



**DİZEL MOTORDA ETANOL-BİYODİZEL
KULLANIMININ MOTOR PARAMETRELERİNE
ETKİSİ**

Hamit ŞAHİN

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

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

**DİZEL MOTORDA ETANOL–BİYODİZEL KULLANIMININ MOTOR
PARAMETRELERİNE ETKİSİ**

Hamit ŞAHİN

T.C.

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

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

**KARABÜK
Haziran 2022**

Hamit ŞAHİN tarafından hazırlanan “DİZEL MOTORDA ETANOL–BİYODİZEL KULLANIMININ MOTOR PARAMETRELERİNE 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. 21/06/2022

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.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ

.....

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.”

Hamit ŞAHİN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİZEL MOTORDA ETANOL–BİYODİZEL KULLANIMININ MOTOR PARAMETRELERİNE ETKİSİ

Hamit ŞAHİN

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK

Haziran 2022, 62 sayfa

Petrol kökenli yakıt kullanımı ulaşım maliyetlerinin ve çevre kirliliğinin artmasına neden olmaktadır. Biyodizel, dizel motorlarda kullanılan alternatif yakıtlardan biridir. Biyodizel bitkisel ve atık yağlardan üretilmektedir. Biyodizel kullanımı ile CO, HC ve is emisyonları azalırken NO_x emisyonları artmaktadır. Bu çalışmada biyodizel emisyonlarını iyileştirmek amacıyla biyodizel içerisine etanol ilave edilmiştir.

Çalışma kapsamında direkt püskürtmeli tek silindirli bir dizel motorda; dizel yakıtı, biyodizel ve biyodizel-etanol karışımlarının performans ve emisyonlara etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Karışım yakıtları biyodizel yakıtına %5, %10, %15 ve %20 oranlarında etanol katılmasıyla elde edilmiştir. Sabit hız ve farklı yüklerde yapılan test sonuçlarına göre; biyodizel yakıtı ile çalışmada dizel yakıtına göre efektif verimde %3 azalma kaydedilmiştir. Dizel yakıtı yerine biyodizel kullanılması durumunda is emisyonu %25, HC emisyonunda %9 ve CO emisyonu %10 daha düşük

çıkmiştir. Diğer taraftan saf biyodizel kullanımı dizel yakıtına göre NO_x emisyonunda ortalama %10 artışa neden olmuştur. Biyodizel ve biyodizel-etanol karışımı çalışmalarda en yüksek efektif verim E5 (%5 Etanol+%95 biyodizel) yakıtıyla elde edilmiştir. E5 yakıtı elde edilen efektif verim biyodizele göre yaklaşık %2 daha fazladır. Karışımdaki etanol oranı arttıkça verim de azalmıştır. Biyodizele etanol ilavesiyle emisyonlarda önemli iyileşmeler elde edilmiştir. Biyodizel ile kıyaslandığında, E20 yakıtı kullanımı ile is emisyonunda %58, NO_x emisyonunda %32 ve CO emisyonunda %45 daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. Diğer taraftan etanol kullanımı sadece HC emisyonunu artırmıştır. E20 yakıtı kullanımı biyodizel yakıtına göre HC emisyonunda ortalama %47 artışa neden olmuştur.

Anahtar Sözcükler : Etanol, biyodizel, performans, emisyon.

Bilim Kodu : 91440

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE EFFECT OF THE USE OF ETHANOL-BIODIESEL IN DIESEL ENGINE ON ENGINE PARAMETERS

Hamit ŞAHİN

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

Thesis Advisor:

Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK

June 2022, 62 pages

The use of petroleum-based fuel causes an increase in transportation costs and environmental pollution. Biodiesel is one of the alternative fuels used in diesel engines. Biodiesel can be produced from vegetable and waste oils. With the use of biodiesel, CO, HC, and soot emissions decrease while NO_x emissions increase. In this study, ethanol was added to biodiesel to improve biodiesel emissions.

Within the scope of the study, in a direct injection single-cylinder diesel engine; the effects of diesel fuel, biodiesel and biodiesel-ethanol mixtures on performance and emissions were investigated experimentally. Mixture fuels were obtained by adding 5%, 10%, 15% and 20% ethanol to biodiesel fuel. According to the test results at constant speed and different loads; in the study with biodiesel fuel, 3% decrease in effective efficiencies were recorded compared to diesel fuel. In the case of using biodiesel instead of diesel fuel, the soot emission was 25% lower, the HC emission 9%

and the CO emission 10% lower. On the other hand, the use of pure biodiesel caused an average 10% increase in NO_x emissions compared to diesel fuel. In biodiesel and biodiesel-ethanol mixed studies, the highest effective efficiency was obtained with E5 (5% ethanol + 95% biodiesel) fuel. The effective efficiency obtained from E5 fuel is approximately 2% higher than that of biodiesel. As the ethanol ratio in the mixture increased, the effective efficiency decreased. Significant improvements in emissions were obtained with the addition of ethanol to biodiesel. Compared to biodiesel, 58% lower soot emissions, 32% lower NO_x emissions and 45% lower CO emissions results were obtained with the use of E20 fuel. On the other hand, the use of ethanol only increased the HC emission. The use of E20 fuel caused an average of 47% increase in HC emissions compared to biodiesel fuel.

Key Word : Ethanol, biodiesel, performance, emissions.

Science Code : 91440

TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmasının araŐtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle alıŐmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Prof. Dr. M. Bahattin ÇELİK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
LİTERATÜR ÖZETİ.....	4
BÖLÜM 3	9
DİZEL MOTORLARDA YANMA VE EMİSYONLAR	9
3.1. DİZEL MOTORLARINDA YANMA	9
3.1.1. Tutuşma gecikmesi	10
3.1.2. Kontrolsüz Yanma Safhası	10
3.1.3. Kontrollü Yanma Safhası	11
3.2. DİZEL MOTORLARDA EMİSYONLARIN OLUŞUMU	12
3.2.1. Partikül Madde ve İS Emisyonları	13
3.2.2. Azot Oksit (NO _x) Emisyonları	14
3.2.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonları	15

3.2.4. Karbonmonoksit (CO) Emisyonları.....	16
BÖLÜM 4	17
DİZEL MOTOR YAKITLARI	17
4.1. DİZEL YAKITI (MOTORİN)	17
4.1.1. Motorin Yakıtının Sınıflandırması	17
4.1.2 Dizel Yakıtının Özellikleri	17
4. 2. DİZEL MOTOR ALTERNATİF YAKITLARI.....	20
4.2.1. Doğal Gaz	21
4.2.2. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı.....	21
4.2.3. Hidrojen	21
4.2.4. Biyogaz	22
4.2.5. Biyodizel.....	22
4.2.6. Alkoller	23
4.3. DİZEL MOTORLARDA ALKOLLERİN KULLANILMASI.....	23
4.3.1. Metanol	23
4.3.2. Bütanol.....	24
4.3.3. Etanol.....	24
4. 4. BİYODİZELİN ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANIMI.....	25
BÖLÜM 5	28
MATERYAL VE METOT	28
5.1. MATERYAL.....	28
5.1.1. Deney Yeri.....	28
5.1.2. Deney Motorunun Genel Özellikleri	29
5. 1. 3. Motor Yükleme Ünitesi	30
5.1.4. Deney Yakıtları.....	31
5.2. DENEYLERDE KULLANILAN CİHAZLAR	32
5.2.1. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı.....	32
5.2.2. İş Emisyon Ölçüm Cihazı.....	33

	<u>Sayfa</u>
5.2.3. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği.....	34
5.2.4. Kronometre	34
5.2.5. Dijital Termometre	35
5.3. DENEYLERİN YAPILIŞI	35
5.3.1. Motor Deneyleri.....	35
5.4. DENEYSEL ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR	36
BÖLÜM 6	38
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	38
6.1. MOTOR PERFORMANS PARAMETRELERİ.....	38
6.2. EGZOZ EMİSYONLARI	41
BÖLÜM 7	46
SONUÇ VE ÖNERİLER	46
7.1. SONUÇLAR	46
7.2. ÖNERİLER	47
KAYNAKLAR	49
EK AÇIKLAMALAR A.....	55
PERFORMANS VE EMİSYON DEĞERLERİ	55
ÖZGEÇMİŞ	62

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Dizel motor yanma safhaları	9
Şekil 3.2. Dizel motorda hava fazlalık katsayısının emisyonlara etkisi.....	12
Şekil 4.1. Biyodizel üretim yöntemi	26
Şekil 5.1. Deney düzeneğinin genel görünümü.....	28
Şekil 5.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü.....	29
Şekil 5.3. Deney motorunun genel görünüşü	29
Şekil 5.4. Motor yükleme ünitesi.	31
Şekil 5.5. Egzoz emisyon ölçüm cihazı.	32
Şekil 5.6. İS emisyon ölçüm cihazı.	33
Şekil 5.7. Elektronik terazi.....	34
Şekil 5.8. Kronometre.	34
Şekil 5.9. Termometre.....	35
Şekil 6.1. Dizel, biyodizel ve biyodizel-etanol karışımlarının efektif verim değişimleri.	39
Şekil 6.2. Dizel, biyodizel ve biyodizel-etanol karışımlarının ÖYT değişimleri.....	40
Şekil 6.3. Dizel, biyodizel ve biyodizel-etanol karışımlarının EGS değişimleri.	41
Şekil 6.4. Dizel, biyodizel ve biyodizel-etanol karışımlarının NO _x değişimleri.....	42
Şekil 6.5. Dizel, biyodizel ve biyodizel-etanol karışımlarının is emisyonu değişimleri.	43
Şekil 6.6. Dizel, biyodizel ve biyodizel-etanol karışımlarının HC emisyonu değişimleri.	44
Şekil 6.7. Dizel, biyodizel ve biyodizel-etanol karışımlarının CO emisyonu değişimleri.	45

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4. 1. Etanolün özellikleri.....	25
Çizelge 5. 1. Deney motoru teknik özellikleri.	30
Çizelge 5. 2. Deneyde kullanılan jeneratöre ait teknik özellikler	30
Çizelge 5. 3. Dizel, soya biyodizel ve etanolün özellikleri	31
Çizelge 5. 4. Etanol biyodizel yakıt karışımları.....	32
Çizelge 5. 5. Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri	33
Çizelge 5. 6. Deney yakıtlarına ait alt ısıl değerler.	37

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

H /Y	: Hava/Yakıt 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 ısıl değeri (kJ/kg)
λ	: Hava fazlalık katsayısı
CO ₂	: Karbondioksit
NO _x	: Azotoksit
HC	: Hidrokarbon
CH ₄	: Metan

KISALTMALAR

HFk	: Hava Fazlalık Katsayısı
EGS	: Egzoz Gaz Sıcaklığı
KMA	: Krank Mili Açısı (°)
PA	: Püskürtme Avansı (°)
PB	: Püskürtme Başlangıcı
PS	: Püskürtme Sonu
ÖYT	: Özgül Yakıt Tüketimi
TG	: Tutuşma Gecikmesi
MOS	: Motor Oktan Sayısı
AOS	: Araştırma Oktan Sayısı

- E0 : İçerisinde etanol bulunmayan yakıt
E5 : İçerisinde %5 etanol bulunan yakıt
E10 : İçerisinde %10 etanol bulunan yakıt
E15 : İçerisinde %15 etanol bulunan yakıt
E20 : İçerisinde %20 etanol bulunan yakıt

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji talebi, dünya nüfusu ve sanayinin ilerlemesine bağlantılı olarak artmaktadır. Günümüzde, dünya enerji gereksinimi büyük ölçüde petrol, kömür ve doğal gaz ile giderilmektedir. Bunu yanında, nükleer ve hidrolik enerjiden de faydalanılmaktadır. Devletler enerji taleplerini gidermek için farklı kaynaklardan yararlanmaktadır. Temel enerji talebinin %90'ı petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil kaynaklardan giderilmektedir (Öğüt ve Oğuz, 2006).

Karayolu ulaşımında kullanılan taşıtların büyük bir kısmı petrol kökenli yakıt kullanmaktadır. Petrolün tükenebilir bir kaynak olması nedeniyle petrol fiyatları sürekli artmaktadır. Petrol türü yakıt kullanımı ile birlikte hava kirliliği de artmaktadır. Toplam hava kirlenmesinde taşıtların önemli etkisi bulunmaktadır. Özellikle taşıt egzozundan çıkan NO_x, is, CO ve HC kirleticileri hava kalitesini düşürmektedir (Borat vd, 1992). Yolcu ve yük taşımacılığında daha çok dizel motorlu taşıtlar tercih edilmektedir. Özellikle dizel motorlarda en önemli emisyonlar is ve NO_x emisyonlarıdır. Bu motorların emisyon değerlerinin yüksek olmasından dolayı Dünya da birçok ülke hafif binek taşıtlarda dizel motor kullanımını yasaklayabileceklerini belirtmişlerdir.

Yakıt fiyatlarının sürekli artması ve emisyon standartlarının değişimi taşıtlarda temiz alternatif yakıt kullanımını gerektirmektedir. Dizel motor emisyonlarını ve petrole olan bağımlılığı azaltmak amacıyla bu motorlarda dizel yakıt yerine yaygın olarak kullanılan en önemli yakıt biyodizeldir. Biyodizel saf olarak veya dizel yakıtın karıştırılarak kullanılmaktadır. Biyodizel kullanımı ile is, CO, HC emisyonlarında düşme olmaktadır.

Biyodizel; soya, aspir, kanola, ayçiçek, pamuk, mısır gibi içerisinde yağ bulunan bitkisel ürünlerden ham ve rafine şeklinde üretilebilmektedir. Biyodizel, metanol veya etanolün katalizör olarak kullanımı ile açığa çıkmaktadır. Biyodizelin hammadde maliyetleri bakımından en önemli avantajlarından biri; yenilenebilir hammaddelerden üretilebilmesi ve bu sayede sürekli üretim imkânı bulunmasıdır. Doğaya kolayca karışması nedeniyle zehirleyici ve sağlığa zararlı etkisi yoktur. (Gerpen vd, 2007). Araştırmalara göre, biyodizelin suda 28 günde %95'inin, dizelin ise %40'ının bozunabildiği gösterilmiştir. Biyodizel motorda kullanıldığında, diğer yakıtlara göre genellikle daha düşük karbon monoksit, karbondioksit ve kükürt oksit ve partikül madde kirleticileri salmaktadır. Biyodizel, zirai ürünlerden üretildiği için, fotosentez olayı ile CO₂'i dönüştürüp karbon döngüsünü hızlandırdığı için küresel ısınmayı azaltıcı yönde etki gösterir. Biyodizelin ozon tabakasına olan zararlı etkisi, dizel yakıtı göre daha düşük seviyelerdedir (İnternet 1, 2020).

Ayrıca dizel motorlarda gerek dizel yakıtına gerekse biyodizel yakıtına etanol, metanol, bütanol, LPG ve doğal gaz ilave edilerek emisyonların daha da aşağı çekilmesi hedeflenmektedir.

Özellikle etil alkol, metil alkol, bütül alkol gibi alkoller bitkisel atıklardan elde edilmesi ve hava kalitesini artırmaları nedeniyle dizel motorlarda kullanılmaktadır. Alkollerin yapısında oksijen bulunması nedeniyle yanmayı iyileştirerek is emisyonunun azaltılmasına katkıda bulunması beklenmektedir. Ayrıca alkollerin yüksek buharlaşma ısısına sahip olması yanma sıcaklığını düşürmektedir. Bu da NO_x emisyonlarını düşürebilir (Hansen vd, 2001).

Motorlarda alkol kullanımının en önemli nedenleri; bazı devletlerin yeterli petrole sahip olamamaları, alkolün çok farklı kaynaklarından elde edilmesi ve hava kirlenmesini azaltmasıdır. Alkolün yaygın kullanımının gerçekleşmemesinin nedenleri; henüz petrolün bitmemiş olması, alkolün ısıl değerinin düşük olması ve fiyatının diğer yakıtlara göre yüksek olmasıdır. Etanol, biyokütle kaynaklardan (buğday mısır arpa, saman, odun, şeker kamışı, şeker pancarı, sorgun darısı, tahıl) elde edilebilmektedir. Ülkemiz bir tarım ülkesi olduğu için alkol hammaddesinin yerli imkanlarla karşılanabileceği öngörülmektedir (Çelik, 1994; Melikoğlu ve Albostan, 2011).

Bu çalışmada; yakıt olarak biyodizel kullanan bir dizel motoruna farklı oranlarda etanol ilave edilerek motor verimi, zgl yakıt tknetimi ve egzoz kirleticilerine etkisi araştırılmıştır. Dizel, biyodizel yakıtı ve biyodizel-etanol yakıt karışımları sabit bir hızda ve farklı yüklerde test edilmiştir. Yakıtların performans ve kirleticiler üzerindeki etkisi gözlenmiştir.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÖZETİ

Dizel motorlarında dizel-alkol ve biyodizel-alkol karışımlarının alternatif yakıt olarak kullanımı ile ilgili bazı çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Randazzo ve Sodre (2011) tarafından yapılan bir çalışmada; bir dizel motorlu bir taşıtta dizel yakıtına soya biyodizel ve etanol ilave edilerek testler yapılmıştır. Yakıtların egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Etanol ilavesiyle CO₂ ve NO_x emisyonlarında azalma, HC ve is emisyonlarında artış kaydedilmiştir.

Xiaoyan vd (2006) tarafından yapılan araştırmada; dizel yakıtı-biyodizel-etanol karışımlarının emisyonları azaltma potansiyeli incelenmiştir. Çalışmada biyodizel olarak soya biyodizel kullanılmıştır. Yapılan test sonuçlarına göre; karışım yakıtta etanol ilavesi ile CO emisyonunda ve is emisyonlarında önemli bir düşüş sağlandığı görülmüştür. Ancak etanol kullanımı NO_x emisyonunda %4 ile %12 arasında artmaya sebep olmuştur.

Motamedifar ve Shirneshan (2018) tarafından yapılan bir çalışmada; dizel, biyodizel ve etanol karışımlarının egzoz emisyonlarına etkisi araştırılmıştır. Dizel yakıtına biyodizel ilavesiyle biyodizelin yüksek oksijen içeriği ve yüksek setan sayısına sahip olması nedeniyle CO ve HC emisyonlarında azalma elde edilmiştir. Karışıma etanol ilavesiyle yanma verimi artarak CO₂ emisyonlarında artma kaydedilmiştir.

Ejder (2007) tarafından yapılan deneysel çalışmada, bir dizel motorda biyodizel ve bütanol kullanımı incelenmiştir. Kanola biyodizel kullanımı ile yüksek devirlerde motor torku ve efektif güçte bir miktar azalma görülmüştür. B5 ve B10 yakıtlarının kullanımı ile 1500 d/d–1800 d/d aralığında özgül yakıt tüketiminde azalma tespit

edilmiştir. Ayrıca, B10 karışımı sayesinde efektif verimde yaklaşık %2 oranında artış sağlanmıştır.

Gawale ve Srinivasulu (2020) yaptıkları çalışmada bir HCCI motorda dizel etanol ve biyodizel etanol karışımlarının motor performansına etkisini incelemişlerdir. Etanol kullanımıyla NO_x ve is emisyonlarında azalma, CO ve HC emisyonlarında artma tespit etmişlerdir.

Can vd (2004) yaptıkları çalışmada; dizel motora etanol ilavesinin performans ve emisyonlar üzerindeki değişimlerini incelemişlerdir. Testler motorin içerisine %10 ve %15 oranında etanol ilave edilerek gerçekleştirilmiştir. Karışımındaki etanol oranı yükseldikçe motor momenti ve efektif güçte azalma görülmüştür. Ayrıca NO_x emisyonu artmış, CO ve is emisyonlarında ise düşüş sağlanmıştır.

Hulwan ve Joshi (2011) tarafından yapılan bir çalışmada; sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda dizel, etanol ve biyodizel karışımlarının performans, emisyon ve yanma karakteristiklerine etkisi araştırılmıştır. Yüksek oranlı etanol kullanımıyla birlikte is emisyonunda ve yanma sonu basıncında azalma, özgül yakıt tüketimi ve NO emisyonunda artma gözlenmiştir.

Rakopoulos vd (2010) yaptıkları çalışmada; bütanol-dizel yakıt karışımı kullanan sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda yakıt tüketimi ve kirleticilerin değişimini gözlemişlerdir. Dizel yakıtına %8, %16 ve %24 oranlarında bütanol ilave edilmiştir. Bütanol oranının artmasıyla birlikte partikül madde, azot oksit ve karbon monoksit emisyonlarında düşüş izlenmiş, hidrokarbon emisyonlarında ve özgül yakıt tüketiminde artış görülmüştür. Ayrıca bütanol kullanımı ile efektif verimde artma sağlanmıştır.

Zhang vd (2010) yaptığı çalışmada; bir dizel motorda metanol kullanımının egzoz emisyonları üzerindeki etkisini incelemek için emme manifolduna metanol ilave edilmiştir. Yapılan testler sonucunda, metanol kullanımı HC ve CO emisyonlarının artmasına sebep olmuş, ancak sıkıştırma ile ateşlemeli motorda en önemli iki emisyon olan azot oksit ve is kirleticilerinde düşüş görülmüştür.

Yılmaz (2012) tarafından yapılan bir araştırmada; biyodizel-etanol-dizel yakıt karışımı ve biyodizel-methanol-dizel yakıt karışımlarının motor performansına ve egzoz kirleticilerine etkisi karşılaştırılarak gözlenmiştir. Karışımlardaki alkol oranının artmasıyla birlikte NO emisyonunda azalma, CO ve HC emisyonunda artış tespit edilmiştir. Alkol ilavesiyle özgül yakıt tüketiminde artış gözlenmiştir. CO ve HC emisyonunun azaltılması bakımından methanolün etanole göre daha etkili olduğu görölmüştür. Genel olarak emisyonların büyük ölçüde motorun çalışma şartları ve alkol karışım oranlarına bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Alkollerin oksijen içeriği ve soğutma etkilerinden dolayı emisyonları olumlu veya olumsuz olarak etkileyebildiği belirtilmiştir.

Song vd (2007) yaptıkları araştırmada; dizel yakıtına etanol ilavesinin egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Test sonuçlarına göre, NO_x ve is emisyonlarında azalma sağlanmıştır. Diğer taraftan CO ve HC emisyonlarında ise artış kaydedilmiştir.

Noorollahi vd (2018) yaptıkları çalışmada; küçük hacimli sıkıştırma ile ateşlemeli bir motorda dizel, biyodizel ve etanol karışımlarının yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarına etkisini araştırmışlardır. Testler dört farklı hız ve değişik yüklerde yapılmıştır. Karışımdaki etanol oranı arttıka HC ve NO_x emisyonlarında azalma, yakıt tüketiminde artma tespit edilmiştir. Ayrıca dizel yakıtına biyodizel ve etanol ilavesi ile efektif güç artmıştır.

Al-Momany ve Al-Hasan (2008) tarafından yapılan araştırmada dizel motorda izobütanol kullanımının etkileri incelenmiştir. Deneylerde tek silindirli bir motor kullanılmıştır. Motorin içerisine %10, %20, %30, %40 oranında izobütanol ilave edilmiştir. Testler sabit yük ve farklı hızlarda yapılmıştır. Yapılan deneylerle yakıt tüketimi ve motor çıkış gücündeki değişimler izlenmiştir. Karışımdaki bütanol oranı arttıka egzoz gaz sıcaklığı da azalmıştır. Bu azalış izobütanolün verdiği ısının düşük olması ve karışım yakıtın yoğunluğunun motorine göre daha az olmasına bağlanmıştır. Ayrıca izobütanol ilavesi arttıka motor gücünde azalma tespit edilmiştir. Bu azalış, motorine göre karışımın setan sayısının düşüklüğü nedeniyle tutuşma gecikmesini uzatması ve izobütil alkolün ısıl değerinin azlığı ile ilişkilendirilmiştir. İzobütanolün

kalorifik değerinin motorine göre daha az olması sebebiyle alkol oranı arttıķa zgl yakıt tüketiminde yükselme izlenmiştir.

Wei vd (2018) tarafından yapılan çalışmada, biyodizel etanol ve biyodizel butanol yakıtlarının dizel motor yanma, performans ve emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Testler beş farklı yükte yapılmıştır. Yük arttıķa is ve NO_x emisyonu artmıştır. Ancak, karışımdaki alkol oranı arttıķa is emisyonu ve NO_x emisyonu da azalmıştır. %10 etanol oranı ile en yüksek silindir basıncı elde edilmiştir.

elikten (2004) yaptığı araştırmada; sıkıştırma ile ateşlemeli motorda motorin içerisine %10 etil alkol ilavesi ederek deneyler yapmıştır. Etil alkolün motor parametrelerine ve kirleticilere katkısı izlenmiştir. Etil alkol kullanımı ile motor torkunda ve çıkış gücünde azalma, zgl yakıt tüketiminde artış kaydedilmiştir. Emisyon değerlerinde O₂ artarken, CO ve NO_x emisyonları kısmen düşüş gözlenmiştir. Ayrıca CO₂, SO₂ ve partikül madde emisyonlarında azalmalar elde edilmiştir.

Kandasamy vd (2019) gerçekleştirdikleri araştırmada, sıkıştırma ile ateşlemeli motorda etanol biyodizel karışımlarının bazı parametrelere ve kirleticilere etkisi araştırılmıştır. Motor testleri değişik hızlarda yapılmıştır. Karışıma etanol ilavesi ile motor torkunda ve efektif güçte azalma olmuştur. Düşük kalorifik değere sahip olan etil alkol zgl yakıt tüketimini artırmıştır. Etanol katılması ile NO_x, karbon monoksit ve partikül kirleticilerinde azalış ve HC emisyonunda artış grlmştir.

Sayın vd (2009) yaptıkları araştırmada; motorine metil alkol katılmasının emisyonlar üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Motorine %5, %10 ve %15 oranında metil alkol katılmıştır. Karışımdaki metil alkol oranı yükseldikçe; HC, karbon monoksit ve is kirleticilerinde düşüş sağlanmıştır. Diğer taraftan CO₂ ve NO_x emisyonları artmıştır. Ayrıca zgl yakıt tüketiminde artış, metil alkolün kalorifik değerinin düşük olması ile ilişkilendirilmiştir.

Madiwale vd (2018) tarafından yapılan bir çalışmada; çeşitli biyodizel yakıtlarına etanol ilavesinin motor performansına etkileri incelenmiştir. Soya biyodizele %5

oranında etanol katılmasıyla efektif güçte önemli bir değişme olmamıştır. Özgül yakıt tüketiminde artma gözlenmiştir. Etanol kullanımı ile fren termik verimde artış kaydedilmiştir.

Huang vd (2009) yaptıkları araştırmada; dizel motorda etanol-dizel yakıt karışımlarının motor parametrelerine etkisini incelemişlerdir. Yakıtlar; dizel yakıtına %10, %20, %25 ve %30 oranlarında etanol ilave edilerek oluşturulmuştur. Karışımdaki etanol miktarı arttıkça özgül yakıt tüketimi ve HC emisyonunda artma tespit edilmiştir. Diğer taraftan, CO ve NO_x emisyonlarında düşme sağlanmıştır.

Geng vd (2021) tarafından yapılan bir çalışmada; Common Rail enjeksiyon sistemine sahip dizel motorda biyodizel etanol karışımının yanma, performans ve emisyonlara etkileri incelenmiştir. Deneylerde 6 silindirli 4 zamanlı bir motor kullanılmıştır. Soya biyodizele %10, %20 ve %30 oranlarında etanol ilave edilmiştir. Testler 6 farklı motor yükünde sabit bir hızda (1600 d/d) gerçekleştirilmiştir. Etanol kullanımı ile CO ve HC emisyonunda önemli bir değişme olmamıştır. Karışımdaki etanol oranı arttıkça is emisyonu azalırken NO_x emisyonu artmıştır.

Labeckas vd (2009) tarafından yapılan bir araştırmada; kolza biyodizel yakıtına %2,5; %5; %7,5 ve %10 oranlarında etanol-benzin karışımı ilave edilmiştir. Hazırlanan karışım yakıtların egzoz emisyonları değişimleri incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda; NO_x, CO ve HC emisyonlarında saf biyodizele göre artma görülürken, is emisyonlarında azalma sağlanmıştır.

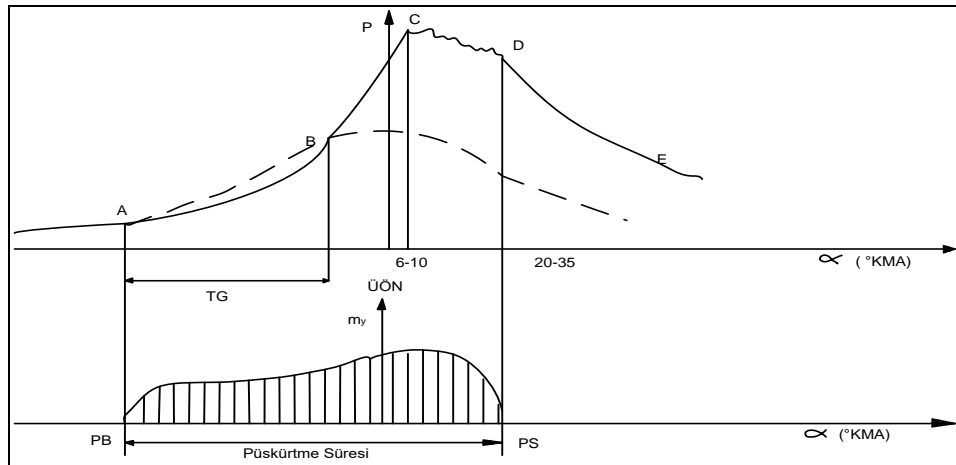
BÖLÜM 3

DİZEL MOTORLARDA YANMA VE EMİSYONLAR

3.1. DİZEL MOTORLARINDA YANMA

Dizel motorlarında yanma reaksiyonları; yakıtın sıkıştırılmış havanın içerisine püskürtülmesiyle başlar ve yanma sonu ürünlerinin egzozdan dışarı atılmasıyla sona erer. Yanma olayında, yakıtın püskürtülmesiyle birlikte hacim genişlemesi olur. Hava ile karışan yakıt parçalanır ve buharlaşır. Yanma odası tasarımı ve yakıt püskürtme sisteminin yapısı yanma üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Zira motor performansı, püskürtme avansı ve yakıt miktarına bağlı olarak değişmektedir (Borat vd, 1992).

Dizel motorlarında yanmanın safhaları; tutuşma gecikmesi, ani yanma periyodu ve kontrollü yanma periyodu şeklindedir (Heywood, 2018). Şekil 3.1’de dizel motorda yanmanın kısımları verilmektedir.



Şekil 3.1. Dizel motor yanma safhaları (Heywood, 2018).

3.1.1. Tutuşma Gecikmesi

Tutuşma gecikmesi süresi, yakıtın püskürtülmesinden itibaren silindir basıncının aniden yükselmeye başlamasına kadar geçen süredir. Şekil 3.1'deki dolu çizgi ile gösterilen eğri krank açısına bağlı olarak basınç değişimini ifade etmektedir. Kesikli çizgi ile gösterilen eğri ise; yanma olmadan yalnızca havadan kaynaklı olarak ortaya çıkan basıncın krank açısına bağlı olarak gösterildiği eğrisidir. Őekilden anlaşılaçağı üzere A-B noktaları arasındaki kesik çizgi ile dolu çizgi arasında bir fark görülmektedir. Bunun nedeni püskürtülen yakıt sıkıştırılmış havaya göre soğuk olması neticesinde sıcak havadan ısı çekmesi ve basıncın bir miktar azalmasıdır. Buhar tabakasının oluşumu sırasında, kendiliğinden tutuşmanın ilk alev çekirdekleri de oluşarak, basınç ve sıcaklık artışının başlamasına sebep olmaktadır. Tutuşma gecikmesi; fiziksel ve kimyasal tutuşma gecikmesi olarak ikiye ayrılmaktadır. Yakıtın küçük zerrelere ayrılması ve ısıyı emerek buharlaşması için geçen süreye fiziksel tutuşma gecikmesi denir. Kimyasal tutuşma gecikmesi ise; yakıt buharlaştıktan sonra tutuşma anına kadar geçen süreye denir (Borat vd, 1992; Safgönül vd, 1999).

Tutuşma gecikmesi süresi boyunca, genellikle yakıt püskürtülmeye devam eder ve yanma başlangıcına kadar yakıt birikmesi devam eder. Biriken yakıtın birden yanmasıyla ani basınç artışı meydana gelir. Ani basınç artışları dizel motorda gürültü şeklinde kendini gösterir, buna dizel vuruntusu adı verilir (Örs, 2016). Tutuşma gecikmesi süresi; yakıtın setan sayısı ve atomizasyonuna, sıkıştırma sonu basınç ve sıcaklığına, püskürtme avansına ve türbülansa bağlı olarak değişmektedir (Borat vd, 1992).

3.1.2. Kontrolsüz Yanma Safhası

Basıncın aniden yükselmeye başladığı andan (B noktası) yanma basıncının maksimuma çıktığı ana (C noktası) kadar olan süreye kontrolsüz yanma safhası denir. Bu aşamada; silindirde tutuşma gecikmesi aşamasında biriken yakıt ani olarak yanarak basıncın çok hızlı bir şekilde yükselmesine neden olur. Artan yanma hızı, basınç artış oranını ($dp/d\alpha$) etkiler. Basınç artış oranının 0,2-0,3 Pa/°KMA arasında olması arzu

edilir. Bu değerin düşük ve yüksek olması motorun yumuşak ve sert çalışmasını belirler (Borat vd, 1992).

KontROLSÜZ yanma aşamasında, basınç artış hızı tutuşma gecikmesi süresine bağlı olarak değişir. Bu süre içinde silindirde biriken yakıt miktarı arttıkça, yanma birden hızlanarak basınç artış oranını da artırır. Yüksek basınç artışı, motorun daha sert çalışmasına neden olur. Bu duruma, dizel vuruntusu denir ve kendini gürültülü çalışma şeklinde ortaya çıkarır. Dizel vuruntusu, motor parçalarının mekanik ve termik olarak zorlanmasına ve zamanla yorulmasına neden olur. Bu durumu önlemek için, maksimum yanma basıncı belli bir değerin üzerine çıkartılmaz (Borat vd, 1992).

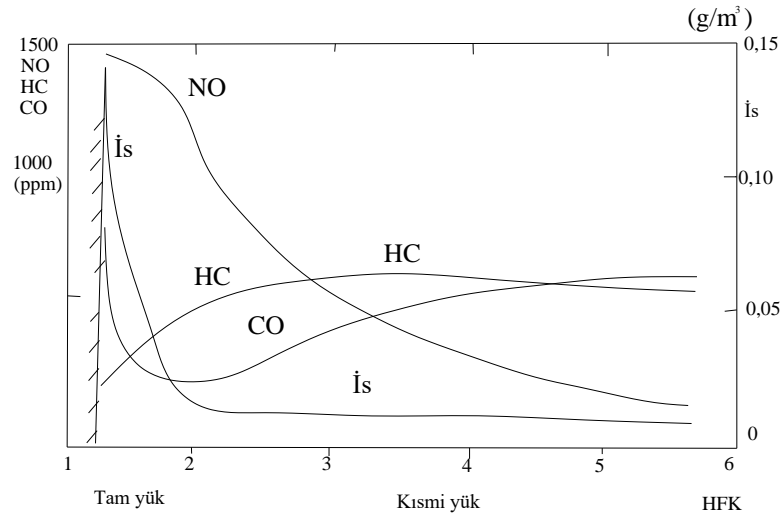
3.1.3. Kontrollü Yanma Safhası

Maksimum yanma basıncının oluşmasından (C noktası) yanmanın büyük ölçüde tamamlanmasına (D noktası) kadar olan süreye kontrollü yanma denir. KontROLSÜZ yanma sonrası silindir içerisindeki basınç ve sıcaklık çok yükselir. Yüksek sıcaklık ve basınç, püskürtülen yakıtın hemen yanmasını sağlar. Motordan maksimum verimi alabilmek için yanmanın, mümkün olduğunca ÜÖN'yı yaklaşık 5-10°KMA geçe oluşması gerekir. Bunu sağlamak için, püskürtme avansı ve püskürtme basıncının motor hızı ve yüküne göre değiştirilmesi gerekir. Bu safhada, pistonun AÖN ya ilerlemesiyle hacim genişlemekte ve basınç düşmektedir. Silindir sıcaklığı ise, bu safhada maksimum değerine ulaşmaktadır (Borat vd, 1992; Safgönül vd, 1989).

Kontrollü yanmanın sonunda, egzoz supabının açılmasına kadar olan yanma reaksiyonlarına art yanma denilmektedir. Bazı bilim adamları bu süreyi ayrı bir yanma safhası olarak değerlendirmektedirler. Bu safhada; püskürtme işleminin bitmesiyle silindir içerisinde kalan yakıt, türbülans ve oksijen miktarına bağlı olarak yanmaya devam eder. Pistonun AÖN' ya doğru gitmesiyle birlikte, önünde kalan hacmin daha da artmasıyla basınç ve sıcaklık iyice azalır. Motorda verim artışı açısından mümkün olduğunca art yanma safhasının kısa sürmesi gerekir (Borat vd, 1992; Safgönül vd, 1989).

3.2. DİZEL MOTORLARDA EMİSYONLARIN OLUŞUMU

Dizel motorları, çoğunlukla fakir karışım ile çalıştırılmakta ve H/Y oranı motorun yük değerine göre farklılaşmaktadır. Şekil 3.2'de hava fazlalık katsayısı değişimine göre emisyonların değişim eğrileri gösterilmektedir. Yakıt karışımının belli bir sınır üzerinde zenginleşmesini kısıtlayan bir is emisyonu sınırı bulunmaktadır. Özellikle; HFK değeri 2'nin altında bir değerdeyken is emisyonu oldukça yükselmektedir [Ajav ve Akingbehin, 2002; Özer, 2010].



Şekil 3.2. Dizel motorda hava fazlalık katsayısının emisyonlara etkisi.

Dizel motorlardan kaynaklı emisyonlar genellikle çeşitli gaz karışımlarından, su buharından ve partikül maddelerden oluşur. Dizel motorlardan kaynaklı emisyonlar arasında tam yanma ürünleri (CO_2 , H_2O , NO_x , SO_2) ve eksik yanma ürünleri (CO, HC, is) bulunmaktadır. Buna ilaveten, dizel motorlarda kontrol altında tutulması gereken emisyonların başında is ve NO_x emisyonları gelmektedir (Afşar, 2015).

Yanma odasında hava-yakıt karışımının oluşma hızı, hava/yakıt oranı, yanma sıcaklığı ve gazların yanma odasında kalış süreleri gibi parametreler emisyonların oluşumunu değişik ölçülerde etkilerler. Buji ile ateşlemeli motorların aksine dizel motorlarda karışımın teşkili ve yanma heterojen olarak gerçekleşir. Heterojen haldeki hava-yakıt karışımının yanması sonucu oluşan emisyonlar sadece yanma periyoduna ve genişleme stroğuna değil aynı zamanda yanma odasında baskın olan genel şartlara da bağlıdır. Tutuşma periyodu boyunca karışım teşkili, yakıtın tutuşma kabiliyeti, yanma

odasında farklı sıcaklıklarda bekleme süresi, genişleme periyodu ve genel motor özellikleri emisyonların oluşumunda önemli rol oynarlar. Esas itibarıyla, farklı türdeki emisyonların egzozdaki konsantrasyonları emisyonların oluşumlarının bir sonucudur. Yanmanın erken safhalarında oluşan eksik yanma ürünleri genişleme stroğu sonuna kadar oksidasyona uğrayabilir. Yanmamış hidrokarbonların oksitleyici gazlar ile karışımı, yüksek yanma odası sıcaklığı, oksidasyon süreci için yeterli zamanın olması tam yanmaya yardımcı olur (Heywood, 1988; Merker vd, 2006).

3.2.1. Partikül Madde ve İs Emisyonları

Dizel motorlarında motor yüküne bağlı olarak H/Y oranı farklılık göstermektedir. Verimli bir yanma gerçekleşebilmesi için; yanma odasında yeteri kadar hava miktarı, yeteri kadar süre ve yeteri kadar sıcaklık olması gerekmektedir. İs oluşumu; hava miktarına, yanma odası sıcaklığına ve yanmanın gerçekleşebilmesi için gerekli süreye göre değişmektedir. Dizel motorlarda; düşük devirlerde hava hareketlerinin az olması, yüksek devirlerde ise; hacimsel verimin azalması ve yeterli sürenin sağlanamaması gibi nedenlerden dolayı karbon tanecikleri, is oluşumuna sebep olmaktadır. Şekil 3.2'de HFK'nın is oluşumuna etkisi gösterilmektedir. İs miktarı; yük arttıkça, yükselmektedir. Şekil 3.2'de görüldüğü gibi yük arttıkça HFK düşmekte ve buna istinaden yanma odasındaki hava miktarının azalmasıyla karbon tanecikleri, yanma prosesini tamamlayamaz ve is oluşumuna neden olur. İlaveten, devir yükseldikçe yanma için yeterli süre sağlanamadığı için is oluşumu hızlanmaktadır. Bu nedenle dizel motorlarında izin verilen is emisyonu sınırı, motor gücünü sınırlayan bir faktör olmaktadır (Uslu, 2006; Ejder, 2007).

Genellikle yanmamış yakıt ve yağlama yağından dolayı ortaya çıkan bazı organik bileşenlerin yanma sonucu ortaya çıkan karbon içerikli materyaller (is) tarafından absorbe edilmesi ile dizel partikül madde emisyonları oluşmaktadır. Partikül maddenin boyutları 20 nm ila 10 µm arasında olduğundan aynı zamanda solunabilir özelliktedir. Partikül maddenin bir kısmı çözünebilir kısım diğer kısmı ise çözünmez veya kuru kısım olarak bilinir. Kuru kısım genellikle is emisyonlarının tahmin edilmesinde kullanılır. Dizel egzozundan kaynaklanan partikül madde içerisindeki is miktarı değişkenlik göstermesine rağmen genellikle %40-%50'den daha fazla orana sahiptir.

Partikül maddenin diğer bileşenleri ise kısmi yanmış yakıt veya yağlama yağı, su, aşınmış metal parçacıkları ve sülfatlardan oluşur. Sülfürik asit/sülfat yüzdesi kabaca yakıt içerisindeki kükürt miktarına bağlı olarak değişir. Yanmamış yakıt ve yağlama yağı (yani çözünebilir organik kısım) yüzdesi ise motorun tasarımına ve işletme koşullarına göre değişiklik gösterir ve kütleli olarak %10-%90 arasında olabilir (Rakopoulos ve Giakoumis, 2009).

Dizel motorlarda is, eksik yanmanın bir göstergesidir ve aşırı zengin hava/yakıt oranının veya kısmen buharlaşabilmiş yakıt taneciklerinin bir sonucudur. İs emisyonu, yüksek sıcaklıktaki yakıtça zengin bölgelerde buhar fazından katı faza geçiş sırasında çekirdeklenen yanmamış yakıtlardan oluşur.

3.2.2. Azot Oksit (NO_x) Emisyonları

Azot oksit emisyonları; yanma odası basıncına ve sıcaklığına, karışımın oluşumuna ve tutuşma gecikmesi esnasında silindirde biriken yakıt miktarına bağlı olarak oluşmaktadır. Azot oksitler, yüksek sıcaklıkta yanmış gaz bölgelerinde oluşur. Ancak, yanmış gazlar içerisinde sıcaklık ve H/Y oranı üniform olmadığından, azot oksitlerin oluşum hızı stokiyometrik bölgelere yaklaştıkça artar. Şekil 3.2'de HFK'nın NO_x'e etkisi görülmektedir. NO_x miktarı; yük artışına bağlı olarak artan sıcaklık ve H/Y oranının stokiyometrik orana yaklaşması ile artmaktadır (Özer, 2010).

NO_x emisyonları genellikle azot monoksit (NO) ve azot dioksitten (NO₂) oluşmaktadır. Bu iki bileşenin toplamı ise NO_x emisyonları olarak adlandırılır. Çoğunlukla, NO_x emisyonlarının %70-%90'lık kısmı NO emisyonlarından oluşmaktadır. NO_x emisyonları büyük ölçüde sıcaklığa bağlı olmakla birlikte oksijenin lokal konsantrasyonuna ve yanma süresine de bağlıdır. Bazı diğer önemli etkenler ise, püskürtme zamanı, yanma odasına alınan dolgunun sıcaklığı, türbülans, yakıt özellikleri gibi parametrelerdir. Bilimsel çalışmalardan alınan sonuçlara göre, NO_x emisyonların oluşumu büyük oranda ani yanma fazında gerçekleşmektedir. NO emisyonları, yanma periyodu boyunca yanmanın bir ürünü olarak oluşur ve daha sonra NO emisyonlarının bir kısmı NO₂ emisyonlarına dönüşür (Merker vd, 2006; Rakopoulos ve Giakoumis, 2009).

NO_x emisyonlarını azaltmanın en etkili yolu Egzoz Gaz Resirkülasyonu (EGR) veya püskürtmenin geciktirilmesi yardımı ile silindir basınçlarını azaltmaktır. Ayrıca değişken supap zamanlaması ve harici sistemler (katalitik konvertör gibi) NO_x emisyonlarının azaltılmasında etkili olarak kullanılır (Rakopoulos ve Giakoumis, 2009).

3.2.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonları

Hidrokarbonlar ve aldehitler, alevin söndüğü silindir duvarlarında ve yanma sürecinin başında veya sonuna doğru hava tarafından yanmanın kalitesinin bozulduğu bölgelerde oluşur. Yani; silindir cidarlarında soğuyan yakıt damlacıkları, HC emisyonunu artırır. Yükün artışı ile silindire alınan yakıt miktarının artmasına rağmen sıcaklıklardaki yükseliş, reaksiyonları hızlandırmakta ve yanmamış HC emisyonu azalmaktadır (Uslu, 2006).

Dizel motorlardaki HC emisyonları, parçalanmış yakıt moleküllerinden veya yağlama yağından oluşur. HC emisyonları, tutuşma gecikmesi periyodu boyunca, zengin yakıt/hava oranlarının bir sonucu olarak veya karışım teşkili sırasında tutuşamayan yakıt moleküllerinden oluşur. Tutuşma gecikmesinden sonra püskürtülen yakıt, yakıtın ve piroliz ürünlerinin hava ile karışmasını yavaşlatır. Bu durum, eksik yanma ve HC emisyonlarının oluşumuna sebep olan karışımın aşırı zenginleşmesine ve yanma ürünlerinin soğumasına yol açar. Düşük yükte ve zengin karışımlı çalışan motorlarda HC emisyonları oldukça fazladır. HC oluşumunun esas kaynağı, yanma odasındaki karışımın tutuşamayacak kadar fakir olduğu reaksiyon bölgesi çevresindedir (Rakopoulos ve Giakoumis, 2009).

HC emisyonlarının oluşumu, özellikle motor yüküne, yanma odasındaki koşullara, hava emiş (doğal emişli veya aşırı doldurmalı) ve yakıt sistemine bağlıdır. Yanmamış hidrokarbon oluşumunun mekanizması, yavaş buharlaşma hızının ve yanma için aşırı zengin olan karışımın kombinasyonunun bir sonucudur. Yakıtın buharlaşma hızı ve yanma odasındaki yakıt/hava oranının durumu karışım teşkilinin hızını önemli ölçüde etkiler.

HC emisyonları genel olarak, karışımın teşkili sırasındaki veya karışım teşkilinin sonundaki (püskürtmenin sonu) iri yakıt taneciklerinin hava ile karışamamasından kaynaklanır. Genellikle HC emisyonları, soğuk alev bölgesi, püskürtülen yakıtın çekirdeği, silindir cidarları ile temas eden bir kısım yakıt, püskürtme hüzmesi uzunluğu ve art püskürtme ile ilgilidir. Ayrıca, yakıt özellikleri, motor tasarımı ve motora ait işletme parametreleri HC emisyonlarının oluşumunda etkilidir (Afşar, 2015).

3.2.4. Karbonmonoksit (CO) Emisyonları

CO emisyon oluşumu; H/Y oranı ile ilişkilidir. Zira; yanma olayının ara kademelerinde oluşan CO'nun CO₂'ye dönüşmesi için ortamda yeterli oksijenin bulunması gerekir. Ancak; CO₂'nin oluşabilmesi, oksijenin yanı sıra reaksiyon için yeterli sıcaklığı ve zamanı da gerektirir. Düşük yüklerde, sıcaklığın az olması nedeniyle CO'nun oksidasyonu için gerekli reaksiyonlar gerçekleşemediğinden CO miktarı yüksektir. Yük arttıkça; CO artmaktadır. Tam yüke doğru, oksijen miktarının ve reaksiyon süresinin azalması nedeniyle CO miktarı tekrar artış gösterir (Ajav, 2002; Özer, 2010).

CO emisyonları, hidrokarbon yakıtlarının eksik yanması sonucu oluşan bir üründür. Yanma odasında yetersiz oksidantın ve düşük sıcaklığın sebep olduğu eksik yanma dolayısı ile CO emisyonları oluşur. Yanmanın sonuna doğru oluşan CO emisyonları, değişik oksidantlarla birleşme tepkimesine girerek CO₂ emisyonlarına dönüşürler. Düşük yanma odası sıcaklığı ve yetersiz oksidant seviyesinden dolayı gerçekleşemeyen birleşme tepkimeleri, CO emisyonlarının artmasına neden olur.

Yakıtça zengin karışımlar daha çok CO emisyonu üretirler. Ancak, dizel motorlar hava fazlalığı ile çalıştığından CO emisyonları oldukça düşüktür. Dizel motorlardaki yanmanın her safhasında, yüksek yanma sıcaklığı, oksijen miktarının fazlalığı, karışım teşkil hızının yüksek oluşu CO emisyonlarının oksidasyonuna yardım eder (Rakopoulos ve Giakoumis, 2009).

BÖLÜM 4

DİZEL MOTOR YAKITLARI

4.1. DİZEL YAKITI (MOTORİN)

Dizel yakıtı (motorin) ham petrolün damıtılması ile 180–370 °C kaynama noktası aralığında alınan bir hidrokarbondur. Motorin yakıtında; tutuşabilir olma, yüksek setan sayısı, yağlayıcılık, düşük kükürt içeriği gibi özellikler aranır. Motorinin molekül zinciri benzine göre daha uzun olduğundan tutuşması daha zor olmaktadır (Acaroğlu vd, 2018). Dizel yakıt; parafin, nafta ve aromatik gibi hidrokarbonlardan oluşan kompleks bir hidrokarbon karışımıdır. Buna ilaveten, dizel yakıtın içeriğinde doğal halde organik kükürt bulunmaktadır (Afşar, 2015).

4.1.1. Motorin Yakıtının Sınıflandırması

ASTM tarafından dizel yakıtları üç kısımda incelenmektedir;

- No.1-D: Hızı ve yükü sık sık değişen motorlara uygun uçucu-damıtık dizel yakıttır. Buharlaştırma özelliği yüksektir.
- No.2-D: Damıtma ve kraking ürünlerini içermektedir, No.1-Dizel yakıtına göre buharlaştırma özelliği daha azdır. Genellikle ağır hizmet ve endüstri motorlarında kullanılır.
- No.4-D: Çok koyu damıtma ve damıtma karışımları ile bazı atıklardan oluşmaktadır. Sabit hız ve sabit yükte çalışan motorlarda bu yakıt tercih edilir.

4.1.2 Dizel Yakıtının Özellikleri

İçten yanmalı motor yakıtları belirli standartlara göre üretilmektedir. Bu standartlar; emniyet, çevresel etkiler ve motor tiplerinin farklılığına bağlı olarak değişmektedir.

4.1.2.1. Viskozite

Viskozite; sıvıların akmaya karşı gösterdikleri dirence denir. Dinamik viskozite; aralarında 1 m uzaklık bulunan iki düzlem arasındaki 1 m² alanlı sıvı tabakasını 1 m/s hızla kaydırabilmek için ihtiyaç duyulan Newton kuvvetidir. Kinematik viskozite ise; dinamik viskozitenin yoğunluğa oranlanması ile elde edilir. Sıvı ve katı yağların en önemli özelliklerinden birisi de kinematik viskozite kabiliyetidir (Altın, 1998).

Dizel yakıtının viskozitesi motor performansını etkilemektedir. Yakıt ile havanın uygun biçimde karışabilmesi ve dolayısıyla ideal yanmanın gerçekleşmesi için yakıtın viskozitesinin uygun değerde olması gerekir. Viskozite küçüldükçe silindire püskürtülen yakıt atomize olur ve hava ile homojen bir karışım meydana getirir. Bu da daha düzgün bir yanma işlemi demektir. Viskozitenin çok düşük olması halinde ise püskürtme sisteminde pompa ve enjektörlerde sızdırma ve kaçaklar oluşabilir.

Yakıtın viskozitesinin yüksek olması halinde ise enjektörlerden püskürtülen yakıtın küçük zerrelelere ayrılması zorlaşır. Homojen karışım oluşumu sağlanamaz. Ayrıca soğuk havalarda viskozitenin daha da artmasıyla birlikte püskürtme işlemi uygun biçimde gerçekleştirilemez. Homojen olmayan karışım yanma olayının verimini düşürür ve hidrokarbon emisyonları artar. Sıcaklığın viskozite üzerinde önemli derecede etkisi olduğundan viskozite değerleri her zaman sıcaklıkla birlikte verilmelidir. Motor yakıtları için en uygun viskozite değerleri 50 °C' de 1,5–5 Engler derecesidir (Yamık, 2002).

4.1.2.2. Isıl Değer

1 kg yakıtın yanması sonucu elde edilen ısı miktarına ısıl değer denmektedir. Yakıtın ısıl değerinin birimi kJ/kg veya kcal/kg şeklinde verilmektedir. Üst ısıl değer ve alt ısıl değer olmak üzere iki çeşit ısıl değer kavramı bulunmaktadır. İçten yanmalı motorlarda yanma sonunda su her zaman buhar halinde olduğu için yakıtların ısıl değeri alt ısıl değer olarak verilmektedir (Yamık, 2002).

Yakıtın ısı değeri motor performansını etkilemektedir. Isıl değerin artmasıyla birlikte özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. Isıl değeri yüksek sıvı yakıt kullanan taşıtlarda yakıt deposunun boyutları küçülmektedir.

4.1.2.3. Setan Sayısı

Dizel yakıtının belirli bir setan sayısına sahip olması istenir. Setan sayısı yakıtın tutuşma kabiliyetini ifade eder. Dizel motorlarda basıncı ve sıcaklığı artmış havanın içerisine püskürtülen yakıtın hemen tutuşması istenir. Setan sayısı düşük yakıtta püskürtme sonrası tutuşma hemen başlamadığı için yakıt silindirde birikir, daha sonra birden yanmaya başlar. Bu durum dizel vuruntusuna neden olur (Yamık, 2002). Setan sayısı düşük alternatif yakıt kullanımında tutuşma gecikme süresini azaltmak için yakıt içerisine bazı kimyasal setan artırıcı maddeler katılmaktadır. Yüksek setan sayısı tutuşma gecikmesi süresini kısalttığı için yanma hızı da artmaktadır. Artan yanma hızıyla yanma işlemi genişleme zamanı sonuna kaymadan tamamlanmakta ve egzoz gaz sıcaklıkları da düşmektedir (Heywood, 1988).

4.1.2.4. Akma Noktası

Yakıtın akma noktası soğuk havalarda motorun ilk harekete geçirilmesi esnasında önemlidir. Akma noktasının yüksek olması durumunda soğuk havada yakıt yoğunluğu artmakta ve yakıt püskürtme sisteminden geçememekte ve sonuçta motor çalıştırılmamaktadır. Soğuk hava şartlarında kullanılan dizel taşıtlarda yakıtın akma noktasını azaltmak için bazı kimyasal maddeler ilave edilmektedir (Hacıkadıroğlu, 2007).

4.1.2.5. Uçuculuk

Dizel yakıtının belli bir ölçüde uçucu olması istenir. Bu özellik; ilk çalıştırmayı kolaylaştırmak, homojen karışım elde etmek ve isli yanmayı azaltmak için gereklidir. Damıtma özellikleri uçuculuk değerlerinin bir göstergesi olmaktadır. Dizel yakıtının damıtma sıcaklığı 180°C–370°C arasında değişmektedir (Altın, 1998).

4.1.2.6. Parlama Noktası

Bir kaptaki yakıtı alttan ısıtıp yakıtın üzerinden alev geçirdiğimizde, yakıt buharı geçici olarak tutuşuyorsa bu tutuşmanın olduğu en düşük sıcaklığa parlama noktası denir. Eğer tutuşan yakıt/yakıt buharı sönmeden yanmaya devam ediyorsa bu sıcaklığa da alevlenme noktası denmektedir. Alevlenme noktası sıcaklığı parlama sıcaklığından biraz daha yüksek olmaktadır. Dizel yakıtlarının alevlenme sıcaklığı benzine göre daha yüksek olduğundan dizel taşıtları yangın emniyeti bakımından daha güvenli, yangın riskleri daha düşüktür (Ulusoy, 1999).

4.2. DİZEL MOTOR ALTERNATİF YAKITLARI

Dünyadaki enerji talebinin büyük bir oranda petrolden karşılanması, buna karşılık petrolün tükenebilir olması nedeniyle alternatif yakıtlara olan ilgi artmaktadır. Yapılan incelemeler ve çalışmalar neticesinde içten yanmalı motorlarda kullanılacak alternatif yakıtlarda bazı özellikler aranmaktadır. (Özsezen ve Çanakçı, 2008). Bu özellikler;

1. Motor verimini artırmalı ve motor gücünü fazla düşürmemeli,
2. Motor yapısında değişik yapılmadan kullanılabilmesi,
3. Motordan çıkan zararlı emisyonları azaltmalı,
4. Düşük maliyetli ve kolay temin edilebilir olmalıdır.

Motorlarda kullanılacak bazı alternatif yakıtlar şunlardır;

1. Gaz Yakıtlar
 - 1.1 Doğal Gaz; Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (Liquefied Natural Gas (LNG)) veya Sıkıştırılmış Doğal Gaz (Compressed Natural Gas (CNG)),
 - 1.2 Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (Liquefied Petroleum Gas (LPG))
 - 1.3 Hidrojen
 - 1.4 Biyogaz (Metan (CH₄), CO₂ ve diğer gazların karışımı),
2. Sıvı Yakıtlar
 - 2.1 Biyodizel

2.2 Alkoller (Metanol (CH₃OH), Etanol (CH₄OH), Bütanol (C₄H₉OH)).

4.2.1. Doğal Gaz

Doğal gazın içeriğinin çoğunluğu metan (CH₄) gazından oluşmaktadır. Doğal gaz yer altından çıkarılan temiz bir enerji kaynağıdır. Doğalgaz da metandan başka az miktarlarda bütan (C₄H₁₀), etan (C₂H₆), propan (C₃H₆), pentan (C₅H₁₂), azot (N₂) ve karbondioksit (CO₂) gazı da bulunmaktadır. Doğal gazın oktan sayısı yüksek olduğu için daha çok benzinli motorlarda kullanılmaktadır. Motor oktan sayısı (MOS) 105, araştırma oktan sayısı (AOS) 130 civarındadır. Motor parçaları üzerinde aşındırıcı etkisi yoktur. Yüksek ısı değere sahip olması, düşük emisyon vermesi ve ekonomik olması nedeniyle çok cazip bir alternatif yakıttır. Günümüzde dizel motorlarında da kullanılmaktadır (Kocagöz, 2009).

4.2.2. Sıvılaştırılmış Petrol Gazı

Ham petrolden elde edilen bir enerji kaynağıdır. Ülkemizdeki LPG; bütan ve propanın farklı oranlarda harmanlanması ile oluşmaktadır. Yüksek basınç altında sıkıştırılmakta ve depolanmaktadır. Benzin motorlu taşıtlarda ekonomik olmasından yaygın olarak kullanılmaktadır. LPG, motor emisyonlarının düşürülmesine katkıda bulunduğu için dizel motorlarında da tercih edilmektedir (Ciniviz, 2001; Aydın ve Acaroğlu, 2009). Ancak günümüzde fiyatının yüksek olmasından dolayı LPG kullanımını azalmaktadır.

4.2.3. Hidrojen

Doğada çok miktarda bulunan bir element olan hidrojen saf halde değildir. Yani çeşitli yöntemler kullanılarak hidrojeni saflaştırmak gerekir. Hidrojen günümüzde daha çok fosil yakıtlardan üretilmektedir. Fosil yakıtlardan hidrojen üretim metotlarından en önemlileri; doğal gazın buhar reformasyonu, metanın kısmi oksidasyonu ve kömür gazlaştırma işlemleridir. Ayrıca biyokütlenin gazlaştırması ve suyun elektroliz edilmesiyle de hidrojen üretilmektedir (İnternet 2, 2001).

Hidrojen gazı havadan hafif, renksiz ve kokusuz bir gazdır. Diğer yakıtlara göre birim kütle başına en yüksek enerjiye sahiptir. Taşıtlarda hidrojenin yakıt olarak kullanımı yaygın değildir. Yaygınlaşmamasının başlıca nedenleri; depolama güçlüğü, üretim maliyetinin yüksek olması ve motor elemanları üzerinde mekanik zorlamaya neden olmasıdır. Hidrojen gazı daha çok yakıt pilli araçlarda kullanılmaktadır. Ancak yakıt pilleri teknolojisinin pahalıya mal olması hidrojenin kullanımını engellemektedir. (Soruşbay ve Arslan, 1998). Hidrojen içten yanmalı motorlarda kullanıldığında CO, HC, CO₂ emisyonlarına rastlanmaz sadece NO_x emisyonları gözükür.

4.2.4. Biyogaz

Biyogaz; organik kökenli atık malzemelerin havasız ortamda biyolojik olarak bozunması neticesinde üretilmektedir. Biyogaz havaya kıyasla daha hafiftir, renksizdir ve kokusuz bir gazdır. Biyogazın içerisinde % (20–45) karbondioksit, % (50–84) metan, % (1–10) hidrojen ile çok az miktarda azot bulunmaktadır. Biyogazın ısıl değeri (4700–5700) kcal/m³'dür. Biyogazın hava/yakıt oranı yaklaşık 7/1 dir. Dizel motorlarda alternatif yakıt olarak biyogazın kullanılması durumunda ek olarak motora dizel yakıtının da püskürtülmesine ihtiyaç duyulmaktadır (Karabektaş ve Ergen, 2009).

4.2.5. Biyodizel

Bitkisel (soya, pamuk, mısır, ayçiçeği, kanola, kolza vb. bitkiler) ya da hayvansal bazlı yağların bir katalizör eşliğinde alkol ile (metanol ve etanol) reaksiyonu ile ortaya çıkan bir alternatif yakıt çeşididir. Biyodizel dizel motorlarda saf olarak ya da orijinal yakıtı ilave edilerek de kullanılabilir. Yüksek setan sayısına sahip olması, ısıl değerinin dizel yakıtına göre çok düşük olmaması, motor emisyon değerlerini azaltması ve motorda önemli bir değişiklik yapılmadan kullanılabilmesi, üretiminin kolay olması ve maliyetinin düşük olması nedeniyle biyodizel dizel motorlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Altun ve Gür, 2005).

4.2.6. Alkoller

Alkoller içerisinde şeker ve nişasta bulunan bitkilerin fermantasyonu veya distilasyonu ile elde edilir. Alkol üretiminde kullanılan bitkilerde kâfi miktarda şeker ve nişasta bulunması önemlidir. Yapısında karbon, hidrojen ve oksijen bulunan alkoller temiz bir yakıttır. Yapısında oksijen olması nedeniyle yanması için gerekli hava ihtiyacı petrol bazlı yakıtlara kıyasla daha düşüktür. İçten yanmalı motorlarda yaygın olarak tercih edilen alkoller; metanol, etanol ve bütanoldür. Alkoller benzinli motorlarda %100 oranında tek yakıt olarak kullanılabilmesi gibi benzine farklı oranlarda katılarak da kullanılabilir (Sayın vd, 2009; Jincheng vd, 2009).

Temiz yanan yakıtlar grubuna giren alkoller dizel motorlarda motorine belirli oranlarda katılarak dizel emisyonlarının azaltılması amacıyla kullanılmaktadır. Özellikle NO_x, CO ve is emisyonlarının düşürülmesinde etkili olmaktadır.

4.3. DİZEL MOTORLARDA ALKOLLERİN KULLANILMASI

4.3.1. Metanol

Metanol üretimi; fosil yakıtların yüksek sıcaklık altında su buharı ile ısı işleme tabi tutulması, doğalgaza destilasyon işlemi uygulanması, CO ve H₂'nin katalitik ortamda sentezlenmesi gibi yöntemlerle sağlanmaktadır. Dizel yakıtı kıyasla ısı değeri düşük olan metanolün kendi kendine tutuşma sıcaklığı yüksektir. Yüksek buharlaşma ısısına sahip olması nedeniyle motorlarda volümetrik verimi artırmakta, yanma sıcaklığını düşürmektedir. Düşük sıcaklık NO_x emisyonlarını azaltmaktadır. Metanol higroskopik bir sıvıdır. Havadaki nemi hemen üzerine çeker. Bu durum yakıt sisteminde ve donanımlarında korozyona sebep olur. Korozyonu önlemek için yakıt donanımı koruyucu maddelerle kaplanmalıdır (Hışır, 2010; Özer, 2010). Metanolün yapısında oksijen bulunması CO ve is emisyonunun azalmasını sağlamaktadır. Metanol, dizel motorlarda CO, NO_x ve is emisyonlarını düşürmek amacıyla dizel veya biyodizel yakıtlarına farklı oranlarda ilave edilerek değerlendirilmektedir (Vezir, 2006).

4.3.2. Bütanol

Kapalı formülü C_4H_9OH olan bütanol; n-bütanol, n-bütil alkol, bütan-1-ol olarak da isimlendirilmektedir. Metanol ve etanol nem tutma özelliğine sahipken bütanolün sadece 8,3 gramı 100mL suda çözünebilmektedir. Su tutma özelliği olmadığı için motor parçalarında korozyona neden olmaz. Dizel yakıtlarıyla kolaylıkla karışarak faz ayrışmasına sebep olmaz (Uyar, 1992; Al-Momany and Al-Hasan, 2008).

Bütanolün kimyasal formülü $C_4H_{10}O$ 'dur. Kapalı formülü $(CH_3)_2CHCH_2OH$ 'dır. Bütanol zehirli olduğu için insan sağlığına zararlıdır. Bütanolün ısı değeri dizel yakıtına göre daha düşük olduğu için dizel yakıtına katıldığında motorun özgül yakıt tüketimi azalmaktadır. Bütanol %40'lara varan oranlarda dizel yakıtına ilave edilerek kullanılabilir (Özer, 2010).

4.3.3. Etanol

Etanol; etilenin hidratlanması ve şekerli bitkilerin (patates, tahıllar, şeker kamışı ve şeker pancarı gibi) mayalanması yoluyla üretilmektedir. Saydam ve renksiz olan etanol temiz yanan bir yakıttır. Buharlaştırma ısısının yüksek olması nedeniyle yanma sonu sıcaklığı düşüktür. Ayrıca oksijene sahip olduğu için daha düşük karbonmonoksit ve azotoksit değerleri vermektedir (Uyar, 1992; Hışır, 2010).

Etanolün alternatif yakıt olarak dizel motorlarında kullanılması 1970'li yıllara dayanmaktadır. Yapılan araştırma sonuçlarına göre etanolün kullanımı ile partikül madde ve CO emisyonlarında düşme olmaktadır. Daha sonraları, bazı ülkelerde etanolün maliyetinin düşük olması nedeniyle kullanımı artmıştır. Etanolün dizel yakıtı ile uygun biçimde karışabilmesi ve emisyonları düşürmesi onu avantajlı duruma getirmiştir (Hansen vd, 2001; Çelikten, 2004).

Dizel yakıtına etanol katılması ile karışım yakıtının viskozite ve ısı değerlerinde azalmalar oluşmaktadır. Bu durum motorda bazı değişiklikler yapmayı gerekli kılar. Dizel motorlara etanol ilave edilmesi dört değişik şekilde olmaktadır. Bunlar; enjektörden silindir içine doğrudan dizel-etanol karışımı püskürtülmesi, etanol

buharının emme manifolduna püskürtülmesi, etanol ve dizel yakıtlarının bir karıştırıcı içinden ayrı ayrı motora verilmesi ve iki yakıtın ayrı ayrı çift enjektörle sisteme püskürtülmesi şeklindedir (Çelikten, 2004).

Çizelge 4.1' de etanolün özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.1. Etanolün özellikleri.

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

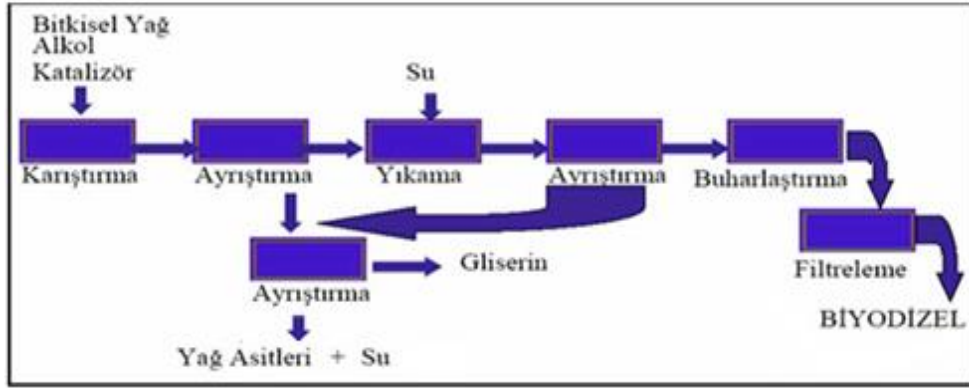
Etanol-dizel karışımlarında setan sayısı azalmaktadır. Setan sayısının azalması nedeniyle tutuşma gecikmesi ortaya çıkmaktadır. Buna istinaden maksimum güç azalmakta, motor gürültülü çalışmakta ve NO_x emisyonları artmaktadır. Bazı çalışmalarda; dizel yakıtına %10 etanol ve %1 izopropanol katılmasıyla motor performans parametrelerinde ve CO, NO_x , SO_2 ve partikül madde emisyonlarında azalmalar elde edildiği ifade edilmiştir. Dizel yakıt içerisine yüksek oranda etanol katılması durumunda faz ayrışması olmaması için karışıma izopropanol ilave edilmesi tavsiye edilmektedir. Biyodizel içerisine %10-20 oranlarında etanol ilavesinin emisyonlar üzerinde olumlu etkileri olduğu belirtilmektedir (Çelikten, 2004).

4.4. BİYODİZELİN ALTERNATİF YAKIT OLARAK KULLANIMI

Bitkisel veya hayvansal yağların etanol veya metanol ile reaksiyona sokulmasıyla üretilen biyodizel dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılmaktadır. Atık bitkisel ve hayvansal yağlardan da biyodizel üretmek mümkündür. Biyodizelin yakıt

özellikleri dizel yakıtına benzemektedir. Biyodizel elde etmede çeşitli yöntemler vardır. Günümüzde biyodizel en çok transesterifikasyon metodu ile üretilmektedir.

Transesterifikasyon işleminde hammadde olan yağ, etanol veya metanolla, katalizör eşliğinde ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Biyodizel üretiminde, kanola (kolza), ayçiçek, mısır, soya vb. yağlı tohum bitkilerinden elde edilen bitkisel yağlar, atık kızartma yağları ve hayvansal yağlar ile alkol olarak metanol, katalizör olarak alkali katalizörler (sodyum hidroksit, potasyum hidroksit ve sodyum metilat) tercih edilmektedir. Şekil 4.1’de biyodizel üretim yöntemi görülmektedir (Afşar, 2015).



Şekil 4.1. Biyodizel üretim yöntemi (Afşar, 2015).

Bitkisel yağla yapılan motor testleri, bitkisel yağların biyodizele dönüştürülmeden de kısa süreli ve acil durumlarda yakıt olarak kullanılabileceğini göstermiştir. Motorda bitkisel yağ kullanımı; enjektörlerde birikinti, piston segmanlarının yapışma, motor yağında seyrelme gibi birçok motor problemine sebep olabilmektedir. Bu nedenle, bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi yani biyodizele dönüştürülmesi gerekir (Alptekin ve Çanakçı, 2006).

Biyodizel, dizel motorlarında tek yakıt olarak veya dizel yakıtı karıştırılarak kullanılmaktadır. Saf biyodizel yakıtı B100 olarak isimlendirilirken, %30 biyodizel ve %70 dizel yakıtı içeren bir karışım B30 olarak isimlendirilmektedir.

Dizel motorlarda biyodizel kullanımı ile güç, moment, yakıt tüketimi gibi performans değerlerinde olumsuz değişimler oluşmamaktadır. Biyodizel kullanımı ile CO, duman, HC emisyonlarında önemli düşmeler olabilmektedir. Ancak, NO_x ve CO₂ emisyonlarında bir miktar artış olabilmektedir (Solak, 2003).

Biyodizelin motor ve yakıt sisteminde herhangi bir modifikasyon yapılmadan kullanılması yaygın kullanımında etkili olmuştur. Biyodizelin alevlenme sıcaklığı dizel yakıtı göre daha yüksektir ve dizel yakıtı göre yangın emniyeti bakımından daha güvenlidir. Biyodizelin alt ısı değeri motorinden %10 kadar daha düşüktür. Biyodizelin setan sayısı üretim metodu ve hammaddesine göre değişmekle birlikte setan sayısı dizel yakıt setan sayısına yakın değerlerdedir. Biyodizelin yağlayıcılık özelliği dizel yakıtı göre daha iyi olduğundan motor aşınıları azalmakta ve motor ömrü uzamaktadır (U.S. Doe, 2004).

Biyodizel yakıtlarda, dizel yakıtta aranan özelliklerin yanında sadece biyodizele özgün bazı özelliklerin de bulunması gerekmektedir. Dünya da biyodizel için farklı standartlar oluşturulmaktadır. Avrupa ülkeleri EN14214 biyodizel standardı diğer standartlara göre daha kapsamlıdır.

Yakıt olarak biyodizel kullanımı CO₂ salınımı bakımından olumlu sonuçlar vermektedir. Yapılan çalışmalarda petrol bazlı dizel yakıt yerine saf biyodizel kullanıldığında atmosfere salınan CO₂ miktarında %78, B20 biyodizel kullanıldığında ise %15,66 oranında azalma olacağı belirlenmiştir (U.S. Doe, 2004).

BÖLÜM 5

MATERYAL VE METOT

5.1. MATERYAL

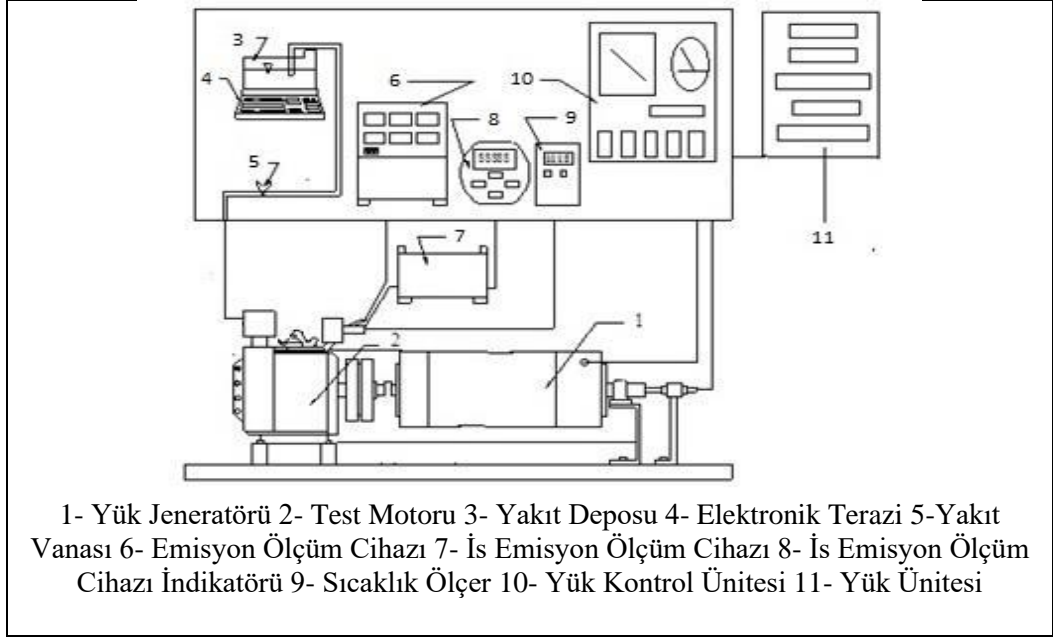
Bu bölümde; yararlanılan deney alanı, cihazlar, test motoru, yakıt özellikleri ve test yöntemine ait bilgiler şekil, resim ve çizelgeler ile verilmiştir.

5.1.1. Deney Yeri

Motor deneyleri Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.1’de deney düzeneğinin genel görünümü Şekil 5.2’de ise şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 5.1. Deney düzeneğinin genel görünümü.



Şekil 5.2. Deney düzeneğinin şematik görünümü.

5.1.2. Deney Motorunun Genel Özellikleri

Motor testleri tek silindirli dizel motora sahip dizel-jeneratör grubu ile yapılmıştır. Motorun genel görünüşü Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3. Deney motorunun genel görünüşü.

Deney motoruna ilişkin özellikler Çizelge 5.1'de görülmektedir.

Çizelge 5.1. Deney motoru özellikleri.

Markası	Katana marka, 4 zamanlı direkt püskürtmeli, dizel motor
Silindir adedi	1
Silindir çapı (mm)	78
Kurs (mm)	62
Sıkıştırma oranı	18 /1
Supap sistemi	Üstten kamlı, 2 supaplı
Maksimum hız (d/d)	3000
Silindir hacmi (cm ³)	296
Püskürtme basıncı (bar)	200
Püskürtme avansı	25±1

Motoru değişik yüklerde çalıştırmak için jeneratör kullanılmıştır. Jeneratör özellikleri Çizelge 5.2’de görülmektedir.

Çizelge 5.2. Deneyde kullanılan jeneratöre ait teknik özellikler.

JENERATÖR	
Model	KD 4500 E
Maksimum çıkış gücü	4,2 kW
Sürekli çıkış gücü	3,4 kW
Voltaj	230
Faz	MONOFAZE
Frekans	50 Hz
Güç faktörü	1

5.1.3. Motor Yükleme Ünitesi

Testlerde motoru yüklemek için dizel motor-jeneratör grubunun jeneratöründen yararlanılmıştır. Deney düzeneğinde kullanılan yük jeneratörü sabit devirde (3000 d/d) çalışmaktadır. Yapılan deneylerde motora farklı yükler verilebilmesi için jeneratöre yük ünitesi eklenmiştir. Yük devresi 500, 1000 ve 2000 Watt’lık halojen ampullerden oluşmaktadır. Şekil 5.4’te motor yükleme ünitesi verilmiştir.



Şekil 5.4. Motor yükleme ünitesi.

5.1.4. Deney Yakıtları

Motor testlerinde kullanılmak üzere; motorin, soya biyodizel ve etanol yakıtları temin edilmiştir. Deneyleerde kullanılan dizel yakıtı, soya biyodizel yakıtı ve etanolün özellikleri Çizelge 5.3'te görülmektedir.

Çizelge 5.3. Dizel, soya biyodizel ve etanolün özellikleri (Şimşek, 2010; Karabektaş ve Ergen, 2007; Yılmaz, 2006; Çelik, 1994).

Özellikler	Dizel Yakıtı	Soya Biyodizel	Etanol
Yoğunluk (g/cm ³)	840	913	794
Alevlenme Noktası (°C)	55	254	425
Alt Isıl Değeri (kJ/kg)	43000	39800	27000
Donma Noktası (°C)	-15	-3,9	-118
Setan Sayısı	47	50	-
Kinematik Viskozite (mm ² /s, 40°C)	3,25	5,57	1,19

Testler; dizel, biyodizel ve biyodizel etanol karışımları ile yapılmıştır. Dizel yakıtı ve etanol hacimsel olarak karıştırılmıştır. Çizelge 5. 4'te elde edilen etanol biyodizel yakıt karışımları görülmektedir.

Çizelge 5.4. Etanol biyodizel yakıt karışımları.

Karışımın ismi	Biyodizel yakıt miktarı (%)	Etanol miktarı (%)
E0	100	0
E5	95	5
E10	90	10
E15	85	15
E20	80	20

5.2. DENEYLERDE KULLANILAN CİHAZLAR

5.2.1. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı

Deneylerde emisyon ölçümlerinde kullanılan egzoz emisyon ölçüm cihazı, BİLSA marka olup, CO, CO₂, HC, NO_x, O₂ ve λ (hava fazlalık katsayısı) emisyon değerlerini ölçebilmektedir. Egzoz emisyon cihazı Şekil 5.5.'de verilmiştir. Egzoz emisyon ölçüm cihazının ölçmeye ilişkin özellikleri Çizelge 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.5. Egzoz emisyon ölçüm cihazı.

Çizelge 5.5. Egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri (İnternet 3, 2021).

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
CO _{Cor}	0-%10	%0,001
NO _x	0-5000	1 ppm
Lamda	0,5-2.00	0.001

5.2.2. İş Emisyon Ölçüm Cihazı

Dizel motorlarda iş emisyonlarının ölçülmesinde ayrı bir cihaz kullanılmaktadır. İş emisyonu ölçümünde BİLSA marka cihaz kullanılmıştır, Şekil 5.6. Cihaz iş emisyonunu % ve K faktörü cinsinden ölçebilmektedir. Ölçüm sonuçları BİLSA egzoz emisyon cihazının ekranından okunabilmektedir.



Şekil 5.6. İş emisyon ölçüm cihazı.

5.2.3. Yakıt Tüketimi Ölçme Düzeneği

Deneysel çalışmalarda, yakıt tüketimi kütleli olarak ölçülmüştür. Bu amaçla testlerde 1 g ölçme hassasiyetine sahip elektronik terazi kullanılmıştır. Şekil 5.7, elektronik terazi göstermektedir.



Şekil 5.7. Elektronik terazi.

5.2.4. Kronometre

Yakıt tüketim süresini belirlemek için kronometreden yararlanılmıştır. Kronometrenin ölçme hassasiyeti 1 salisedir. Kronometre Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.8. Kronometre.

5.2.5. Dijital Termometre

Egzoz gaz sıcaklığını belirlemek için termokupllu dijital bir sıcaklık ölçer kullanılmıştır. Sıcaklık ölçer ile aynı anda iki farklı sıcaklık ölçme imkânı bulunmaktadır. Şekil 5.9’da termometre görülmektedir.



Şekil 5.9. Termometre.

5.3. DENEYLERİN YAPILIŞI

5.3.1. Motor Deneyleri

Motor testlerine başlamadan önce motor bakım ve ayarları yapılmıştır. Motor çalışma sıcaklığına getirildikten sonra testler yapılmaya başlanmıştır.

Motor testleri öncelikle saf dizel (D100) ve biyodizel (B100) yakıtları ile yapılmıştır. Daha sonra biodizel içerisine farklı oranlarda etanol katılarak testlere devam edilmiştir. Biyodizel içerisine hacimsel olarak %5, %10, %15 ve %20 oranlarında etanol katılarak E5, E10, E15 ve E20 yakıtları oluşturulmuştur. Daha yüksek oranda etanol ilavesi motorun düzensiz çalışmasına neden olduğundan daha fazla oranda etanol katılmamıştır.

Motorun yüklenmesi jeneratöre yük verilmesiyle yapılmıştır. 500, 1000 ve 2000 Watt'lık halojen ampullerden oluşan yükleme ünitesi ile motor yüklenmiştir. Jeneratör sabit devirde (3000 d/d) çalışmaktadır. Bu sayede motor deneyleri sabit hız değişik yüklerde yapılabilmektedir. Test motoru standart püskürtme basıncında (200 bar) dizel, biyodizel ve hacimsel olarak belirli oranlardaki biyodizel-etanol karışımları ile (E5, E10, E15, E20); farklı motor yüklerinde (500, 1000, 1500, 2000 Watt) test edilmiştir. Motor E20 yakıtıyla 2000 Watt üzerinde yüklendiğinde motor aşırı titreşim yaparak düzensiz çalıştığından daha yüksek yüklerde test yapılmamıştır. Her bir test aşamasında motorun çalışması kararlı duruma geldikten sonra egzoz gaz sıcaklığı (EGS), CO, HC, NO_x ve ısı emisyonları kaydedilmiş, yakıt tüketimi, efektif verim ve özgül yakıt tüketimi ile ilgili ölçüm ve hesaplamalar yapılmıştır.

5.4. DENEYSEL ÖLÇÜM VE HESAPLAMALAR

Motor efektif veriminin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikten 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)

Deney yakıtlarına ait alt ısı değerler Çizelge 5.6'da verilmiştir. Karışım yakıtların ısı değerlerinin belirlenmesinde; karışım oranları, yoğunluklar ve yakıt ısı değerleri dikkate alınmıştır.

Motor belli yükte kararlı durumda çalışırken motorun belli miktardaki yakıtı kaç saniyede tükettiği elektronik terazi ve kronometre yardımıyla belirlenmiştir. Bulunan değer kg/h cinsinden aşağıda verilen özgül yakıt tüketimi (ÖYT) eşitliğinde yerine konularak ÖYT hesaplanmıştır.

Çizelge 5.6. Deney yakıtlarına ait alt ısı değerler.

Yakıt türü	Alt ısı değeri (kJ/kg)
D100	43000
B100	39800
Etanol	27000
B95-E5	39160
B90-E10	38520
B85-E15	37880
B80-E20	37240

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

be : Özgül yakıt tüketimi, (g/kWh)

Be : Yakıt tüketimi, (kg/h)

Pe : Efektif motor gücü, (kW)

BÖLÜM 6

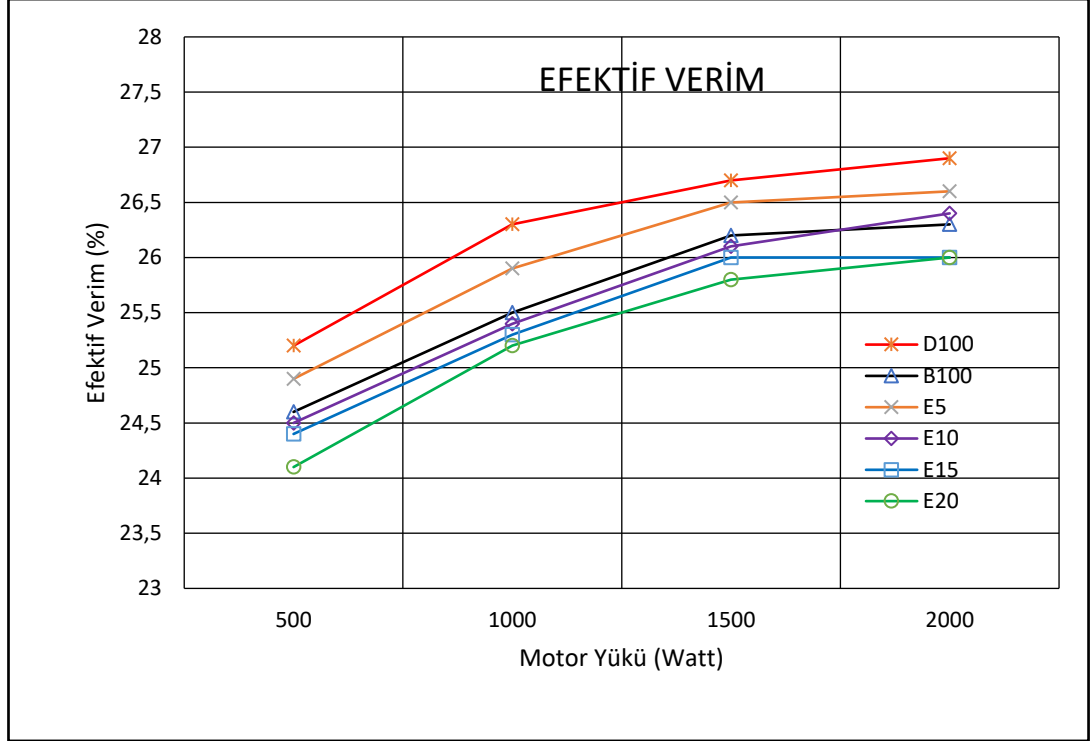
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada; dizel, soya biyodizel ve soya biyodizel-etanol karışımlarının motor parametrelerine etkisini incelemek amacıyla değişik yüklerde (500, 1000, 1500, 2000 Watt) motor testleri gerçekleştirilmiştir. Testlerde ölçülen ve hesaplanan bazı parametreler; efektif verim, özgül yakıt tüketimi (ÖYT), egzoz gaz sıcaklığı, NO_x, is, CO ve HC emisyonlarıdır.

6.1. MOTOR PERFORMANS PARAMETRELERİ

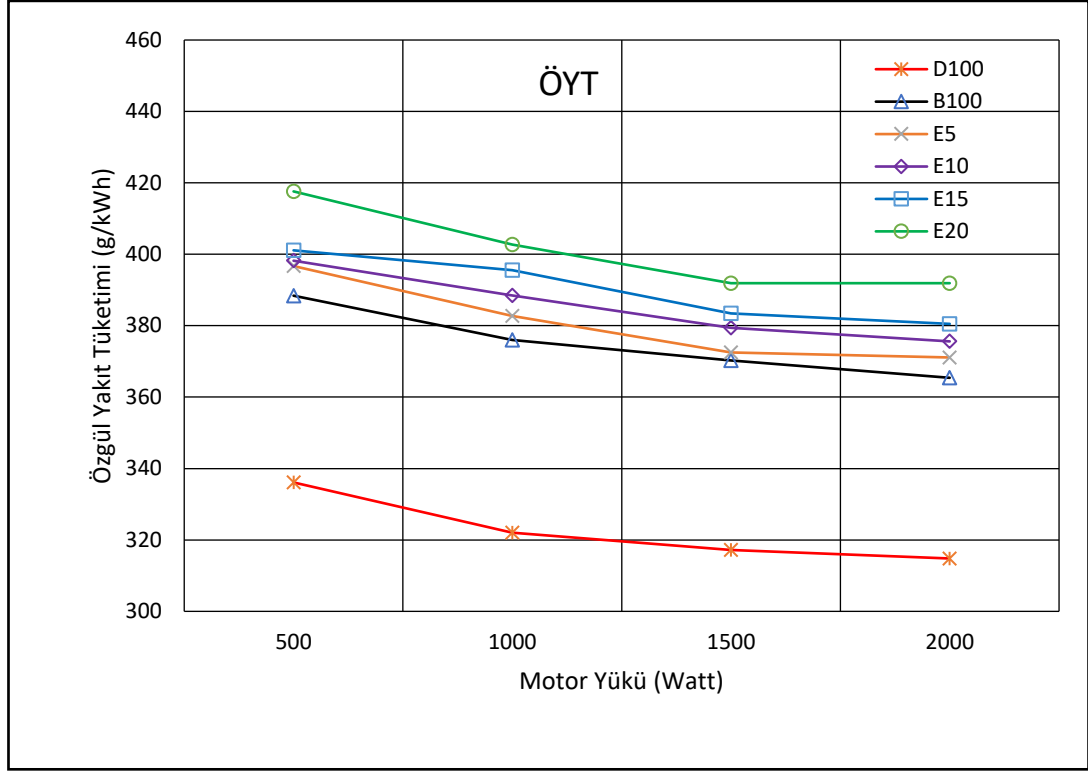
Dizel, biyodizel ve biyodizel-etanol karışımlarının efektif verime etkisi Şekil 6.1’de verilmiştir. Efektif verim, elde edilen efektif motor gücünün yakıtla verilen enerjiye oranı olarak ifade edilmektedir. Yanma sonucu oluşan ısı büyük oranda; egzoz, soğutma, radyasyon ve sürtünme yoluyla kaybedilmektedir. Geriye kalan enerji ise efektif motor gücüne dönüştürülebilmektedir. Şekil 6.1 incelendiğinde; motor yükü arttıkça motor gücünün 500 Watt’dan 2000 Watt’a yükselmesiyle birlikte efektif verimde yaklaşık %7 lik bir artış elde edildiği görülmektedir. Yük artışıyla birlikte silindir basınç, sıcaklığı ve dolayısıyla yanma hızı da artmaktadır. Artan yanma hızıyla ısı kayıpları azaldığı için verim iyileşmektedir. Biyodizel yakıtı ile çalışmada dizel yakıtına göre efektif verimde %3 azalma kaydedilmiştir. Yakıtlar içerisinde en yüksek verim dizel yakıtıyla elde edilmiş daha sonra E5 yakıtıyla elde edilmiştir. E5 yakıtı elde edilen efektif verim biyodizel’e göre yaklaşık %2 daha fazladır. Etanolde bulunan oksijen yanmayı iyileştirdiğinden verim üzerinde düşük miktarda da olsa olumlu etki yapmıştır. Ancak biyodizel içindeki etanol oranı arttıkça efektif verim azalmıştır. Artan etanol miktarı karışım yakıtın özelliklerini değiştirdiği için bu özelliklere püskürtme basıncı ve avansı gibi parametrelerin optimize edilmesi gerekir. E10, E15 ve E20 yakıtlarının efektif verimi biyodizel yakıtına göre daha düşük tespit edilmiştir.

Bu yakıtlar biyodizelden efektif verim açısından %1-2 daha düşük performans göstermiştir.



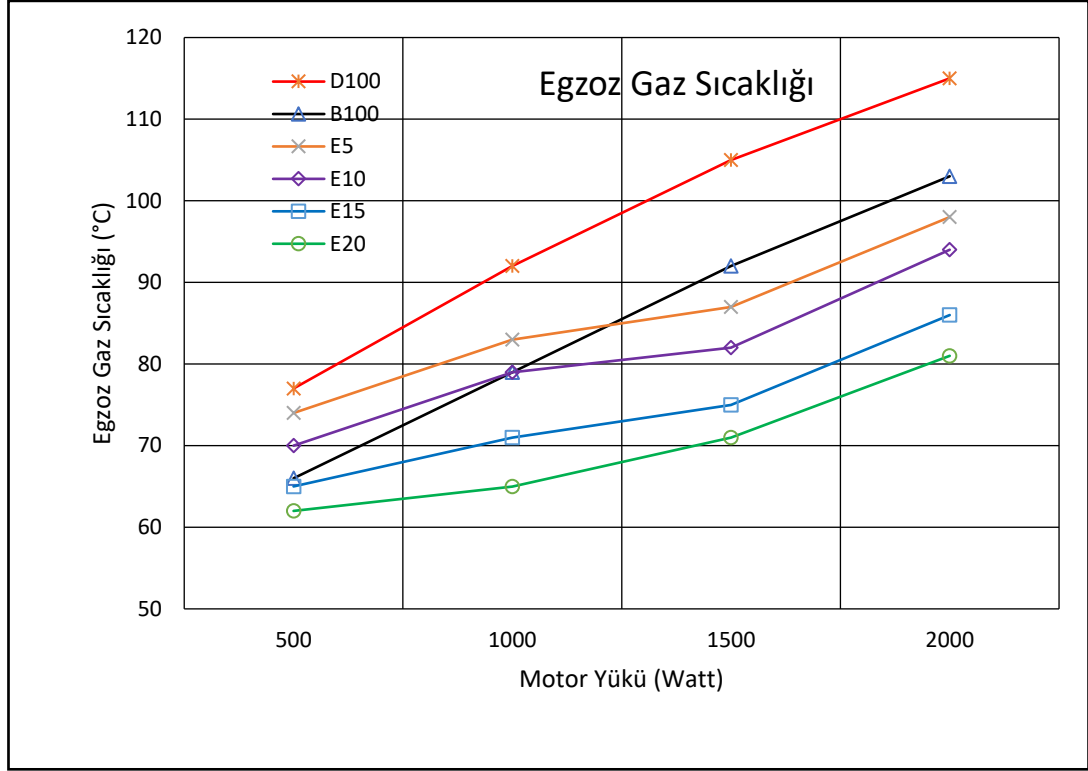
Şekil 6.1. Dizel, biyodizel ve biyodizel-etanol karışımlarının efektif verim değışimleri.

Yakıt türlerinin Özgöl Yakıt Tüketimi (ÖYT) değışimleri Şekil 6.2’de verilmiştir. En düşük ÖYT değeri dizel yakıtıyla elde edilmiştir. Dizel yakıtı alt ısıl değeri diğer yakıtlara göre daha yüksek olduğu için ÖYT azalmaktadır. Biyodizel kullanımı dizel yakıtına göre ÖYT de tüm yüklerde ortalama %15 artışa neden olmuştur. Biyodizele eklenen etanol oranı yükseldikçe ÖYT de artmaktadır. Etanol yakıtının alt ısıl değeri biyodizele göre daha az olması nedeniyle, karışımdaki etanol yüzdesi arttıkça ÖYT değeri de tüm yüklerde artış göstermektedir. Tüm yüklerde ortalama olarak E20 yakıtıyla biyodizel yakıtına göre ÖYT %7 artmıştır.



Şekil 6.2. Dizel, biyodizel ve biyodizel-etanol karışımlarının ÖYT değişimleri.

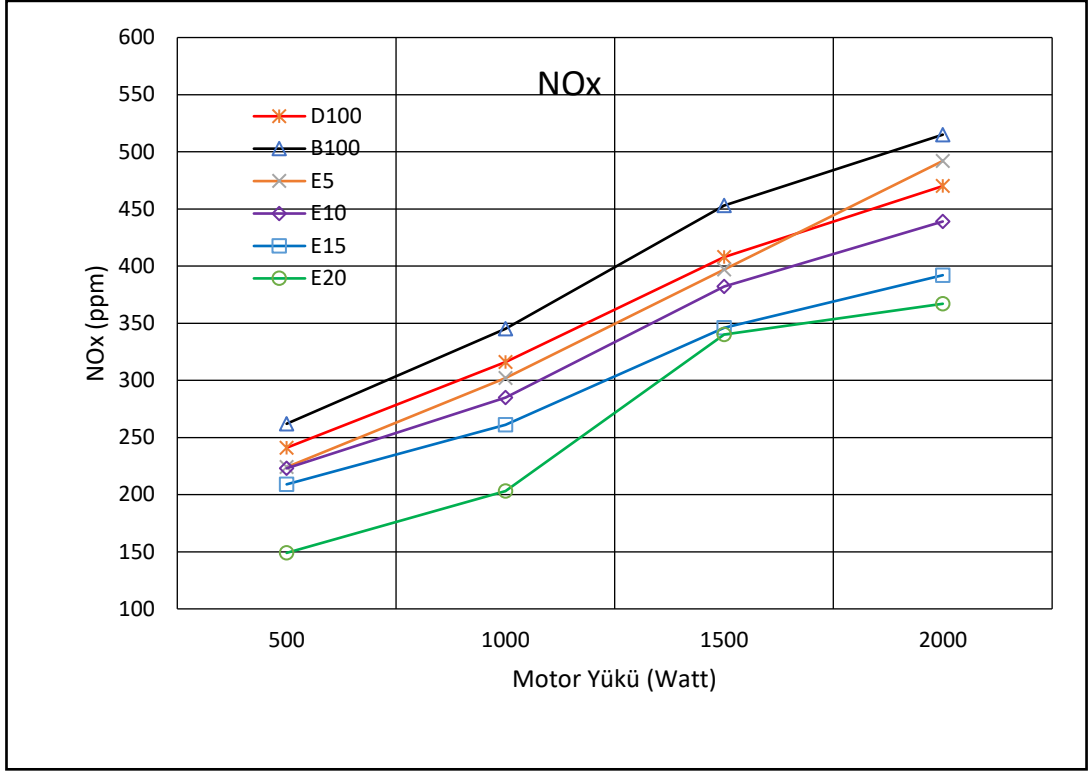
Farklı yakıtlar için Egzoz Gaz Sıcaklığının (EGS) değişimi Şekil 6.3'te verilmiştir. Artan motor yükü motorun daha fazla yakıt tüketmesine neden olduğundan motor yükü arttıkça egzoz gaz sıcaklığı da artmaktadır. Biyodizele eklenen etanol arttıkça egzoz gaz sıcaklığı da düşmektedir. E20 yakıtı kullanımıyla biyodizele göre tüm yüklerde ortalama egzoz gaz sıcaklığı %18 daha düşük seviyede görülmüştür. Etanol kullanımında EGS'nin düşük olmasının nedeni etanolün yüksek buharlaşma ısısına sahip olmasıdır.



Şekil 6. 3. Dizel, biyodizel ve biyodizel-etanol karışımlarının EGS değışimleri.

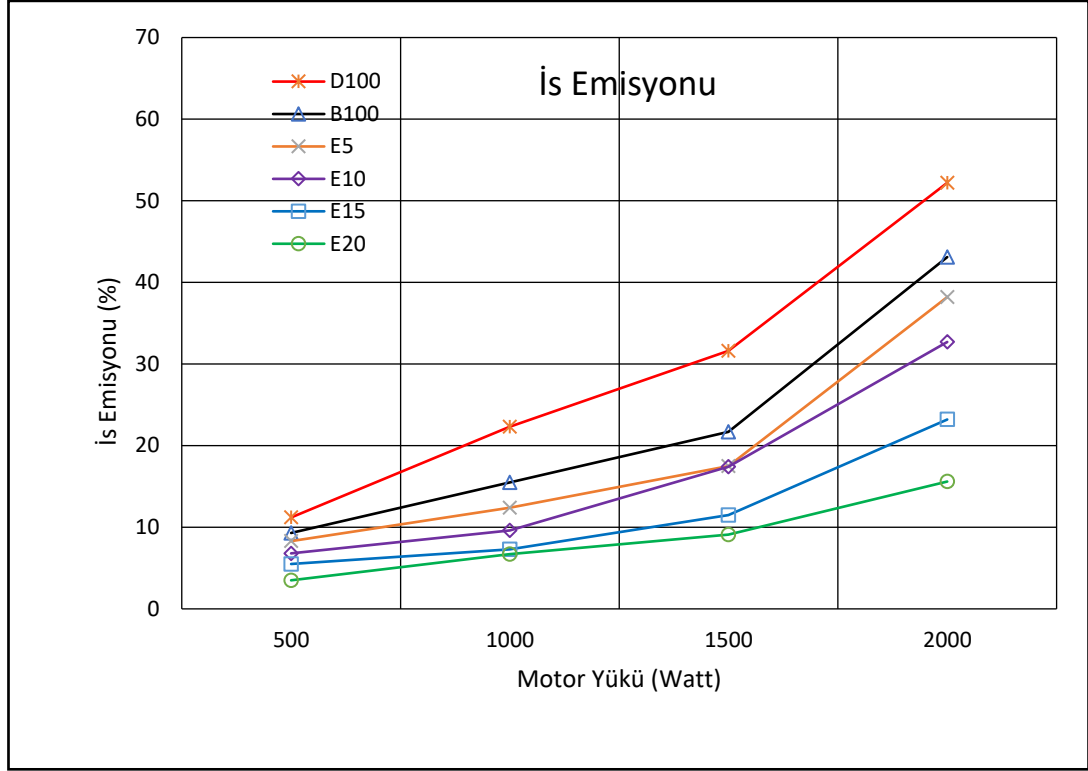
6.2. EGZOZ EMİSYONLARI

Değişik yakıtların azot oksit emisyonuna (NO_x) etkisi Şekil 6.4' de görülmektedir. Dizel motorlarda yüksek yanma sonu sıcaklığı yüksek miktarda azot oksit (NO_x) açığa çıkmasına neden olmaktadır. Özellikle 1800 °C'nin üstündeki sıcaklıklarda, emme havasındaki azot ile oksijenin birleşerek azot oksit oluşmaktadır. Şekil 6.4 incelendiğinde yük arttıkça silindir sıcaklıkları arttığından dolayı NO_x emisyonunun da arttığı görülmektedir. Saf biyodizel kullanımı dizel yakıtına göre NO_x emisyonunda ortalama %10 artışa neden olmuştur. Biyodizelin yapısında oksijen bulunması NO_x emisyonunun artmasında etkili olmaktadır. Biyodizele etanol ilavesi NO_x emisyonu bakımından olumlu neticeler vermiştir. Biyodizel içerisindeki etanol miktarı arttıkça NO_x emisyonu da azalmıştır. Bu azalmanın sebebi, etanolün yüksek buharlaşma ısısına sahip olmasından dolayı silindir sıcaklığının düşmesidir. E20 yakıtıyla biyodizele göre NO_x kirleticilerinde %32 azalma elde edilmiştir.



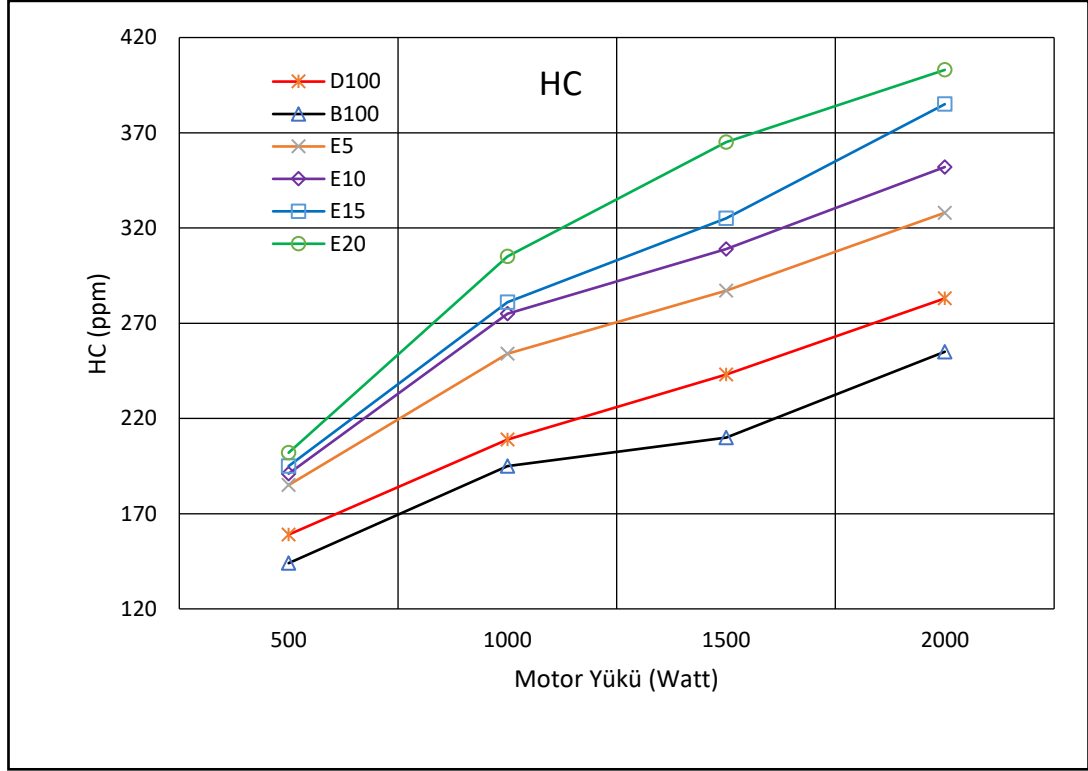
Şekil 6.4. Dizel, biyodizel ve biyodizel-etanol karışımlarının NO_x değışimleri.

Değişik yakıtların motor yüküne bağılı is emisyonu değışimleri Şekil 6.5' de verilmiştir. Dizel motorlarda artan motor yükü ile birlikte motora giden yakıt arttığı için yük arttıkça H/Y oranı azalmaktadır. H/Y oranının azalması homojen bir karışım elde edilmesini kısıtladığı için is emisyonu artmaktadır. Dizel yakıtı yerine biyodizel kullanılması durumunda is emisyonu %25 azalmıştır. Biyodizelin yapısında bulunan oksijenin is emisyonunun azalmasına katkıda bulunduğu söylenebilir. Biyodizele etanol ilavesiyle is emisyonunun da önemli düşüşler sağlanmıştır. Tüm yüklerde E20 yakıtıyla biyodizele göre is emisyonunda ortalama %58 oranında düşme elde edilmiştir. Düşük is emisyonunun sebebi; etanolün daha düşük C/H oranına sahip olması ve etanolün yapısında oksijen bulunmasıdır.



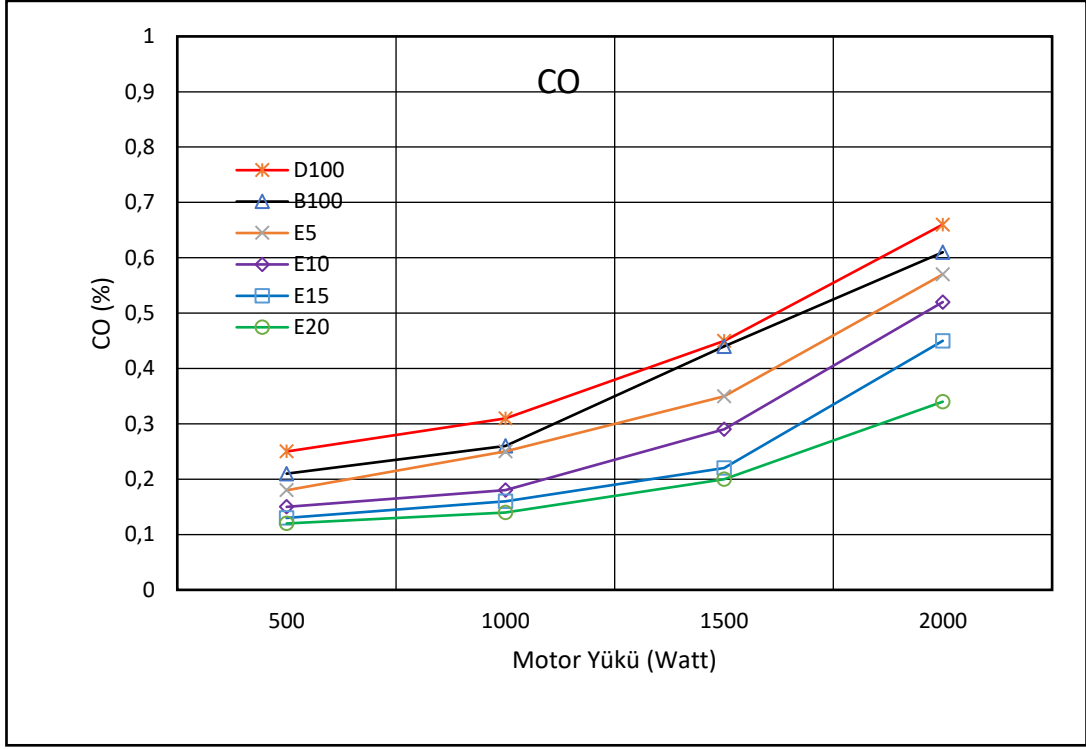
Şekil 6.5. Dizel, biyodizel ve biyodizel-etanol karışımlarının ıs emisyonu değışimleri.

Şekil 6.6' da farklı yakıt türlerinin HC emisyonu değışimleri verilmiştir. HC yanmamış yakıttır. Dizel motorlarda HC emisyonlarının artmasının nedenlerinden biri; H/Y oranının çok artması ile karışımın aşırı fakirleşmesi sonucu alevin sönmesinin meydana gelmesidir. Ayrıca düşük silindir sıcaklıkları da HC oksitlenmesini azaltmaktadır. Şekil 6.6 incelendiğinde, dizel yakıtı yerine biyodizel kullanıldığında HC emisyonunda %9 oranında azalma elde edilmiştir. Biyodizelin yapısında bulunan oksijen HC emisyonunun azalmasına katkıda bulunmaktadır. Biyodizel içerisindeki etanol oranı arttıkça HC emisyonları da artmaktadır. Etanolün yüksek buharlaşma ısısına sahip olması yanma sıcaklığını düşürmekte ve HC emisyonunu artırmaktadır. E20 yakıtı kullanımıyla HC emisyonunda ortalama %47 artma belirlenmiştir.



Şekil 6.6. Dizel, biyodizel ve biyodizel-etanol karışımlarının HC emisyonu değışimleri.

Şekil 6.7’de dizel, biyodizel ve biyodizel-etanol karışımlarının CO emisyonu değışimleri verilmiştir. Yanma sonunda CO oluşumunun sebebi H/Y oranının düşük olması nedeniyle yeterli oksijen bulunmaması ve yanmanın eksik olmasıdır. Dizel motorlarda motor yükü artmasıyla birlikte hava/yakıt oranı azalır ve bu da CO miktarını artırır. Dizel motorları yüksek H/Y oranı ile çalıştıkları için bu motorlarda CO emisyonları çok düşük seviyelerdedir. Şekil 6.7 incelendiğinde en yüksek CO emisyonunun dizel motorda elde edildiği görülmektedir. Biyodizelin CO emisyonu dizele göre %10 daha düşüktür. Biyodizele ilave edilen etanol miktarı arttıkça CO emisyonu da azalmaktadır. Etanolün oksijen atomuna sahip olması CO emisyonunun azalmasına katkıda bulunmaktadır. Biyodizel ile kıyaslandığında tüm yüklerde E20 yakıtı ile CO emisyonunda ortalama %45 düşüş izlenmiştir.



Şekil 6.7. Dizel, biyodizel ve biyodizel-etanol karışımlarının CO emisyonu değişimleri.

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

7.1. SONUÇLAR

Bu çalışmada dizel motorda petrole bağımlılığı azaltmak amacıyla dizel yakıtı yerine saf soya biyodizel yakıtı kullanılmıştır. Ayrıca dizel motorda iki önemli emisyon olan NO_x ve is emisyonlarını düşürmek amacıyla biyodizel içerisine %5, %10, %15 ve %20 oranlarında etanol ilave edilerek motor testleri yapılmıştır. Testler dizel, soya biyodizel ve biyodizel-etanol karışımları ile sabit hız ve değişik yüklerde gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonunda elde edilen performans ve emisyon bulguları aşağıda özetlenmiştir.

1. Dizel yakıtı yerine soya biyodizel kullanımı ile motor performansında herhangi bir düşme olmamıştır. Gerek dizel yakıtı gerekse biyodizel yakıtlı çalışmalarda yükleme jeneratörü maksimum seviyede yüklenerek 2000 Watt güç elde edilmiştir. Biyodizel kullanımında dizel yakıtına göre herhangi bir güç düşmesi izlenmemiştir. Her iki yakıtlı çalışmada da motor aynı gücü vermiştir. Biyodizel yakıtı ile çalışmada dizel yakıtına göre ÖYT de %15 artma, efektif verimde %3 azalma kaydedilmiştir.
2. Dizel yakıtı yerine biyodizel kullanılması durumunda is emisyonu %25, HC emisyonunda %9 ve CO emisyonu %10 daha düşük çıkmıştır. Diğer taraftan saf biyodizel kullanımı dizel yakıtına göre NO_x emisyonunda ortalama %10 artışa neden olmuştur.
3. Biyodizel yakıtının içerisine %5, %10, %15 ve %20 oranlarında etanol katılarak motor yüklenmiştir. Biyodizel-etanol karışımlarında dizel yakıtına göre herhangi bir güç düşmesi görülmemiştir. Deney sonuçları etanolün dizel motorlarda dizel

yakıtına %20 orana kadar katılarak kullanılabilceğini göstermektedir. Bu orana kadar motorun çalışmasında herhangi bir düzensizliğe rastlanmamıştır. Ancak daha yüksek etanol oranlı çalışmalarda motorda düzensiz çalışma izlenmiştir.

4. Biyodizel ve biyodizel-etanol karışimli çalışmalarda en yüksek efektif verim E5 (%5 Etanol+%95 biyodizel) yakıtıyla elde edilmiştir. E5 yakıtı elde edilen efektif verim biyodizele göre yaklaşık %2 daha fazladır. Karışimdaki etanol oranı daha fazla arttıkça verim de azalmıştır. E10, E15 ve E20 yakıtlarının efektif verimi biyodizel yakıtı göre daha düşük tespit edilmiştir. Bu yakıtlar biyodizelden efektif verim açısından %1-2 daha düşük performans göstermiştir.
5. Etanol içeren karışım yakıtla çalışıldığında ÖYT de artmaktadır. E20 yakıtıyla çalışmada biyodizele göre tüm yüklerde ÖYT ortalama olarak %7 artmıştır.
6. Biyodizele etanol ilavesiyle emisyonlarda önemli iyileşmeler elde edilmiştir. Biyodizel yakıtına %20 oranında etanol eklenmesiyle is emisyonu %58, NOx emisyonu %32 ve CO emisyonu %45 daha düşük çıkmıştır. Diğer taraftan etanol kullanımı sadece HC emisyonunu artırmıştır. %20 etanol içeren karışım yakıtı kullanımı biyodizel yakıtına göre HC emisyonunda ortalama %47 artışa neden olmuştur.
7. Çalışmanın sonuçlarına göre; biyodizele etanol eklenmesiyle motor performans parametrelerinde düşme olmadan, NOx, is ve CO emisyonlarında önemli iyileşmeler elde edilebildiği söylenebilir.

7.2. ÖNERİLER

1. Etanol-biyodizel yakıt karışımı ile çalışan bir dizel motorda püskürtme şekli, püskürtme avansı ve püskürtme basıncı değişiminin karışım yakıtın değişen özelliklerine göre optimize edilmesiyle motor performansı ve emisyonları daha fazla iyileştirilebilir.

2. Alkol-biyodizel yakıt karışımlarının elektronik kontrollü dizel motorlarda kullanılabilirliği araştırılabilir.
3. Alkol kullanan dizel motorlarda alkolün motor parçaları üzerindeki aşındırıcı etkisi araştırılabilir.
4. Alkol yakıtlar yüksek buharlaşma ısısı nedeniyle HC emisyonunu artırmaktadır. HC emisyonunu azaltmak amacıyla bazı çalışmalar yapılabilir.
5. Gerek biyodizel gerekse etanol gelecekte karşılaşılabilecek petrol kriz dönemlerinde, dizel yakıtı alternatif olarak, yerli bitkisel kaynaklardan üretilebilir ve kullanılabilir.
6. Dizel motorlarda emisyonları iyileştirmek amacıyla yakıtı alkol ilavesi egzoz kontrol sisteminin emisyon yükünü azaltabilir.

KAYNAKLAR

- Acaroğlu, M., Aydoğan, H., Özçelik, E., “Yakıtlar ve Yanma”, *Nobel Yayınları*, Ankara, 159, (2018).
- 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)
- Alptekin, E., Çanakçı, M., “Biyodizel ve Türkiye’deki Durumu”, *Mühendis ve Makine*, 561, 57-64, (2006).
- Altın, R., “Bitkisel Yağların Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılmasının Deneysel 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).
- Aydın, F. ve Acaroğlu, M., “İçten Yanmalı Motorlarda LPG ve Doğalgaz Sistemlerinin Karşılaştırılması” *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09)*, Karabük, 1-6 (2009).
- Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., “İçten Yanmalı Motorlar, Cilt 1”, *Teknik Eğitim Vakfı Yayını-2*, Ankara, 212-213 (1992).
- Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., “Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği”, *Teknik Eğitim Vakfı Yayını-3*, Ankara, 60-116, (1992).
- Can, Ö., Çelikten, İ. ve Usta, N., “Etanol Karışımli Motorin Yakıtının Dizel Motoru Egzoz Emisyonlarına Etkisi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11 (2): 221-223, (2005).
- 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).

Çelik, M. B., “Metanol-Benzin Karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, (1994).

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).

Ejder, B., “Etanol-Dizel, Biyodizel-Dizel Yakıt Karışımlarının Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 1-50 (2007).

Ejder, B., “Etanol-Dizel, Biyodizel-Dizel Yakıt Karışımlarının Kullanımının Motor Performansına Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-50 (2007).

Gawale, G. R., Srinivasulu, G. N., “Experimental Investigation of Ethanol/Diesel And Ethanol/Biodiesel on Dual Fuel Mode HCCI Engine for Different Engine Load Conditions”, *Fuel*, 263, 116725 (2020).

Geng, L., Bi, L., Li, Q., Chen, H., Xie, Y., “Experimental Study on Spray Characteristics, Combustion Stability, And Emission Performance of a CRDI Diesel Engine Operated With Biodiesel–Ethanol Blends”, *Energy Reports*, 7: 904–915 (2021).

Gerpen J. V., Peterson C. L., Goering C. E., “Biodiesel: An Alternative Fuel for Compression Ignition Engines”, *Agricultural Equipment Technology Conference*, Louisville, Kentucky, USA, 1-22, 11-14 February (2007).

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

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, (2018).

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).

Hulwan, D. B., Joshi, S. V., “Performance, Emission And Combustion Characteristic of a Multicylinder DI Diesel Engine Running on Diesel–Ethanol–Biodiesel Blends of High Ethanol Content”, *Applied Energy*, 88: 5042–5055 (2011).

İnternet 1: Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, “Biyodizel Kullanımının Çevre İçin Önemi”, https://www.emo.org.tr/ekler/5aa4bd09c07d8b2_ek.pdf, (2020).

İnternet 2: Mühendistan Ekibi, “Hidrojen Üretim Yöntemleri Nelerdir? Hidrojen Nasıl Üretilir?”, <https://muhendistan.com/hidrojen-uretim-yontemleri-nelerdir-hidrojen-nasil-uretilir/>, (2021).

İnternet 3: “Egzoz Emisyon Cihazı Teknik Özellikleri”, <https://www.bilsaltd.com/egzoz-emisyon-cihazlar>, (2021).

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).

Kandasamy, S. K., Selvaraj, A. C., Rajagopal, T. K. R., “Experimental Investigations of Ethanol Blended Biodiesel Fuel on Automotive Diesel Engine Performance, Emission And Durability Characteristics”, *Renewable Energy*, 141, 411-419 (2019).

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

Karabektaş, M., Ergen, G., Soya Yağı Metil Esterinin Motor Performans Karakteristikleri ve NOx Emisyonları Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, *SAÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 11, 1, 21-26 (2007).

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).

Labeckas, G., Slavinskas, S., “Study of Exhaust Emissions of Direct Injection Diesel Engine Operating on Ethanol, Petrol and Rapeseed oil Blends”, *Energy Conversion and Management*, 50, 802-812 (2009).

Madiwale, S., Karthikeyan, A., Bhojwani, V., “Properties Investigation and Performance Analysis of a Diesel Engine Fuelled with Jatropha, Soybean, Palm and Cottonseed Biodiesel Using Ethanol as an Additive”, *Materials Today: Proceedings*, 5: 657–664 (2018).

Melikoğlu, M., Albostan, A., “Türkiye’de Biyoetanol Üretimi ve Potansiyeli”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* Cilt 26, No 1, 151-160, (2011).

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).

Motamedifar, N., Shirneshan, A., “An Experimental Study of Emission Characteristics from Cylindrical Furnace: Effects of Using Diesel-Ethanol-Biodiesel Blends and Air Swirl”, *Fuel*, 221: 233–239 (2018).

Noorollahi, Y., Azadbakht, M., Ghobadian, B., “The Effect of Different Diesterol (Diesel-Biodiesel-Ethanol) Blends on Small Air-Cooled Diesel Engine Performance and its Exhaust Gases”, *Energy*, 142: 196-200 (2018).

Öğüt, H., ve Oğuz, H., “Üçüncü Milenyum Yakıtı Biyodizel”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 1- 25 (2006).

Örs, A., “Biyodizel-Bütanol Karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, (2016).

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).

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).

Rakopoulos, D.C., Rakopoulos, C.D., Giakoumis E.G., Dimaratos, A.M. And Kyritsis D.C., “Effects of Butanol–Diesel Fuel Blends on The Performance and Emissions of a High-Speed DI Diesel Engine”, *Energy Conversion and Management*, 51: 1989-1997 (2010).

Randazzo, M. L., Sodr , J. R., “Exhaust Emissions from a Diesel Powered Vehicle Fuelled by Soybean Biodiesel Blends (B3–B20) with Ethanol as an Additive (B20E2–B20E5)”, *Fuel*, 90: 98–103 (2011).

Safgönül, B., Ergeneman, M., Arslan, H. E. ve Soruşbaş, C. “İçten Yanmalı Motorlar”, *Birsen Yayınevi*, Ankara, 192-200 (1999).

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).

Solak, S., “Biyodizel/Lpg Çift Yakıtlı Bir Motorda Püskürtme Zamanının Performans Ve Emisyonlara Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, 19, 2003.

Song, C. L., Zhou, Y. C., Huang, R. J., Wang, Y. Q., Huang, Q. F., L , G., Liu, K. M., “Influence of Ethanol–Diesel Blended Fuels on Diesel Exhaust Emissions and

Mutagenic and 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).

Şimşek, D., Soya Yağı Metil Esterinin Değişik Püskürtme Basınçlarında Motor Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 47, (2010).

U.S. DOE (Department of Energy) “Biodiesel Basics, Biodiesel Handling and Use Guidelines” *DOE, DOE/GO-102004-1999*, 4, 2004.

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).

Vezir, A., “Metanol-Benzin Karışımlarının MgO-ZrO₂ Termal Bariyer Çemberli Bir Motorda Performans ve Emisyonlara Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 10-20, 53-92 (2006).

Wei, L., Cheung, C. S., Ning, Z., “Effects of Biodiesel-Ethanol and Biodiesel-Butanol Blends on The Combustion, Performance and Emissions of a Diesel Engine”, *Energy*, 155: 957-970 (2018).

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).

Yılmaz, A., Soya Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarda Yakıt Olarak Kullanımının Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, 71, 86 (2006).

Yılmaz, 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).

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 Gazı Sıcaklığı (°C)
500	25,2	336,1	77
1000	26,3	322	92
1500	26,7	317,2	105
2000	26,9	314,8	115

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

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
500	24,6	388,4	66
1000	25,5	376	79
1500	26,2	370,3	92
2000	26,3	365,4	103

Çizelge EK A.3. E5 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
500	24,9	396,7	74
1000	25,9	382,7	83
1500	26,5	372,5	87
2000	26,6	371,1	98

Çizelge EK A.4. E10 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
500	24,5	398,2	70
1000	25,4	388,5	79
1500	26,1	379,4	82
2000	26,4	375,6	94

Çizelge EK A.5. E15 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
500	24,4	401,1	65
1000	25,3	395,5	71
1500	26	383,4	75
2000	26	380,5	86

Çizelge EK A.6. E20 yakıtı ile elde edilen performans değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	Efektif Verim (%)	Özgöl Yakıt Tüketimi (g/kWh)	Egzoz Gazı Sıcaklığı (°C)
500	24,1	417,6	62
1000	25,2	402,7	65
1500	25,8	391,9	71
2000	26	391,9	81

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

Motor Yüğü (Watt)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NOx (ppm)
500	159	0,25	11,2	241
1000	209	0,31	22,3	316
1500	243	0,45	31,6	408
2000	283	0,66	52,2	470

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

Motor Yüğü (Watt)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NOx (ppm)
500	144	0,21	9,3	262
1000	195	0,26	15,5	345
1500	210	0,44	21,7	453
2000	255	0,61	43,1	515

Çizelge EK A.9. E5 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NOx (ppm)
500	185	0,18	8,3	224
1000	254	0,25	12,4	302
1500	287	0,35	17,5	397
2000	328	0,57	38,2	492

Çizelge EK A.10. E10 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NOx (ppm)
500	191	0,15	6,8	223
1000	275	0,18	9,6	285
1500	309	0,29	17,4	382
2000	352	0,52	32,7	439

Çizelge EK A.11. E15 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NOx (ppm)
500	195	0,13	5,5	209
1000	281	0,16	7,3	261
1500	325	0,22	11,5	346
2000	385	0,45	23,2	392

Çizelge EK A.12. E20 yakıtı ile elde edilen emisyon değerleri.

Motor Yüğü (Watt)	HC (ppm)	CO (%)	İS (%)	NOx (ppm)
500	202	0,12	3,5	149
1000	305	0,14	6,7	203
1500	365	0,20	9,1	340
2000	403	0,34	15,6	367

ÖZGEÇMİŞ

Hamit ŞAHİN; ilk ve orta öğrenimini Samsun merkezde tamamladı. Bafra Endüstri Meslek Lisesinden mezun olduktan sonra 2001 yılında Gazi Üniversitesi Çorum MYO Otomotiv bölümüne girdi ve 2003 yılında buradan mezun oldu. 2004 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Öğretmenliği Bölümüne girdi. 2007 yılında Teknik Eğitim Fakültesinden mezun oldu. Halen; 2019 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında başlamış olduğu yüksek lisans programını sürdürmektedir.