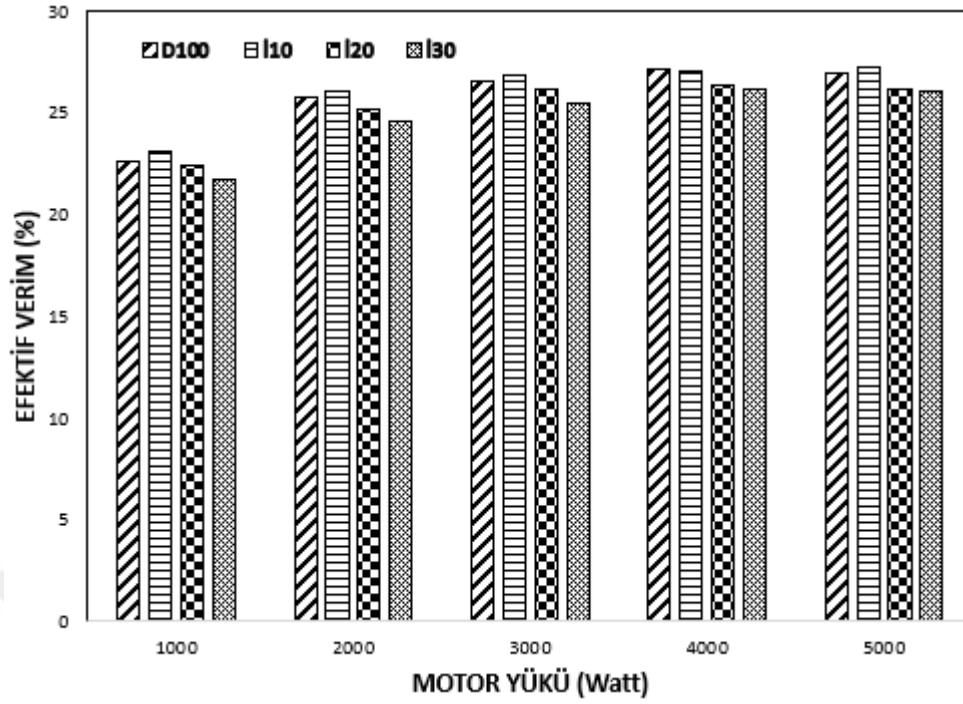
7.1. MOTOR PERFORMANS PARAMETRELERİ

Deney yakıtlarına ait Özgül Yakıt Tüketimi (ÖYT) değişimleri Şekil 7.1’de verilmiştir. En düşük olan ÖYT grafiği dizel yakıtı ile çalışmada elde edilmiştir. En düşük ÖYT, 5000 watt gücünde 300,5 g/kWh olarak dizel yakıtı ile sağlanmıştır. Tüm yakıtlarda motor yükü arttıkça ÖYT’nin de azaldığı görülmektedir. Yük artışıyla motor çıkış gücü arttığı için ÖYT de azalmaktadır. 4000 watt gücünden sonra H/Y oranı iyice azaldığı için ÖYT de tekrar artma yönünde meyil göstermiştir. Dizel yakıtı eklenen izopropanol miktarının artmasıyla birlikte ÖYT de artış göstermektedir. En yüksek artış İ30 yakıtıyla elde edilmiştir. İ30’un ÖYT değeri dizel yakıttan ortalama %10 daha yüksek bulunmuştur. İ10 ve İ20 yakıtlarıyla ÖYT artışı dizel yakıtına göre sırasıyla %2 ve %6 civarında olmuştur. İzopropanolün alt ısı değeri dizel yakıttan daha düşük olduğundan artan alkol oranıyla ÖYT de yükselişe geçmektedir.



Şekil 7.1. Dizel yakıtı, dizel-izopropanol karışımlarının ÖYT değişimleri.

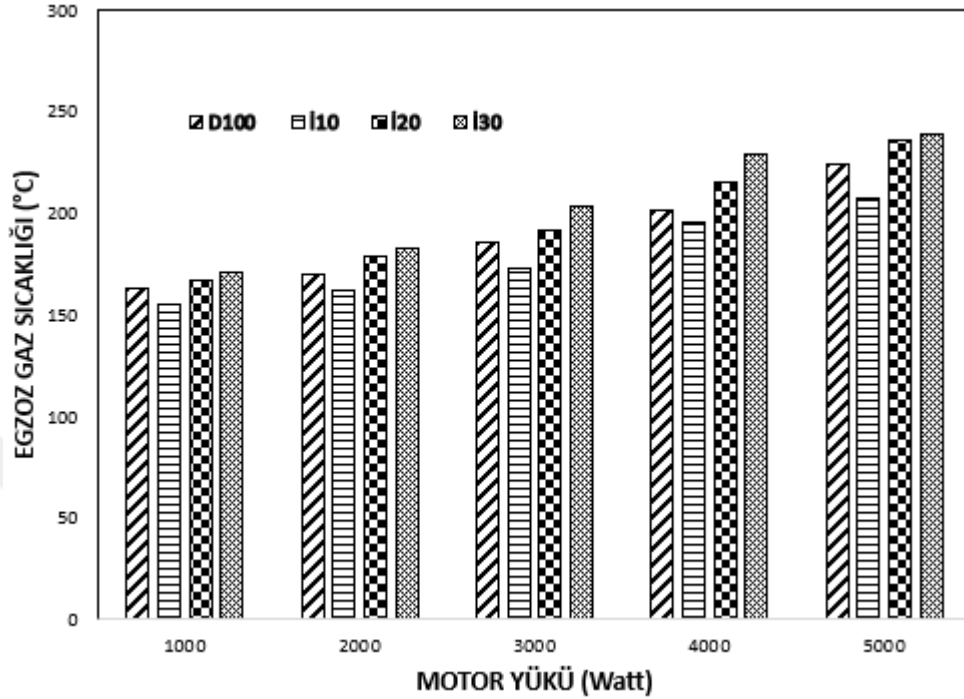
Deney yakıtlarına ilişkin efektif verimdeki değişim grafiği Şekil 7.2’de görülmektedir. Efektif verim, motora yakıtla sürülen enerjinin alınan çıkış gücüne oranıdır. Şekil 7.2 incelendiğinde, yük arttıkça tüm yakıtlarda efektif verimin 5000 Watt yüküne kadar arttığı tespit edilmiştir. 5000 Watt’ta verim azalma eğilimine girmiştir. Artan yükte motora daha fazla yakıt girmekte silindir basınç ve sıcaklığı artmaktadır. Basınç ve sıcaklık artışıyla birlikte motor gücü de artmakta ve verim yükselmektedir. En yüksek verim değerine İ10 yakıtıyla 4000 Watt yükünde ulaşılmıştır. Efektif verim ortalama %27,2 olarak kaydedilmiştir. Bu noktada dizel yakıtının verimi %26,9’dur. İ10 yakıtının efektif verimi dizel yakıtı ile kıyaslandığında ortalama İ10 ile ortalama %1 artış sağlanmıştır. İzopropanolün C/H oranının dizel yakıtına göre düşük olması ve yapısında oksijen bulunması yanmayı iyileştirmekte ve verim artmaktadır. Daha yüksek oranlarda izopropanol ilavesi ile efektif verimin azaldığı görülmüştür. İ20 ve İ30 yakıtlarında efektif verim dizel yakıtına göre sırasıyla ortalama %2 ve %3 oranında azalmıştır. İzopropanolün setan sayısının dizel yakıtına göre düşük olması tutuşma gecikmesini artırmakta ve yanma verimi düşmektedir. En düşük efektif verim 1000 Watt yükünde İ30 yakıtıyla elde edilmiştir.



Şekil 7.2. Dizel yakıtı, dizel-izopropanol karışımlarının efektif verim değişimleri.

Dizel yakıtı ve dizel yakıtı-izopropanol karışımlarına ilişkin Egzoz Gaz Sıcaklığı (EGS) değişim grafikleri Şekil 7.3’de verilmiştir. Motorun gücünü artırmak için motora daha fazla yakıt verilmesiyle birlikte EGS de artmaktadır. Tüm yakıtlarda güç artışı EGS’yi de artırmıştır. Dizel yakıtına %10 izopropanol ilavesiyle EGS de azalma gözlenmiştir. En düşük EGS İ10 yakıtıyla 1000 Watt güçte 163 °C olarak ölçülmüştür. İ10 yakıtı EGS D100 yakıtına göre ortalama %5 daha düşük sonuç vermiştir. Karışım içindeki izopropanol oranının daha da artırılmasıyla EGS’nin de arttığı görülmüştür. %10 izopropanol ilavesiyle egzoz kayıplarının azaldığı, yanma veriminin arttığı ve bunun sonucunda EGS’nin de azaldığı söylenebilir. Karışımındaki izopropanol yüzdesi daha fazla artırıldığında EGS’nin de arttığı tespit edilmiştir. Bunun sebebi şöyle izah edilebilir: İzopropanolün setan sayısı 12 iken dizel yakıtının setan sayısı 52’dir. %20 ve %30 izopropanol ilavesi karışımın setan sayısını azaltmakta, tutuşma gecikmesi süresi uzamakta ve yanma ÜÖN’den sonraya doğru kaymaktadır. Bunu sonucunda EGS de artmaktadır. En yüksek EGS İ30 yakıtıyla 5000 Watt yükünde 239 °C olmuştur. İ30 yakıtıyla elde edilen EGS dizel yakıtına göre ortalama %8 daha fazladır. İzopropanolün buharlaşma ısısının dizel yakıtına göre yüksek olması nedeniyle EGS’nin düşük olması gerekirdi. Ancak tutuşma

gecikmesinin uzaması daha etkili olduğu için EGS İ20 ve İ30 yakıtında yüksek çıkmıştır.

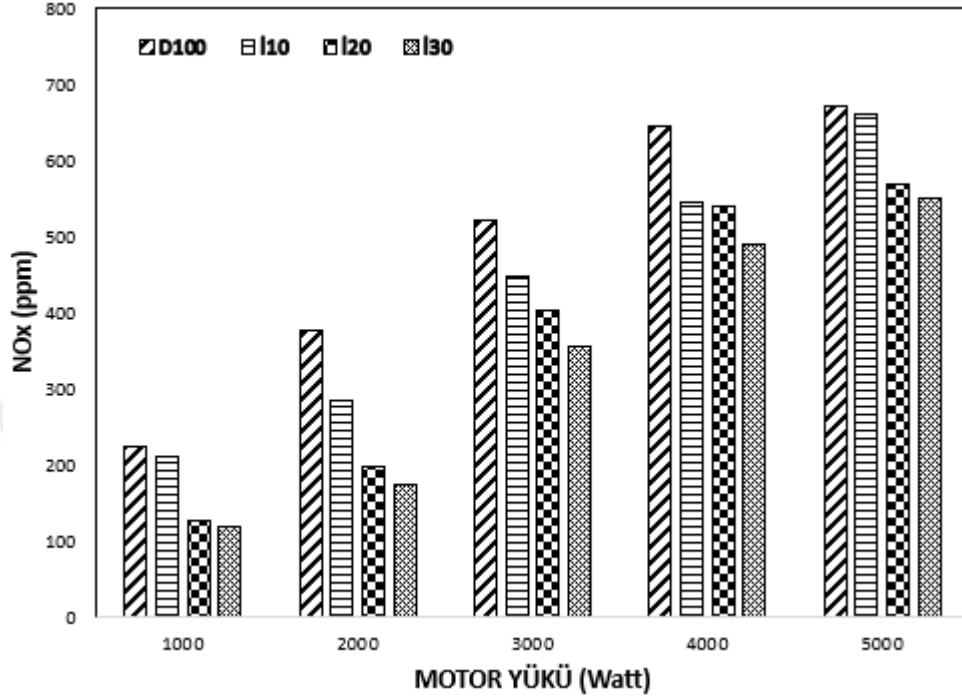


Şekil 7.3. Dizel yakıtı, dizel-izopropanol karışımlarının EGS değişimleri.

7.2. EGZOZ EMİSYONLARI

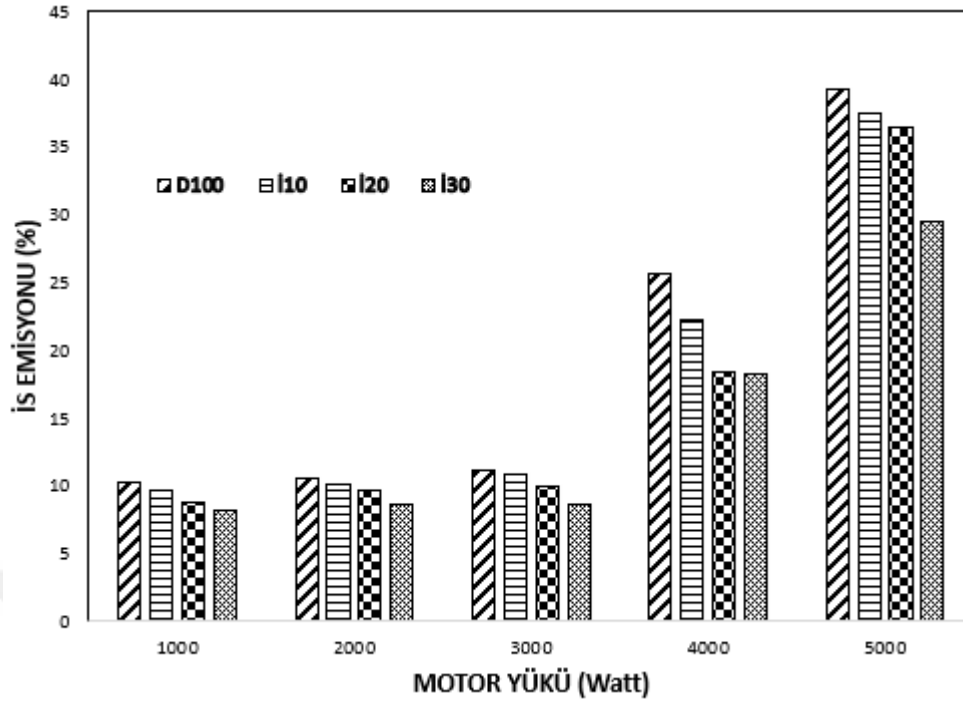
Dizel yakıtı ve karışım yakıtların NO_x grafikleri Şekil 7.4' de belirtilmiştir. İçten yanmalı motorlarda silindir sıcaklığı yanma olayı ile artmaktadır. Sıcaklık değeri 1800 °C seviyelerine ulaştığında silindire alınan havanın içinde bulunan oksijen ile azot birleşerek NO_x meydana gelmektedir. NO_x grafiğine bakıldığında; motora sürülen yakıt miktarının artmasıyla birlikte sıcaklık artmakta ve NO_x emisyonu değerlerinde yükselme görülmektedir. En yüksek NO_x değeri 5000 Watt yükte D100 yakıtıyla 671 ppm'dir. Dizel motorda izopropanol kullanımı ile NO_x emisyonu açısından olumlu sonuçlar alınmıştır. Karışım içindeki izopropanol miktarının artmasına paralel olarak NO_x emisyonu da azalmıştır. Tüm yakıtlar içinde elde edilen en düşük NO_x değeri İ30 yakıtıyla 1000 Watt yükte 120 ppm'dir. İ30 yakıtı ile D100 yakıtına göre NO_x emisyonunda %28 azalma sağlanmıştır. Bunun sebebi, izopropanolün dizel yakıtına göre buharlaşma ısısının yaklaşık 3 kat daha fazla

olmasıdır. Buharlaşma ısısının fazla olması ile silindir sıcaklıkları düşmekte ve NO_x emisyonu azalmaktadır.



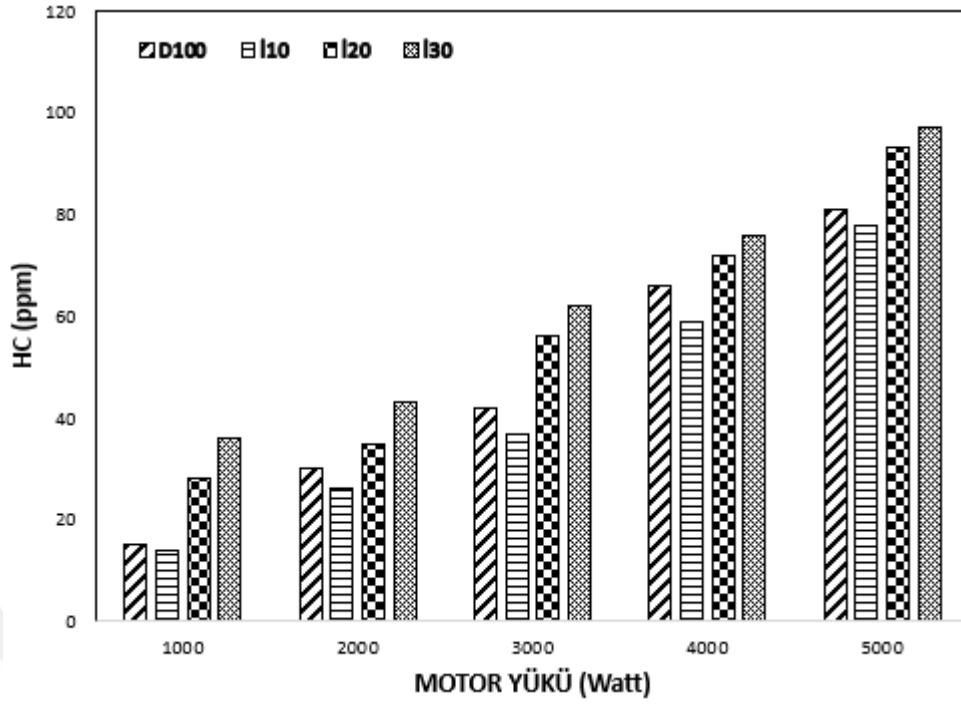
Şekil 7.4. Dizel yakıtı, dizel-izopropanol karışımlarının NO_x değişimleri.

Deneyisel çalışmadan elde edilen is emisyonu değişimleri Şekil 7.5’ de görülmektedir. Dizel motorlarda is emisyonu hava ile yakıtın homojen bir şekilde karışamamasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca artan motor gücüyle birlikte H/Y oranının azalması ile is artmaktadır. 4000 Watt motor yüküne kadar is çok düşük değerlerdedir. 4000 ve 5000 Watt motor yüklerinde is emisyonu oldukça artmaktadır. En yüksek is emisyonu değeri D100 yakıtıyla 5000 Watt yükte %39,2 olarak kaydedilmiştir. Tüm yüklerde izopropanol ilavesiyle is değerlerinde düşme sağlanmıştır. İzopropanol artış oranı ile is emisyonundaki azalma değerleri birbirine paraleldir. En düşük is değeri İ30 yakıtıyla 1000 Watt yükte %8,2 olarak bulunmuştur. İ30 yakıtı D100 yakıtına göre is emisyonunda ortalama %20 daha düşük sonuçlar vermiştir. Yakıtların C/H oranının düşük olması ve yapılarında oksijen bulunması is oluşmasını engellemektedir.



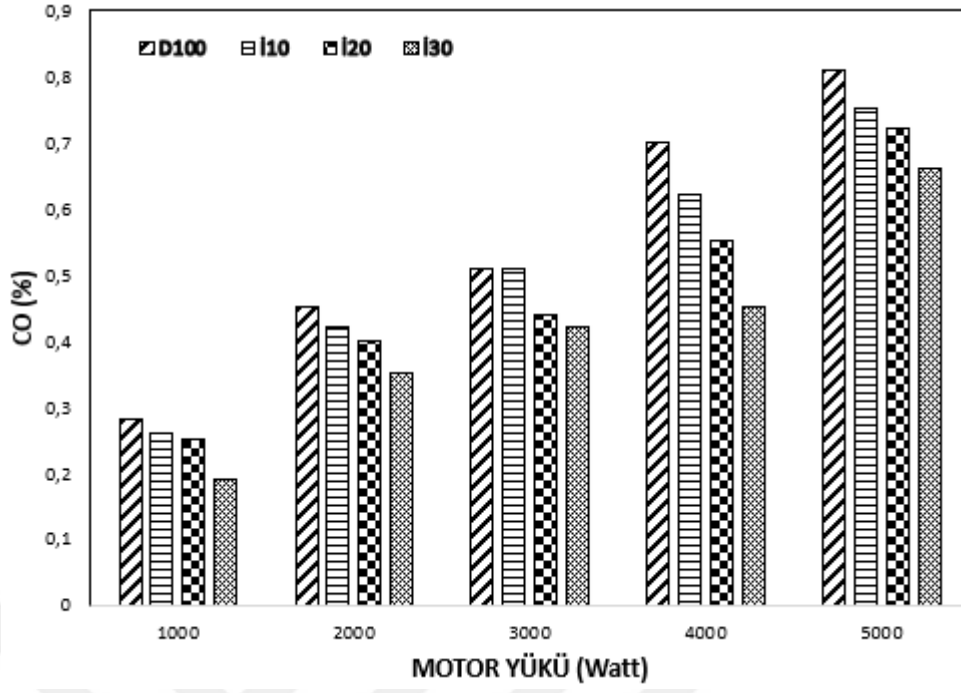
Şekil 7.5. Dizel yakıtı, dizel-izopropanol karışımlarının is emisyonu değişimleri.

Testlerde kullanılan yakıtların HC emisyonuna ait grafikleri Şekil 7.6’da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde motor yükünün artmasıyla birlikte motora sürülen yakıt miktarı da arttığı için HC değerleri yükselmiştir. En yüksek HC değeri 5000 Watt yükte İ30 yakıtıyla 97 ppm olarak ölçülmüştür. Yakıtlar içerisinde HC emisyonu bakımından en iyi performans gösteren yakıt İ10 yakıtıdır. İzopropanolün C/H oranının D100 yakıtına göre daha düşük olması ve yapısında oksijen bulunması yanmayı iyileştirmiştir. İ10 yakıtının efektif veriminin D100 yakıtından yüksek olması HC emisyonu sonucunu desteklemektedir. En düşük HC değeri İ10 yakıtıyla 1000 Watt yükte 14 ppm’dir. Tüm yükler için İ10 yakıtı D100 yakıtına göre HC emisyonu bakımından ortalama %12 daha düşük sonuç vermiştir. Karışımdaki izopropanol oranının artmasına paralel olarak HC değerlerinde artış olmuştur. İzopropanolün buharlaşma ısısı dizel yakıtına göre yaklaşık 3 kat daha fazladır. Yüksek buharlaşma ısısına sahip yakıtlar silindiri soğutmakta ve HC emisyonları yükselmektedir. İ30 yakıtı D100 yakıtına göre tüm yüklerde %43 daha fazla HC değeri vermiştir.



Şekil 7.6. Dizel yakıtı, dizel-izopropanol karışımlarının HC emisyonu değişimleri.

Tüm yakıtların CO emisyon değişimleri Şekil 7.7’de verilmiştir. CO emisyonu motorlarda H/Y oranına bağlı olarak değişmektedir. Yüksek H/Y oranına sahip karışımlarda CO emisyonu artmaktadır. Dizel motorlarda yük arttıkça H/Y oranı da azalmaktadır. Şekilde görüldüğü gibi tüm yakıtlar için artan yüklerle birlikte CO değerleri de artmaktadır. En yüksek CO değeri 5000 Watt yükte D100 yakıtıyla %0,81 olarak kaydedilmiştir. Dizel yakıtı içindeki izopropanol miktarı arttıkça CO değerleri de düşmektedir. İzopropanolün C/H oranının dizel yakıtı göre daha düşük olması ve alkolün yapısında oksijen bulunması bu düşüşte etkili olmaktadır. İ30 yakıtıyla D100 yakıtına göre tüm yüklerde CO emisyonu %18 daha düşük çıkmıştır.



Şekil 7.7. Dizel yakıtı, dizel-izopropanol karışımlarının CO emisyonu değişimleri.

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

8.1. SONUÇLAR

Yapılan deneysel çalışmada, motor performans parametrelerini iyileştirmek ve çevre kirliliğini azaltmak amacıyla yakıt içerisinde izopropanol ilave edilmiştir. İzopropanol karışma oranları %10, %20 ve %30 olarak belirlenmiştir. Testler sabit hız ve değişik motor güçlerinde yapılmıştır. Deneylere ait özgül yakıt tüketimi, efektif verim, egzoz gaz sıcaklığı ve emisyon sonuçları aşağıda verilmiştir.

1. Karışım yakıtlarla yapılan motor testlerinde verilen yüklerde dizel yakıtına göre herhangi bir güç düşmesi izlenmemiştir.
2. Tüm yüklerde İ10, İ20 ve İ30 yakıtlarının ÖYT değerleri dizel yakıtına göre daha yüksek çıkmıştır. İ30 yakıtı dizel yakıtına göre ÖYT değerlerinde ortalama %10 artış göstermiştir. İ10 ve İ20 yakıtlarıyla ÖYT artışı dizel yakıtına göre sırasıyla %2 ve %6 civarında olmuştur.
3. Yakıtlar içerisinde en yüksek efektif verim değeri İ10 yakıtıyla %27, 2 olarak belirlenmiştir. İ10 efektif verimi dizel yakıtı ile kıyaslandığında ortalama %1 daha yüksek çıkmıştır. İ20 ve İ30 yakıtlarında efektif verim dizel yakıtına göre sırasıyla ortalama %2 ve %3 oranında azalmıştır. Efektif verim bakımından en uygun yakıtın İ10 yakıtı olduğu söylenebilir.
4. En düşük egzoz gaz sıcaklığı değerleri İ10 yakıtıyla 1000 Watt güçte 163 °C olarak elde edilmiştir. İ10 yakıtı EGS değeri D100 yakıtına göre ortalama %5 daha düşük sonuç vermiştir. Karışımındaki izopropanol yüzdesi daha fazla

artırıldığında EGS'nin de arttığı tespit edilmiştir. İ30 yakıtıyla elde edilen EGS dizel yakıtına göre ortalama %8 daha fazladır.

5. Dizel motorda izopropanol kullanımı ile çevre kirliliğine neden olan emisyon değerlerinde iyileşme gözlenmiştir. Karışımdaki izopropanol miktarının artmasına paralel olarak NO_x emisyonu da azalmıştır. Tüm yakıtlar içinde elde edilen en düşük NO_x değeri İ30 yakıtıyla 1000 Watt yükte 120 ppm'dir. İ30 yakıtı ile D100 yakıtına göre NO_x emisyonunda %28 azalma sağlanmıştır. Dizele göre NO_x emisyonunda İ10 yakıtıyla %14, İ20 yakıtıyla %23 düşüş izlenmiştir.
6. İzopropanol artış oranı ile is emisyonundaki azalma değerleri birbirine paraleldir. En düşük is değeri İ30 yakıtıyla 1000 Watt yükte %8,2 olarak bulunmuştur. İ30 yakıtı D100 yakıtına göre is emisyonunda ortalama %20 daha düşük sonuçlar vermiştir. İ10 yakıtıyla %9, İ20 yakıtıyla %15 daha düşük is değerleri elde edilmiştir.
7. Yakıtlar içerisinde HC emisyonu bakımından en iyi performans gösteren yakıt İ10 yakıtıdır. En düşük HC değeri İ10 yakıtıyla 1000 Watt yükte 14 ppm'dir. Tüm yükler için İ10 yakıtı D100 yakıtına göre HC emisyonu bakımından ortalama %12 daha düşük sonuç vermiştir. Karışımdaki izopropanol oranının artmasına paralel olarak HC değerlerinde artış olmuştur. Dizele göre İ20 yakıtı %14, İ30 yakıtı %19 daha yüksek HC değerleri vermiştir.
8. CO emisyonu değerleri artan alkol oranına bağlı olarak artmıştır. En düşük CO emisyonu 1000 Watt yükte %0,19 olarak ölçülmüştür. İ30 yakıtı D100 yakıtına göre tüm yüklerde CO emisyonunda %18 daha düşük değer vermiştir. İ10 ve İ20 yakıtları CO bakımından dizel yakıtına göre sırasıyla %7 ve %11 oranında iyileşme sağlamıştır.

Genel olarak deneysel sonuçlara bakıldığında; efektif verim ve HC emisyonu açısından en uygun yakıtın İ10 olduğu söylenebilir. İ10 yakıtıyla ayrıca NO_x, is ve CO emisyonlarında da dizel yakıtına göre düşük değerler elde edilmiştir.

8.2. ÖNERİLER

1. Dizel-izopropanol karışımlarına setan artırıcı katkı maddeleri eklenerek performans ve emisyonlar daha fazla iyileştirilebilir.
2. İzopropanollü karışım kullanan motorlarda ayar değerlerinin (püskürtme basıncı, püskürtme şekli ve püskürtme avansı) değiştirilmesinin motor parametrelerine etkisi araştırılabilir.
3. Alkollü yakıtlar genelde daha yüksek HC emisyonu vermektedir. Yakıt ve giriş hava sıcaklığının arttırılmasının HC emisyonu üzerindeki etkisi incelenebilir.

KAYNAKLAR

Afşar, M., “Bir Dizel Motorda Atık Biodizel Kullanımının Performans, Emisyon ve Yanma Karakteristiklerine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, 24, (2015).

Ajav, E. A., Akingbehin, O. A., “A Study of Some Fuel Properties of Local Ethanol Blended with Diesel Fuel”, **Agricultural Engineering International: The CIGR Journal of Scientific Research Development**, 30 (6): 25-36, (2002).

Al-Momany, M. and Al-Hasan, M. İ., “The Effect of Iso-Butanol-Diesel Blends on Engine Performance”, **Transport**, 23 (4): 306–310, (2008)

Altın, R., “Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılmasının Deneyisel Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 33-67 (1998).

Altun, Ş. ve Gür, M.A., “Bitkisel Yağların Alternatif Yakıt Olarak Dizel Motorlarda Kullanımı”, **Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi**, 9 (3): 35-42 (2005).

Atmanlı, A., “Comparative Analyses of Diesel–Waste Oil Biodiesel and İzopropanol, N-Butanol or 1-Pentanol Blends in a Diesel Engine”, **Fuel**, 176, 209–215, (2016).

Bencheikha, K., Atabanib, A. E., Shobanac, S., Mohammed, M. N., Uğuz, G., Arpa, O., Kumar, G., Ayanoğlu, A., Bokhari, A., “Fuels Properties, Characterizations and Engine and Emission Performance Analyses of Ternary Waste Cooking Oil Biodiesel–Diesel–İzopropanol Blends”, **Sustainable Energy Technologies and Assessments** 35, 321–334, (2019).

Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., “İçten Yanmalı Motorlar, Cilt 1”, **Teknik Eğitim Vakfı Yayını-2**, Ankara, 212-213, (1992).

Calam, A., “İzo-izopropanol Yakıtı Kullanımının HCCI Yanma Karakteristikleri, Motor Performansı ve Egzoz Emisyonları Üzerine Etkileri”, **Proceedings on International Conference on Technology and Science**, Antalya, Aralık 13-15, (2018).

Ciniviz, M., “Dizel Motorlarında Dizel Yakıtı ve LPG Kullanımının Performans Ve Emisyonlara Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 1-80, (2001).

Collas, F., Kuit, W., Clément, B., Marchal, R., López-Contreras, A. M., Monot, F., “Simultaneous Production Of İsoizopropanol, Butanol, Ethanol and 2,3-Butanediol By Clostridium Acetobutylicum ATCC 824 Engineered Strains”, **AMB Express**, 2:45, (2012).

Çelikten, İ., “Tam Yükte Çalışan İndirekt Püskürtmeli Bir Dizel Motorunda Dizel ve Dizel-Etanol Yakıt Karışımlarının Motor Performansı ve Emisyon Değişimlerine Etkilerinin İncelenmesi”, **Teknoloji Dergisi**, 7 (1): 11-18 (2004).

Demirdelen, S., “IBE Fermantasyonundan Bütanol ve İzopropanol Saflaştırma Prosesinin Tasarımı ve Kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 43-52, (2019).

Fırat, M., Altun, Ş., Okcu, M., Varol, Y., “Experimental Investigation on Combustion and Emission Characteristics of Reactivity Controlled Compression Ignition Engine Powered With Iso-İzopropanol/Biodiesel Blends”, **Propulsion and Power Research**, 11(2), 224-239, (2022).

Hacıkadıroğlu, H., “Bitkisel Yağ Esterleri – Motorin Karışımının Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 37-41 (2007).

Hansen, A. C. and Hornbaker, R. H. and Zhang, Q., “Ethanol-Diesel Blends: a Step Towards a Bio- Based Fuel for Diesel Engines”, **ASAE**, 01-6048, (2001).

Heywood, J. B., “Internal Combustion Engine Fundamentals”, **Mc Graw-Hill**, Newyork, 90-240, (1988).

Hışır, V., “Bütanol- Benzin Karışımlarının Buji ile Ateşlemeli Motorların Performans Ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 1-57, (2010).

Huang J., Wang Y., Li S., Roskilly A. P., Yu H., Li H., “Experimental Investigation on the Performance and Emissions of a Diesel Engine Fuelled With Ethanol–Diesel Blends”, **Applied Thermal Engineering**, 29, 2484–2490, (2009).

İlçin, K., “İzopropanol-Bütanol-Etanol (IBE)’ ün Dizel ve Biyodizel Yakıtları ile Karışımlarının Bir Dizel Motorunda Yanma ve Emisyon Karakteristiklerine Etkisi”, **Yüksek Lisans Tezi**, Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı, Batman, 12-13, (2020).

İnternet 1: “Motorların Çalışma Prensipleri”, <http://www.arakliegitim-surucukursu.com/Yayinlar/motorlarin-calisma-prensipleri-159>, (2023).

İnternet 2: “Dizel Motorlar”, <https://web.hitit.edu.tr/dosyalar/materyaller/hicriyavuz@hititedutr100220179U6G8Q9S.pdf>, (2023).

İnternet 3: “Hidrojen Üretim Yöntemleri Nelerdir? Hidrojen Nasıl Üretilir?”, <https://muhendistan.com/hidrojen-uretim-yontemleri-nelerdir-hidrojen-nasil-uretilir/>, (2023).

İnternet 4: “İzopropil Alkol”, <https://atamankimya.com/sayfalar.asp?LanguageID=1&cid=3&id=8&id2=7913>, (2023).

İnternet 5: “Egzoz Emisyon Cihazı Teknik Özellikleri”, <https://www.bilsaltd.com/egzoz-emisyon-cihazlar>, (2023).

Jincheng, H., Yaodong, W., Shuangding, L., Anthony, P.R., Hongdong, Y. And Huifen, L., “Experimental Investigation on The Performance and Emissions of a Diesel Engine Fuelled with Ethanol–Diesel Blends”, *Applied Thermal Engineering*, 29 (11-12), 2484–2490, (2009).

Karabektaş, M., Ergen, G., “Taşıtlarda Doğalgaz Kullanım Teknolojileri” 5. *Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09)*, Karabük, 1-6, (2009).

Kocagöz, S., “Çift Yakıtlı (Lpg-Dizel) Dizel Bir Motorda Hacimsel Verimin Performans ve Emisyonlara Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-56, (2009).

Kukana, R., Jakhar, O. P., “Effect of Ternary Blends Diesel/N-İzopropanol/Composite Biodiesel on Diesel Engine Operating Parameters”, *Energy*, 260, (2022), 124970.

Kumar, B.R., Saravanan. S., “Use of Higher Alcohol Biofuels in Diesel Engines: A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*”, 60: 84-115, (2016).

Li, Y., Chen, Y., Wu, G., Lee, C. Liu, J., “Experimental Comparison of Acetone-n-Butanol-Ethanol (ABE) and Isopropanol-n-Butanol-Ethanol (IBE) as Fuel Candidate in Spark-Ignition Engine”, *Applied Thermal Engineering*, 133: 179–187, (2018).

Liu, K., Atiyeh, H. K., Stevenson, B.S., Tanner, R.S., Wilkins, M.R., Huhnke, R.L., “Continuous Syngas Fermentation for the Production of Ethanol, n-izopropanol and n- butanol”, *Bioresource Technology*, 151: 69-77, (2014).

Merker, G., P., Schwarz, C., Stiesch, G., and Otto, F.,”Simulating Combustion: Simulation of Combustion and Pollutant Formation for Engine-Development”, *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, Germany, 60-140, (2006).

Özer, S., “Butanol Kullanımının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 1-87, (2010).

Özsezen, A. N., Çanakçı, M., “Atık Kızartma Yağından Elde Edilen Metil Esterin Ön Yanma Odalı Bir Dizel Motorda Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisinin İncelenmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23 (2): 395-404, (2008).

Pinzi, S., Redel-Macías, M. D., Leiva-Candia, D. E., Soriano, J. A., Dorado, M. P., “Influence of Ethanol/Diesel Fuel and İzopropanol/Diesel Fuel Blends Over Exhaust And Noise Emissions”, *Energy Procedia*, 142, 849–854, (2017).

Rakopoulos, C. D., Giakoumis, E. G., "Diesel Engine Transient Operation-Principles of Operation and Simulation Analysis", *Springer-Verlag London Limited*, Tempere, Finland, 141-178, (2009).

Rogers, P., Chen, J. S. ve Zidwick, M. J., “Organic Acid and Solvent Production. Part III: Butanol, Acetone and Iso-izopropanol; 1,3 and 1,2 Propanediol Production; and 2,3 Butanediol Production”, **Applied Microbiology**, 1: 67-755, (2006).

Sayın, C., Murat, İ., Çanakçı, M. And Gümüş, M., “Effect of Injection Timing on The Exhaust Emissions of a Diesel Engine Using Diesel–Methanol Blends”, **Renewable Energy**, 34 (5): 1261–1269, (2009).

Song, C. L., Zhou, Y. C., Huang, R. J., Wang, Y. Q., Huang, Q. F., Lü, G., Liu, K. M., “Influence of Ethanol–Diesel Blended Fuels on Diesel Exhaust Emissions and Mutagenicand Genotoxic Activities of Particulate Extracts”, **Journal of Hazardous Materials**, 149: 355-363, (2007).

Soruşbay, C., Arslan, E., “Hidrojen Yakıtlı İçten Yanmalı Motorlarda Yanma Performansı”, **Mühendis ve Makine Dergisi**, Ankara, 231-235, (1998).

Şen, M., “The Effect of The Injection Pressure on Single Cylinder Diesel Engine Fueled with İzopropanol–Diesel Blend”, **Fuel** 254, (2019), 115617.

Şimşek, D., Çolak, N. Y., “Biyodizel/İzopropanol Yakıt Karışımlarının Dizel Motor Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi”, **El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi**, 6, 1, 166-174, (2019).

Tosun, Z., “İzopropanolün Bir Dizel Motorda Aspir Biyodizeli Kullanımına Etkilerinin Deneyisel Olarak Araştırılması”, **Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Yüksek Lisans Tezi, (2017).

Tuncer, A., “Dizel Yakıtı-Pentanol Karışımlarının Dizel Motorda Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisi” Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük, 1-40, (2023).

Ulusoy, Y., “Ayçiçeği, Kolza, Pamuk ve Soya Yağlarının Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının belirlenmesi Üzerine Karşılaştırmalı Bir Araştırma”, Doktora Tezi, **Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Bursa, 6 – 11, (1999).

Uslu, K., “Dizel Motorlarında Farklı Püskürtme Avanslarında Dizel Yakıtı+Ethanol Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1-107 (2006).

Uyar, T., “Organik Kimya”, **Güneş Kitapevi**, 4. Baskı, Ankara, 286-288 (1992).

Xiaoyan, S., Pang, X., Mu, Y., He, H., Shuai, S., Wang, J., Chen, H., Rulong, L., “Emission Reduction Potential of Using Ethanol–Biodiesel Diesel Fuel Blend on a Heavy-Duty Diesel Engine”, **Atmospheric Environment**, 40: 2567–2574 (2006).

Yamık, H., “Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Yağ Esterlerinin Kullanılma İmkanlarının Araştırılması”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-74 (2002).

Yilmaz, N., “Comparative Analysis of Biodiesel-Ethanol-Diesel and Biodiesel-Methanol-Diesel Blends in a Diesel Engine”, **Energy**, 40: 210-213, (2012).

Zhang, Z. H., Cheung, C. S., Chan, T. L. And Yao, C. D., “Experimental Investigation of Regulated and Unregulated Emissions from a Diesel Engine Fueled with Euro V Diesel Fuel And Fumigation Methanol”, **Atmospheric Environment**, 44 (8): 1054-1061, (2010).

Zhao, W., Yan, J., Gao, S., Timothy, H. L., Li, X., “The Combustion and Emission Characteristics of A Common-Rail Diesel Engine Fueled with Diesel and Higher Alcohols Blends with a High Blend Ratio”, **Energy**, 261, (2021), 124972.

Zhao, W., Yan, J., Gao, S., Timothy, H. L., Li, X., “The Combustion and Emission Characteristics of a Common-Rail Diesel Engine Fueled with Diesel, İzopropanol, and Pentanol Blends Under Low Intake Pressures”, **Fuel**, 307, (2022), 121692.

EK AÇIKLAMALAR A.

PERFORMANS VE EMİSYON DEĞERLERİ

Çizelge EK A.1. Dizel yakıtı ile elde edilen performans değerleri

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gaz Sıcaklığı (°C)
1000	22,6	343,3	163
2000	25,8	309,2	170
3000	26,5	303,5	186
4000	27,1	302,8	201
5000	26,9	300,5	224

Çizelge EK A.2. İ10 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gaz Sıcaklığı (°C)
1000	23,1	347,2	155
2000	26,1	318,5	162
3000	26,8	307,7	173
4000	27	308,4	196
5000	27,2	303,8	207

Çizelge EK A.3. İ20 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gaz Sıcaklığı (°C)
1000	22,4	358,7	167
2000	25,2	321,5	179
3000	26,2	320,3	192
4000	26,4	315,3	215
5000	26,2	318,5	236

Çizelge EK A.4. İ30 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gaz Sıcaklığı (°C)
1000	21,7	368,2	171
2000	24,6	341,7	183
3000	25,5	332,8	203
4000	26,2	329,2	229
5000	26,1	329,7	239

Çizelge EK A.5. Dizel yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	NO _x (ppm)	İS (%)	HC (ppm)	CO (%)
1000	224	10,3	15	0,28
2000	377	10,5	30	0,45
3000	522	11,1	42	0,51
4000	645	25,6	66	0,7
5000	671	39,2	81	0,81

Çizelge EK A.6. İ10 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	NO _x (ppm)	İS (%)	HC (ppm)	CO (%)
1000	211	9,6	14	0,26
2000	285	10,1	26	0,42
3000	447	10,8	37	0,51
4000	545	22,3	59	0,62
5000	660	37,5	78	0,75

Çizelge EK A.7. İ20 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	NO _x (ppm)	İS (%)	HC (ppm)	CO (%)
1000	128	8,8	28	0,25
2000	198	9,6	35	0,4
3000	404	9,9	56	0,44
4000	541	18,4	72	0,55
5000	568	36,4	93	0,72

Çizelge EK A.8. İ30 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	NO _x (ppm)	İS (%)	HC (ppm)	CO (%)
1000	120	8,2	36	0,19
2000	175	8,6	43	0,35
3000	355	8,7	62	0,42
4000	491	18,2	76	0,45
5000	550	29,5	97	0,66

ÖZGEÇMİŞ

Mahmut Sami YILMAZ; ilk ve orta öğrenimini İstanbul Kadıköy ilçesinde tamamladı. Ataşehir Anadolu Lisesinden mezun olduktan sonra 2013 yılında Karabük Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği bölümüne girdi ve 2018 yılında buradan mezun oldu. Halen; 2021 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında başlamış olduğu yüksek lisans eğitim programını sürdürmektedir.