



T.C.

BATMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR DİZEL MOTORDA HİNT YAĞI BİYODİZELİ VE DİETİL
ETER KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSINA VE
EMİSYONLARA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Hüseyin AZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Aralık-2017

BATMAN

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Hüseyin AZİ tarafından hazırlanan “Bir dizel motorda Hint yağı biyodizeli ve dietil eter kullanımının motor performansına ve emisyonlara etkisinin araştırılması” adlı tez çalışması 27/12/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

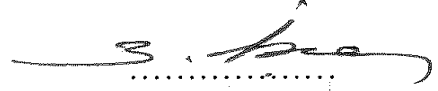
Başkan

Doç. Dr. Hüseyin AYDIN



Danışman

Doç. Dr. Bahattin İŞCAN

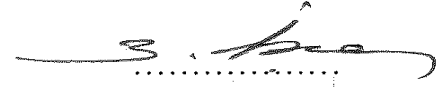


Üye

Yrd. Doç. Dr. Orhan ARPA



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Doç. Dr. Bahattin İŞCAN
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.



Hüseyin AZİ

Tarih: 27/12/2017

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİR DİZEL MOTORDA HİNT YAĞI BİYODİZELİ VE DİETİL ETER KULLANIMININ MOTOR PERFORMANSINA VE EMİSYONLARA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Hüseyin AZİ

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Jüri

Doç. Dr. Hüseyin AYDIN

Doç. Dr. Bahattin İŞCAN

Yrd. Doç. Dr. Orhan ARPA

Aralık 2017, 83 Sayfa

Enerjiye duyulan ihtiyaç, dünyadaki hızlı nüfus artışı ve teknolojik gelişmelere bağlı olarak artmaktadır. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan zararlı emisyonların önemli bir çevre sorunu haline gelmesi, kullanılan enerji rezervlerin yakın bir tarihte (2050) bitecek olması araştırmacıları alternatif yakıtlara yöneltmiştir. Alkoller, yağlardan elde edilen biyodizel yakıtı alternatif dizel yakıtları olarak kullanılabilir. Bu çalışmada dietil eter ilaveli hint yağı biyodizeli hacimsel olarak farklı oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak dizel motorunda analizi gerçekleştirilmiştir. Transesterifikasyon yöntemiyle hint yağından biyodizel elde edilmiş ve dietil eter ile hacimce %10 ve %20 oranında karışımlar hazırlanmıştır. D100, B100, D50B50, B90DEE10, B80DEE20, D45B45DEE10 ve D40B40DEE20 (%40 dizel, %40 biyodizel ve %20 dietil eter) içerdikleri yakıt oranlarına göre isimlendirilmiştir. Deneyler dört zamanlı, üç silindirli bir dizel motorunda sabit devirde ve değişken (boşta-3kw-5kw-7kw) yük şartlarında yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışma sonucunda bu yakıtların kullanımından emisyon ve performans parametrelerindeki değişimler ortaya konulmuştur. Deneysel sonuçlara göre; dizel yakıtına oranla (analizler için referans yakıtı dizel yakıtıdır) tüm yüklerde özgül yakıt tüketimi %5,4 ile %29,4 oranları arasında artmıştır, ısı verimi en yüksek yakıt hint yağı biyodizeli olmuştur, %0,3 ve %1,7 arasında değişen bir iyileşme gerçekleşmiştir. Egzoz gazı sıcaklığında düşüşler gerçekleşmiştir, kütleli yakıt tüketimi %5,4 ile %29,3 oranları arasında artmıştır. CO emisyonları yüksek çıkmıştır, CO₂ emisyonları birbirine yakın değerler vermiştir. HC emisyonları artmıştır, yük arttıkça yüksek olan duman emisyonları azalmıştır. Yük arttıkça NO_x emisyon değerleri artmıştır.

Anahtar Kelimeler: alternatif yakıt, hint yağı biyodizeli, dietil eter, transesterifikasyon, dizel motor.

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION ON THE EFFECT OF CASTOR OIL BIODIESEL AND DIETHYL ETHER USEGE İN A DIESEL ENGINE ON ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS

Hüseyin AZİ

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN
MECHANICAL ENGINEERING**

Jury

Assoc. Prof. Dr. Hüseyin AYDIN

Assoc. Prof. Dr. Bahattin İŞCAN

Assist. Prof. Dr. Orhan ARPA

December 2017, 83 Pages

The need for energy increases with rapid population growth and technological developments around the world. The harmful emissions from motor vehicles become a major environmental problem-leading researcher to explore the alternative fuels because energy resources will be exhausted in the near future (2050). Alcohols and biodiesel fuels obtained from oils can be used as alternative diesel fuels. In this study, diesel engine analysis was established by blending the diesel fuel with diethyl ether and biodiesel in different volumetric ratios. Biodiesel was obtained from castor oil by transesterification method and the mixtures of 10% and 20% by volume were prepared by diethyl ether. The biodiesel fuels are denoted as D100, B100, D50B50, B90DEE10, B80DEE20, D45B45DEE10 and D40B40DEE20 (%40 diesel, %40 biodiesel and %20 diethyl ether) according to their fuel ratios. The tests were performed on a four-stroke, three-cylinder diesel engine at constant speed and different loading ratios (idle-3kW-5kW-7kW). By the way, an experimental study was carried out to investigate the changes in emission and performance parameters by using those fuels. According to experimental results; brake specific fuel consumption increased from %5,4 to %29,4 for all loading ratios compared to diesel fuel (the reference fuel for analysis is diesel fuel) and the highest thermal efficiency was achieved with biodiesel as an improvement of between %0,3 and %1,7. There was a decrease in exhaust gas temperature and mass fuel consumption increased between %5,4 and %29,3. CO emissions were high and CO₂ emissions were close to each other. HC emissions increased, while the higher smoke emissions decreased with increase of engine load. NO_x emission values increased as the load increased.

Keywords: alternative fuel, castor oil biodiesel, transesterification, diethyl ether, diesel engine.

TEŐEKKÖR

Bu alıŐma için tÖm bilgi birikimini benim paylaŐan ve tezimin her aŐamasında bana rehberlik eden, hem lisans hem de yÖksek lisans çalıŐmalarımda desteğini her zaman gÖrdÖğÖm değerli danıŐmanım Doç. Dr. Bahattin İŞCAN'a, her durumda yardımımıza gelen ve bu çalıŐmanın gerçekleŐmesi için gerekli koŐulların oluŐmasında yardımcı olan Doç. Dr. HÖseyin AYDIN'a, bu çalıŐmanın yapılması esnasında bana her zaman yardımcı olan Doç. Dr. Őehmus ALTUN, ArŐ. Gör. Hasan OKTAY, Ahmet AYDIN ve Yahya ÇELEBİ'ye, zamanını ayırıp beni dinleyen jÖri üyelerine teŐekkÖrlerimi sunarım.

Ayrıca, her tÖrlÖ ihtiyaımda yanımda olan aileme çok teŐekkÖr ederim. Bu çalıŐmanın herkese hayırlı olmasını dilerim.

HÖseyin AZİ

Batman, 2017

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. DIN- 51601'e göre dizel yakıtından istenen özellikler -----	4
Tablo 1.2. Dizel yakıt tiplerine göre bazı yakıt özellikleri -----	9
Tablo 1.3. Türkiye motorin standardı-----	9
Tablo 2.1. 2015'te Dünyada en fazla biyodizel üretimi yapan ülkeler -----	22
Tablo 2.2. İllere göre biyodizel üretim lisansı alan firma sayısı-----	23
Tablo 2.3. Biyodizelin yapısındaki yağ asitlerin formülleri-----	26
Tablo 2.4. Bitkisel Yağların Yağ Asidi İçerikleri-----	26
Tablo 2.5. Uluslararası standartlarda viskozite sınır değerleri -----	28
Tablo 2.6. Uluslararası standartlarda yoğunluk sınır değerleri -----	29
Tablo 2.7. Uluslararası standartlarda parlama noktası sınır değerleri-----	32
Tablo 2.8. Hint yağının dünyadaki üretim hacmi -----	35
Tablo 2.9. Hint yağının ithalat değerleri -----	37
Tablo 2.10. Hint yağının ihracat değerleri -----	37
Tablo 2.11. Hint yağının fiziksel özellikleri -----	39
Tablo 2.12. Hint yağının yağ asidi kompozisyonu -----	40
Tablo 2.13. Çeşitli ülkelerdeki biyodizel standartları -----	42
Tablo 5.1. Deneyde kullanılan motorun teknik özellikleri -----	53
Tablo 5.2. Deney jeneratörünün özellikleri -----	53
Tablo 5.3. Capelec Cap 3200 Gaz Analiz Cihazın Teknik Özellikleri -----	55
Tablo 5.4. Karışımların adı ve yüzdeleri -----	58
Tablo 5.5. Test yakıtlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri -----	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dünyada yıllık yakıt ihtiyacı ve fosil yakıtlarla karşılaştırılması -----	1
Şekil 1.2. Dizel motorlarında yanma diyagramı -----	10
Şekil 2.1. Viskozite ölçüm cihazı -----	28
Şekil 2.2. Yoğunluk ölçüm cihazı-----	29
Şekil 2.3. Akma ve Bulutlanma noktası ölçüm cihazı -----	31
Şekil 2.4. Parlama noktası ölçüm cihazı.-----	32
Şekil 2.5. Hint yağı bitkisi ve tohumu-----	34
Şekil 2.6. Hint yağının yağ asidi bileşimi-----	40
Şekil 5.1. Deneylerin yapıldığı dizel motorlu jeneratör-----	52
Şekil 5.2. Deney test düzeneği şematik diyagramı -----	53
Şekil 5.3. Yakıt tüketimi hesaplamada kullanılan elektronik terazi-----	54
Şekil 5.4. Egzoz gazı analiz Cihazı -----	55
Şekil 5.5. Hint yağının metil alkol ile karıştırılması-----	56
Şekil 5.6. Hint yağındaki gliserolün çökmesi -----	57
Şekil 5.7. Hint yağı biyodizelin yıkanma işlemi -----	57
Şekil 6.1. Özgül Yakıt Tüketiminin değişimi -----	59
Şekil 6.2. Isıl Verimin değişimi -----	61
Şekil 6.3. Egzoz Manifold Sıcaklığının değişimi -----	63
Şekil 6.4. Kütleli yakıt tüketiminin değişimi -----	64
Şekil 6.5. CO emisyonunun değişimi-----	66
Şekil 6.6. CO ₂ emisyonunun değişimi-----	67
Şekil 6.7. HC emisyonunun değişimi-----	68
Şekil 6.8. NO _x emisyonunun değişimi-----	70
Şekil 6.9. Duman (is) emisyonunun değişimi -----	71

SİMGELER

°C	: Santigrat Derece
K	: Kelvin Sıcaklık Değeri
d/dak	: Dakikadaki Devir Sayısı
ϵ	: Sıkıştırma Oranı
°F	: Fahrenheit Sıcaklık Değeri
m	: Metre
%	: Yüzde
kg	: Kilo gram
kPa	: Kilo paskal
s	: Saniye
mm	: Milimetre
cm	: Santimetre
gr	: Gram
kJ	: Kilojoule
kmol	: Kilomol
rpm	: Dakikadaki Devir Sayısı
be	: Özgül Yakıt Tüketimi
F	: Kuvvet
j	: Joule
kW	: Kilo-Watt
M	: Döndürme Momenti (Tork)
m	: Metre
n	: Motor Devri
P	: Güç
ρ	: Özgül Ağırlık
T	: Sıcaklık
V	: Hacim
λ	: Hava Fazlalık Katsayısı
%	: Yüzde

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devleti
DEE	: Dietil eter
ASTM	: Amerikan Test ve Materyalleri Birliği
API	: Amerikan Petrol Endüstrisi
AÖN	: Alt Ölü Nokta
BYME	: Bitkisel Yağ Metil Esteri
ÖYT	: Özgül yakıt tüketimi
CO	: Karbon monoksit
CO₂	: Karbon dioksit
(C₂H₅)₂O	: Dietil eter
DIN	: Alman Standartları
EN	: Avrupa Birliği Standartları
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
HC	: Yanmamış Hidrokarbonlar
ISO	: Uluslararası Standartlar Örgütü
ONORMC	: Avusturya Standartları
PM	: Partikül Madde
KMA	: Krank Mili Açısı
KOH	: Potasyum hidroksit
KOCH₃	: Potasyum nitrat
N₂	: Azot Gazı
NaOH	: Sodyum hidroksit
NaOCH₃	: Sodyum Metoksite
NO_x	: Azot oksitler
M.Ö.	: Milattan Önce
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
TG	: Tutuşma Gecikmesi
TSE	: Türkiye Standartlar Enstitüsü
YAME	: Yağ Asidi Metil Esteri
ULSD	: Ultra Düşük Kükürtlü Dizel

İÇİNDEKİLER TABLOSU

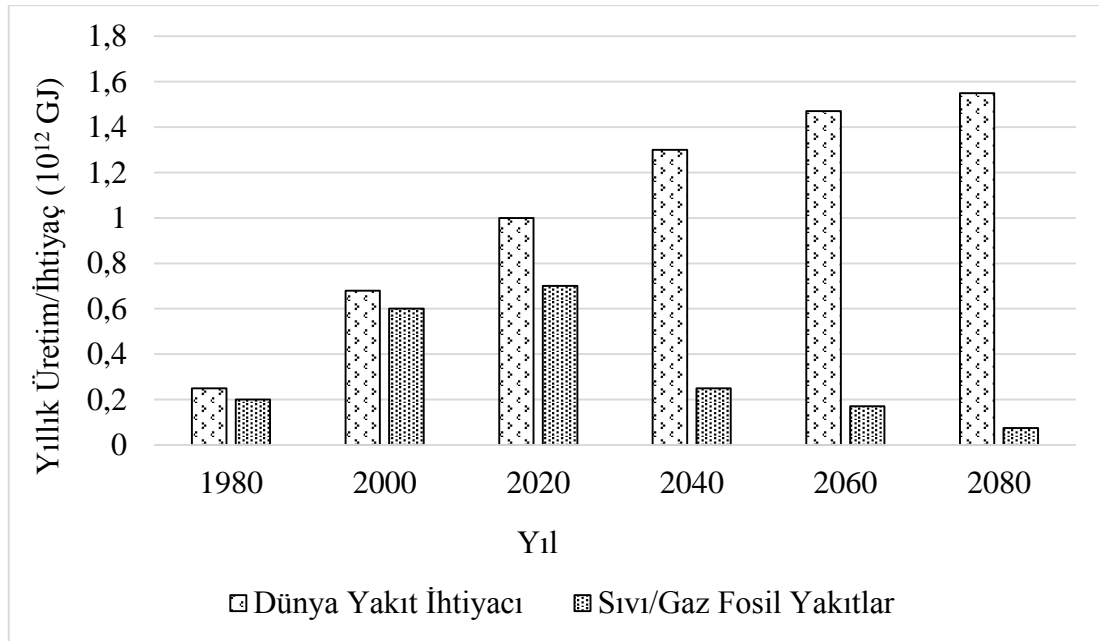
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TABLolar DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
SİMGELER	ix
KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Dizel Yakıtlar	3
1.1.1. Dizel Yakıtlarının Özellikleri.....	4
1.1.2. Dizel Yakıtların Sınıflandırılması.....	8
1.2. Dizel Motorlarında Yanma.....	10
1.3. Dizel Motorlarda Kirlenici Emisyonlar.....	13
2. BİYODİZEL	21
2.1. Dünyada Biyodizel Üretimi ve Kullanımı.....	21
2.2. Türkiye’de Biyodizel.....	23
2.3. Biyodizelin Avantaj ve Dezavantajları.....	24
2.4. Motor Yakıtı Olarak Biyodizel.....	25
2.5. Biyodizelin Fiziksel Özellikleri.....	27
2.5.1. Viskozite	27
2.5.2. Yoğunluk.....	28
2.5.3. Setan Sayısı	29
2.5.4. Isıl Değer	30
2.5.5. Akma ve Bulutlanma Noktaları	30
2.5.6. Akış Özellikleri	31
2.5.7. Parlama Noktası	32
2.6. Hint Yağı Bitkisi	32
2.6.1. Hint Yağı Bitkisi ve Özellikleri	33
2.6.2. Hint Yağı Bitkisinin Tarihçesi	33
2.6.3. Botanik Özellikleri	34
2.6.4. Yetiştirildiği Bölgeler.....	35
2.6.5. Hint Yağı.....	36
2.6.6. Hint Yağının İthalatı ve İhracatı	36
2.6.7. Hint Yağının Kullanım Alanları.....	38
2.6.8. Hint Yağının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	39
2.7. Biyodizel ile İlgili Standartlar	41
3. DİETİL ETER	44
4. LİTERATÜR	45
5. MATERYAL VE METOT	52
5.1. Deneylerde kullanılan Motorun Teknik Özellikleri	52
5.2. Hint Yağından Biyoyakıt Üretimi	56
5.3. Kullanılan Karışımlar	58

6. DENEYSSEL ÇALIŞMALAR.....	59
6.1. Motor Performans Değerleri.....	59
6.1.1. Özgül Yakıt Tüketimi.....	59
6.1.2. Isıl Verim.....	61
6.1.3. Egzoz Gaz Sıcaklığı.....	63
6.1.4. Kütleli Yakıt Tüketimi	64
6.2. Motor Emisyon Değerleri.....	66
6.2.1. Karbonmonoksit (CO) emisyonunun değişimi.....	66
6.2.2. Karbondioksit (CO ₂) emisyonunun değişimi	67
6.2.3. Hidrokarbon (HC) emisyonunun değişimi	68
6.2.4. Azot Oksit (NO _x) emisyonunun değişimi.....	70
6.2.5. Duman Emisyonu	71
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	73
8. KAYNAKLAR	77
9. ÖZGEÇMİŞ.....	83

1. GİRİŞ

Enerjiye duyulan ihtiyaç, dünyadaki hızlı nüfus artışı ve teknolojik gelişmelere bağımlı olarak artmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerin daha fazla enerjiye ihtiyaç duyması ve kullanılan enerji kaynaklarının çevre kirliliğini aşırı şekilde artırması yenilenebilir enerjiye duyulan ihtiyacı artırmıştır.

Günümüzde kullanılan enerji iki ana kaynaktan karşılanmaktadır. Bunlardan birincisi petrol, doğal gaz, kömür gibi fosil kökenli yakıtlar, ikincisi ise güneş, hidrojen, biyokütle, rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Ancak ihtiyaç duyulan enerjinin büyük bir bölümü fosil kökenli yakıtlardan elde edilmektedir (%70 fosil kökenli yakıtlar, %30 yenilenebilir enerji kaynakları). Fosil kökenli yakıtlarsa; teknolojinin ilerlemesi, sanayileşmenin hızlanması ve nüfusun artmasına bağlı olarak aşırı kullanım sonucu giderek tükenmeye başlamakta ve gelecekte ihtiyacı karşılayamaz duruma gelmesi düşünülmektedir [1].



Şekil 1.1: Dünya yakıt ihtiyacı ve fosil yakıtlarla karşılaştırılması

Şekil 1’de görüldüğü gibi yakın gelecekte fosil yakıtlardan beklenen enerji talebi beklentileri karşılayamayacak duruma gelecektir. Alternatif enerji kaynaklarının rolü burada ortaya çıkacaktır. Fosil yakıtları tükendikten sonra enerji ihtiyacını giderecek bir alternatif enerjiye ihtiyaç vardır.

Petrol esaslı yakıtların kullanılmasında dikkat edilmesi gereken diğer bir konu ise artan çevre kirliliğidir. Petrol esaslı yakıtların kullanımı sonucu insan solunum sistemi, sinir sistemi ve çeşitli deri hastalıklarına yol açan CO, CO₂, HC, is ve NO_x gibi zararlı emisyonlar oluşmaktadır. Bu zararlı emisyonlar ayrıca hayvanların sağlığına, bitki örtüsüne ve ağaçlara da zarar vermektedir. Asit yağmurları da bu zararlı emisyonların bir kısmının etkisiyle gerçekleşmektedir. Bundan dolayı da hem insan sağlığına hem de çevreye daha az zararlı alternatif yakıtların araştırılması kaçınılmaz olmuştur [2].

Benzin motorlarına kıyasla dizel motorlarında düşük karbonmonoksit ve hidrokarbon emisyon değeri, mukavemet, yüksek verim ve yüksek moment gibi üstünlükleri sebebiyle son yıllarda daha yaygın kullanılmaya başlanmıştır. Ancak, dizel motorları yüksek oranda is, azot oksit (NO_x) ve katı parçacık emisyonu üretirler. Dizel motorlarında zararlı egzoz emisyonlarını azaltmak için bazı yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemler içinde konvansiyonel yakıtlarının özelliklerinin iyileştirilmesi ve yenilenebilir alternatif yakıtların kullanımı, kirlenici emisyonlarının azaltılması ve gelecekteki enerji ihtiyacının karşılanması için umut verici bir çözüm olarak değerlendirilmektedir [3].

Hint yağı botanikte ismi Ricinus Communis olan, Euphorbiaceae ailesine mensup hint yağı bitkisinden ekstraksiyonla elde edilir. Hint yağının anavatanı Hindistan olup diğer önemli üreticileri Çin ve Brezilyadır [4]. Ülkemizde endüstriyel ölçekte hint yağı üretimi gerçekleştirilirse de ithal edilerek çeşitli sektörlerde kullanıldığı bilinmektedir [5]. Hint yağı, yapısında neredeyse %90 oranında bulunan risinoleik asit nedeni ile diğer yağlardan farklı çeşitli kimyasal ve fiziksel özelliklere sahiptir. Bundan ötürü hint yağından üretilen biyodizel de farklı birtakım özellikler taşır.

Hint yağı biyodizeli, hint yağının alkollerle tüm sıcaklıklarda her oranda karışabilir olmasından dolayı düşük sıcaklıkta, düşük enerji tüketimi ile üretilebilir. Bununla birlikte yüksek viskozite ve bağıl yoğunluğa sahip olduğundan biyodizel için belirlenmiş yakıt standartlarını karşılayamaz. Bu nedenle, hint yağı biyodizeli farklı yağlardan elde edilen

düşük viskoziteye sahip biyodizele dönüştürülmeli ya da petrol dizeli ile belirli oranlarda karıştırılarak kullanılabilir.

Oksijen içeren yakıtların dizele katkı olarak kullanımı; özellikle is ve PM emisyonlarının düşürülmesinde ve yanmaya olumlu katkı sağlayarak motor performansının artırılmasında, motor tasarımında önemli değişiklikler yapılmadan uygulanabilen etkili ve ekonomik bir yöntem olarak görülmektedir. Oksijenatlar içerisinde dietil eter (DEE) yüksek setan sayısı ve yüksek oksijen içeriği sayesinde motorin katkısı olarak değer kazanmaktadır. Dietil eter etanolden üretildiği için yenilenebilir biyoyakıt olarak ta değerlendirilmektedir. Ayrıca normal atmosfer şartlarında sıvı halde olması sebebiyle istenen oranda motorine ve biyodizele kolayca ilave edilebilmektedir.

Bu çalışmada, hint yağı biyodizeli-DEE-motorin karışımlarının direkt püskürtmeli 3 silindirli bir dizel motorunun performansına ve egzoz emisyonlarına etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, farklı oranlardaki hint yağı biyodizeli-DEE-motorin karışımları ve motorinle elde edilen performans ve emisyon değerleri birbiriyle karşılaştırılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

1.1. Dizel Yakıtlar

Dizel yakıtı ham petrolün damıtma (destilasyon) işleminde destilasyon kulesinde yaklaşık olarak 160°C'de başlayıp tamamı 391°C'de buharlaşan ve genel olarak içten yanmalı motorlarda kullanılan bir yakıttır. Karbon atom sayısı 8 ile 16 arasında değişmektedir ve bünyesinde sıvı HC bileşenlerini bulundurur. Ayrıca bünyesinde kükürt, azot, kül ve su bulundurur. Türkiye'de genel olarak mazot veya motorin olarak isimlendirilmektedir [6].

Tablo 1.1 DIN- 51601 standartına göre dizel yakıtından istenen özellikler [6]

	Parametreler	Deney Normu
Hacimsel su miktarı	%0,1	DIN 51777
15°C’de özgül ağırlık	0.820-0,860 g/ml	DIN 51757
Kaynama olayı hacimsel olarak 360°C’ye kadar en az	%90	DIN 51752
20°C’de viskozite	1.8-10 mm ² /s	DIN 51550
Parlama noktası	55°C	DIN 51755
Filtrasyon	Yazın 0°C/Kışın -12°C	DIN 51770
Kükürtün maksimum kütleli yüzdesi	%1,0	DIN 51768
Koklaşma artığının kütleli maksimum yüzdesi	%0,1	DIN 51551
Kütlesinde değişiklik olarak çinkoya karşı davranışı	4 mg	DIN 51779
Tutuşma kabiliyeti (en küçük setan sayısı olarak)	40 SS	DIN 51773
Kül miktarı, kütleli yüzde olarak maksimum	% 0,02	DIN 51575

1.1.1. Dizel Yakıtlarının Özellikleri

1.1.1.1. Setan Sayısı

Dizel yakıtında en önemli özellik setan sayısıdır. Yakıtın dizel motorunda sıkıştırma sonunda ısınan havanın içerisinde kendi kendine tutuşma özelliğini belirleyen bir sayıdır. Setan sayısının fazla olması tutuşma gecikmesi periyodunu azaltmakta ve yanma odasında biriken yakıtın aniden yanmasıyla oluşan hızlı basınç artışını önlemektedir. Tutuşma gecikmesinin kısılması, yakıt ve havanın silindir içerisinde homojen karışım olması için ihtiyaç duyulan zamanı kısaltır. Tutuşma gecikmesinin uzaması ise yakıt ve havanın silindir içerisinde daha iyi karışmasına olanak tanır. Tutuşma gecikmesinin aşırı uzamasında ise kontrolsüz basınç artışı ve dizel vuruntusu oluşur. Özellikle düşük motor yüklerinde, düşük setan sayısı ile birlikte daha da uzayan tutuşma gecikmesi silindir içerisindeki dolgunun aşırı fakirleşmesinden dolayı yanmayı tam olarak gerçekleştiremez. Bu durum özellikle HC emisyonlarının artmasına sebep olur.

Tutuşma gecikmesinin kısalması ile birlikte kontrolsüz yanma periyodundaki basınç artış hızı oluşur. Bu sonuçlar NO_x emisyon oluşumu açısından önem teşkil eder [7].

Yakıtın setan sayısı, yakıtın fiziksel özelliklerinin yanında, yakıtın aromatik içeriği ve kaynama noktası ile doğrudan ilişkilidir. Düşük setan sayılı yakıt, daha fazla aromatik ve ağır hidrokarbon içerir ve yakıt yoğunlukları yüksektir. Yüksek yakıt yoğunluğu, aynı motor çıkış gücü için hacimsel yakıt tüketiminin azalması anlamına gelir. Dolayısıyla setan sayısının artışı, hacimsel yakıt tüketimini de artırır [7]. Çok düşük setan sayısına sahip yakıtla çalışan motorda, tutuşma gecikmesi süresi uzar ve bu durum yanma süresince oluşan basıncın artış hızının yüksek olmasına neden olur. Bu nedenle, düşük setan sayılı yakıtlarla çalışan motorlarda soğuk havada ilk çalıştırmada zorlanma, yanma gürültüsünde artış ve emisyonlarda olumsuzluklar meydana gelir. Ayrıca düşük setan sayılı yakıt, tutuşma gecikmesini artıracığından motorun püskürtme zamanlaması da etkilenir. Bu yüzden, çok yüksek veya çok düşük setan sayısı içeren dizel yakıtlar motorun çalışmasını etkilediğinden, setan sayısının belli aralıklarda olması istenir [8].

Setan sayısının motor performansı ve emisyonlara etkisini incelemek için yapılan çalışmalarda, yüksek setan sayılı yakıtların HC, NO_x ve motor çalışma gürültüsünü azaltmasının yanında is emisyonlarını da bir miktar artırdığı ifade edilmiştir. Setan sayısının artışı, yanma sonu sıcaklığını azalttığından NO_x emisyonlarını azaltır. Bunun yanında setan sayısının artışı ile CO emisyonların da bir miktar azalmalar tespit edilmiştir. Ancak setan sayısının daha fazla artışı, yakıtın silindir içerisinde daha ilerlemeden tutuşmasını sağlayacağından, motor performansını düşürürken, is emisyonlarını da artırır [9].

Motorun tam yük koşullarında yüksek setan sayısının HC emisyonlarına etkisi hemen hemen yoktur. Ancak orta ve düşük yük koşullarında yüksek setan sayılı yakıt HC emisyonlarını azaltır. Başka bir çalışmada ise yüksek setan sayılı yakıt CO ve NO_x emisyonlarını azaltırken is ve HC emisyonlarını artırmıştır. Motor gücü, motor momenti ve yakıt ekonomisi setan sayısının artışı ile çok az miktarda iyileşmektedir. Setan sayısının performans ve emisyonlar üzerindeki etkisini incelemek için yapılan çalışmalarda, sonuçlar arasında deney motorlarından kaynaklandığı düşünülen birtakım farklılıklar olsa da ortak sonuçlar göstermiştir ki setan sayısının artışı tutuşma gecikmesini, HC ve NO_x emisyonlarını azaltır [9].

Yakıtın dizel indeksi yükseldikçe kendi kendine tutuşma kabiliyet artar 45 ile 50 arasındaki setan sayısı ve dizel indeksi aşağı yukarıya aynıdır. 45'in altında değerlerde dizel indeksi setan sayısından çok küçük, üzeridekilerde ise çok büyüktür. Normal dizelin setan sayısı asgari 45 civarında olmalıdır [10].

1.1.1.2. Viskozite

Viskozite akışkanların akmaya karşı gösterdiği direnç olup, dizel motorlarının özellikle yakıt besleme ve enjeksiyon sistemlerinde önemli bir parametredir. Viskozitenin yüksek olması atomizasyonu olumsuz yönde etkilemektedir. Viskozite küçüldükçe borulardaki akış direnci azalmaktadır. Püskürtme ile oluşan yakıt demeti içindeki yakıt zerreciklerinin boyutu küçülmektedir. Dolayısıyla motorda yanma iyileşmekte ve duman emisyonları miktarı da azalmaktadır. Enjeksiyon sistemlerinin ana elemanları yakıt ile yağlandığından viskozitenin belirli bir değerden daha düşük olmaması gerekmektedir. Viskozitenin çok düşük olduğu durumlarda püskürtme sistemindeki kaçaqları artırmaktadır [14].

1.1.1.3. API Gravitesi ve Özgül Ağırlığı

Özgül ağırlıkları yüksek olan yakıtlar yapısında bulundukları yüksek orandaki karbondan dolayı daha yüksek bir enerjiyi bünyesinde bulundurlar. Dizel yakıtların özgül ağırlıkları genellikle 0,815–0,934 kg/dm³ arasında değişmektedir. Yakıtın gravitesi, API serisi içerisinde viskozite ve tutuşma kalitesinin belirlediği sınırların altında olması istenmektedir. Temel sebebi ise azami ekonomi, yüksek özgül ağırlıklı yakıtlarla elde edilmektedir.

1.1.1.4. Isıl Değer

Yanma sonucu ortaya çıkan ürünlerin, yanma öncesi referans sıcaklığa göre toplam entalpilerinin yakıt kütlesine bölünmesiyle elde edilen değer olarak ifade edilmektedir. Dizel motorlar için yanma değeri geniş bir ısıtma değerini kabul etse de kg başına ısı enerjisi yüksektir. Yakıtın ısı değeri birim hacminin veya kütlesinin verdiği enerji olarak

tanımlanır. Yakıt enerjisinin miktarının göstergesi olduğu için ısıl değerin yüksek olması istenir

1.1.1.5. Katılaşma (Akma) Noktası

Akma ya da katılaşma noktası motorun düşük sıcaklıklardaki çalışma şartlarında önem kazanmaktadır. Katılaşmanın olduğu durumlarda yanma odasında yeterince yakıt akışı olmayacağından motor çalışmayacaktır. Katılaşma noktasının sıcaklığı motorun çalışmasını keskinleştirmek için ortam sıcaklığının 5 ile 10 °C altında olmalıdır.

1.1.1.6. Destilasyon

Uçuculuk; dizel motorlarında kullanılan yakıtın yanması için yüksek oranda gerekmesede çalışmayı kolaylaştırmak ve dumansız bir yanma için gerekli olan iyi bir yakıt-hava karışımını sağlayabilmek amacıyla bir dereceye kadar gereklidir. Damıtma özellikleri uçuculuk göstergeleri vermekte olup, iyi dizel yakıtlarının kaynama dereceleri 200-300 °C arasında değişmektedir [15].

1.1.1.7. Alevlenme ve Parlama Noktası

Bir kaptan ısıtılan yakıtın üzerine yaklaştırılan alev ilk tutuşma halinde bulunan yakıt buharının taşıdığı en düşük sıcaklığa parlama noktası olarak ifade edilir. Tutuşma buharının sönmeden devam etme sıcaklığına da alevlenme noktası denir. Parlama sıcaklığı alevlenme sıcaklığından biraz daha düşük olmaktadır. Deniz seviyesinden yaklaşık alevlenme sıcaklığı sınırları hafif dizel yakıtlar için 67-147°Cdir [16].

1.1.1.8. Korozyon Etkisi

Dizel yakıtlarında kükürt içeriği hem korozyon hem de parçacık teşekkülü bakımından oldukça zararlıdır. Tuz, su ve tortular yakıt içerisinde istenmeyen bileşenlerdir [13].

1.1.1.9. Kül Miktarı

Dizel yakıtların en önemli problemlerinden biri önemli ölçüde karbon ve kül içermeleridir. Yanma sonunda oluşan artıklar silindir cidarları, segman ve supaplarda birikirler. Setan sayısı belli bir değere kadar kül miktarı açısından olumlu değer verirken yüksek değerlerde is oluşumuna neden olmaktadır.

1.1.1.10. Anilin Noktası

Anilin noktası; eşit hacimde anilin ve numunenin en düşük çözünme sıcaklığıdır. Anilin aromatik hidrokarbonları her zaman, ama parafinikleri yalnız sıcakta eritebilen bir eritgendir. Anilin ile motorin ısıtılır ve karıştırılır. Sıcaklık altında motorin, anilin içinde tamamen erir fakat eriyik ısısının düşmeye başlamasıyla belirli bir değerde parafinlerin ayrılmaya başladığı görülür. İşte bu ayrışmanın oluştuğu ve sonuçlandığı sıvı içerisinde iki ayrı tabakanın görüldüğü sıcaklığa anilin noktası denir [13].

1.1.2. Dizel Yakıtların Sınıflandırılması

ASTM standartlarına göre dizel yakıtlar üç derecede değerlendirilir.

1. Derece: Petrolün damıtılmasıyla elde edilmektedir ve değişik hızlarda, yüklerde çalışan motorlarda kullanılabilen uçucu damıtık yakıttır.
2. Derece: Damıtık ve kraking ürünleri içeren 1-derece yakıtı göre daha yüksek buharlaşma değerine sahip ağır taşıt yakıtlarıdır.
3. Derece: Damıtma ve kraking ürünlerinden elde edilen ve bazı atıklardan oluşan düşük veya orta hız motor yakıtıdır.

Tablo 1.2. Dizel yakıt tiplerine göre bazı yakıt özellikleri [17]

Özellik	1-Derece Yakıtlar	2-Derece Yakıtlar	4-Derece Yakıtlar
Setan Sayısı	40	50	40
Parlama Noktası (°F)	100	125	130
Viskozitesi Saybolt 100 °F'da	30-34	33-45	45-125
% Kül, Kütlesel	0,01	0,02	0,1
%Kükürt, Kütlesel	0,5	1	2

Tablo 1.3. Ülkemizdeki motorin standardı [18]

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney Yönetimi
		En az	En çok	
Setan sayısı		51	-	EN ISO 5165
Setan indisi		46	-	EN ISO 4264-12185
Yoğunluk (15°C'de)	kg/m ³	820	845	EN ISO 3675-12185
Polisilik aromatik hidrokarbonlar	% (m/m)	-	11	EN ISO 12916
Kükürt	mg/kg	-	350	EN ISO 20846
Parlama noktası	°C	55	-	EN ISO 22719
Karbon kalıntısı	% (m/m)	-	0,3	EN ISO 10370
Kül	% (m/m)	-	0,01	EN ISO 6245
Su	mg/kg	-	200	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	EN ISO 12662
Bakır Şerit korozyonu	derece	1		EN ISO 2160
Oksidasyon kararlılığı	g/m ³	-	25	EN ISO 12205
Yağlama özelliği	gM	-	460	EN ISO 12156-1
Viskozite	mm ² /s	2	4,5	EN ISO 3104

1.2.1. Tutuşma Gecikmesi

Bu evrede silindir içerisinde sıkıştırılmış havaya püskürtülen yakıtın hava ile iyice karışması ve buharlaşması için hazırlık safhasıdır. Krank açısına bağlı olarak belirli bir basınç yükselmesi oluşur [19]. Sıkıştırma sonuna doğru silindire püskürtülen yakıt tanecikleri hemen tutuşmaz. Yakıt zerrelereinin tutuşabilmesi için oksijenle karışması ve tutuşma sıcaklığına yükselmesi gerekmektedir. Bunun için de bir zamana ihtiyaç vardır. Enjektörün yakıtı silindire püskürtmeye başladığı andan, ilk alev çekirdeğinin meydana geldiği ana kadar geçen zamana "Tutuşma Gecikmesi" denir.

Tutuşma gecikmesi motorun sesli ve vuruntulu çalışmasına etki eder. Ancak tutuşma gecikmesini ortadan kaldırmamız mümkün olmadığından bu zaman diliminin kısaltılması gerekir [19]. Tutuşma gecikmesi süresi; sıkıştırılan havanın basınç ve sıcaklığına, yakıtın atomizasyonu ve kalitesine, enjeksiyon avansına ve türbülansa bağlıdır. Tutuşma gecikmesi ortam basıncından etkilenmektedir. Ortam basıncı yükseldikçe tutuşma gecikmesi azalmaktadır [14].

Tutuşma gecikmesinin kimyasal bileşenleri yakıtın n yanma reaksiyonlarıyla kontrol edilir. Tutuşma, buharlaşma bölümünde olmasına rağmen oksidasyon reaksiyonları oksijenin içinde eridiği yakıt damlacıkları ve yakıt molekülleri arasında sıvı blmde de ilerleyebilir. Ayrıca büyük hidrokarbon moleküllerinin daha küçük moleküllere bölünmesi de gerçekleşir. Bu kimyasal reaksiyonlar yakıt bileşenlerine, silindir dolgu sıcaklığı ve basıncına bağlıdır [20].

Dizel motorlarda emme havası sıcaklığının tutuşma gecikmesinin kısalması üzerine olumlu etkisi vardır. Emme havası sıcaklığı artıkça tutuşma gecikmesi azalmaktadır. Yakıtın tutuşma karakteristiği tutuşma gecikmesini etkilediği için bu özellik dizel motor çalışma karakteristiği için çok önemlidir; yakıt dönüşüm verimi, vuruntusuz çalışma, ateş almamak, egzoz emisyonları, ses ve çalışma kolaylığı gibi özellikleri etkiler. Sıkıştırma oranının artması ile sıcaklık ve basıncın artması gerçekleşecektir. Bunun sonucu olarak tutuşma gecikmesi azalacaktır [14].

Yakıtın tutuşma kabiliyeti setan sayısı ile tanımlanır. Düşük setan sayılı yakıt için tutuşma gecikmesi uzayacak ve yakıtın çoğunluğu tutuşma olmadan püskürtülecektir. Bu da çok hızlı yanma oluşumuna ve ani basınç yükselmelerine sebep olur. Bu olay sırasında duyulabilir bir vuruntu sesi ortaya çıkar ve bu olaya “dizel vuruntusu” denir [20].

1.2.2. Kontrolsüz (Ani) Yanma

Bu kısımda, tutuşma gecikmesi bölümünde silindire püskürtülmüş karışımın bir kısmı tutuşur ve ön karışım olarak yanmaya başlar. Basınçta ani yükselme olur. Basınçtaki yükselme büyüklüğü ve oranı, tutuşma gecikmesinin uzunluğuna, çevrimdeki yanma odasındaki yakıt miktarına bağlıdır. Basıncın yükselme hızı fazla olduğunda motordaki silindir, piston, perno gibi parçalar birbirlerine çarpmasıyla yüksek ve sert bir ses çıkarırlar. Yukarıda bahsedildiği gibi bu dizel vuruntusu istenmeyen bir olaydır. Bunun engellenmesi yani motorun yumuşak çalışması için tutuşma gecikmesi süresi kısa tutulmalıdır. Dizel motorlarda basınç artış hızı genel olarak 0.2-0.3 MPa/KMA dolaylarındadır ve 0.4-0.5 MPa/KMA basınç artış hızına ulaşıldığında motor sert çalışır [14].

1.2.3. Difüzyon Kontrollü Yanma

Dizel motordaki yanmanın üçüncü safhasıdır. Kontrolsüz yanmadaki ani basınç artışından sonra difüzyon kontrollü yanma bölümü başlar. Dizel motorlarda yanmanın normal olarak yakıt-hava karışımı tarafından kontrol edildiği kabul edilir. Dizel motorda yakıtın yanması tek bir noktadan değil birden fazla noktadan gerçekleşir [14].

Ani yanma gerçekleştiği zaman, hazırlanmış olan yakıt ani olarak yanar ve silindir içinde vuruntuya neden olan ani basınç yükselmesine neden olur. Arta kalan yakıt ise havayla karışma oranı tarafından belirlenen bir oranda yanar. Dizel yanma prosesinin heterojenliği, bazı avantajlar sağlasa da bunun yanında bazı dezavantajlarda getirmektedir. Yakıt hava içine püskürtüldüğü zaman, bir kısmı zayıf yanabilirlik limitinin ötesinde, yanmaya fırsat bulamadan önce kaçar. Bu yakıt yanmamış hidrokarbon olarak adlandırılır.

İsin büyük kısmı egzoz valfi açılmadan önce oksitlenirken, bir kısmı kalacak ve silindirden dışarı atılacaktır. Genişleme strokunun sonlarına doğru ve egzoz sisteminde yüksek molekül ağırlıklı hidrokarbon ve sülfatları toplayacaktır. Bunlar partikül madde olarak adlandırılmıştır. Hava-yakıt karışımı işlemini hızlandırmak yüksek sıcaklıktaki zengin bölgede bulunan yakıt miktarını ve isi azaltacaktır. İsin azaltılması daha yüksek enjeksiyon basınçları ve daha fazla hava girdabı seviyeleriyle sağlanabilir. Bununla birlikte daha hızlı karışım ve yanmanın yan ürünü daha yüksek azot oksit (NO_x) seviyeleridir [21].

1.2.4. Art Yanma

Kontrollü yanmanın ardından, egzoz supabının açıldığı ana kadar meydana gelen reaksiyonlar art yanma olarak nitelendirilir. Püskürtmenin sona ermesiyle silindir içerisinde kalan yakıt ve henüz yanmasını tamamlayamamış yanma ürünleri de türbülans ve oksijen miktarına bağlı olarak yanmaya devam ederler. Pistonun AÖN' ye doğru hareketiyle, önünde kalan hacmin artmasıyla basınç ve sıcaklık giderek azalır. Art yanmanın, motor verimi açısından mümkün olduğunca kısa sürmesi istenir [14, 19].

1.3. DİZEL MOTORLARDA KİRLETİCİ EMİSYONLAR

İçten yanmalı motorlarda kullanılan hidrokarbon kökenli yakıtların ideal koşullar altında hava ile tam yanması sonucunda elde edilen yanma ürünleri CO_2 , H_2O ve havadaki N_2 'den oluşmaktadır. Bunlara ilave olarak çok fakir ve zengin yakıt hava karışımının kullanılması veya çok düşük yanma sıcaklığının oluşması ve yakıtta bulunan bazı bileşenler nedeniyle hava kirlenmesine yol açan PM, SO_x , NO_x , CO, HC ve kısmen okside olmuş hidrokarbonlar (aldehitler, ketonlar), is, metalik yakıt ve yağ artıkları oluşmaktadır [14, 22].

SO_2 emisyonları yakıtta bulunan kükürtten kaynaklanmaktadır. Yakıttaki kükürtün oksijenle reaksiyonu sonucu kükürtdioksit oluşur. Kükürtdioksidin suyla reaksiyona girmesi sonucu sülfirik asit oluşur. Egzozda sülfirik asidin bulunması malzemede aşınmaya ve korozyona neden olur. SO_2 emisyonları ayrıca doğada asit yağmurlarına neden olmaktadır. Dizel yakıtta kükürt oranını azaltma yönünde çalışmalar

yapılmaktadır. Türkiye piyasasında satılan düşük kükürtlü dizel yakıtlar da 50 ppm'den daha az kükürt içermektedir [20].

1.3.1. Partikül Madde ve İs Emisyonları

Çoğunlukla yanmamış yakıt ve yağlama yağından kaynaklanan bazı organik bileşenlerin yanma sonucu ortaya çıkan karbon içerikli materyaller (is) tarafından absorbe edilmesi ile dizel partikül madde emisyonları oluşur. Partikül maddenin boyutları 20 nm ile 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 [20].

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 çekirdekleşen yanmamış yakıtlardan oluşur. İs emisyonlarının olduğu bölgesel koşullara bağlı olarak, hidrokarbonlar veya diğer mevcut moleküller is taneciklerinin üzerine yoğunlaşır veya is tanecikleri tarafından absorbe edilir [20].

Nihai is emisyonlarının oluşumu, oksidasyon ve oluşum süreci arasındaki balansa bağlıdır. Motorun kararlı durum çalışmasında, yük artışı ile birlikte silindirlere püskürtülen yakıt miktarı artar ve bu durum özellikle yakıtça zengin bölgelerdeki sıcaklıkları artırır. Motordaki is oluşumu önemli ölçüde motor yüküne bağlıdır. Artan motor yükü ile birlikte yanma odasında difüzyonlu yanma periyodu boyunca tepkimeye girecek oksijen miktarı azalır, sıcaklıklar artar ve difüzyonlu yanma periyodu uzar. Artan difüzyonlu yanma periyodu ise is emisyonunun oluşumuna yardım eder [23].

Yakıt püskürtme basıncının artışı, püskürtülen yakıtın huzme uzunluğunu artırır. Ancak, püskürtme basıncındaki gereğinden fazla artış püskürtülen yakıtın yanma odası cidarlarına temas etmesini sağlayarak karışımın oluşum hızını yavaşlatır ve karışımın

heterojenliğini artırır. Karışım teşkilindeki gecikme, tutuşma gecikmesinin ve yanma süresinin uzamasına sebep olur. Karışım teşkilindeki gecikmeden dolayı is partiküllerinin oksidasyonu zorlaşır [23].

Soğuk çalışma koşullarında bazen çevrimlerin gerçekleşmemesinden dolayı beyaz is oluşabilir. Bu durum, buharlaşmaya çalışan yakıtın hava ile kısmen karışabildiğinin bir belirtisidir. Soğuk çalışma koşullarında, silindir içi sıcaklıklarının düşük oluşu püskürtülen yakıtın buharlaşmasını güçleştirir. Oluşan beyaz duman, çoğunlukla yanmamış hidrokarbonlardan oluşur ve motor ısındıkça azalır. Bununla birlikte, püskürtme zamanının çok fazla geciktirilmesi, yanma odasındaki yakıtın tutuşma gecikmesinin çok uzun olması ve sıkıştırma oranının çok düşük olması da beyaz dumanın egzoz sisteminde görülmesinin nedenleridir [23].

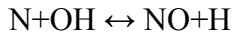
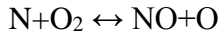
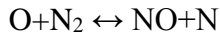
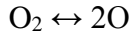
1.3.2. Azot Oksit (NO_x) Emisyonları

NO_x emisyonları çoğunlukla azot monoksit (NO) ve azot dioksitten (NO₂) oluşur. Bu iki bileşenin toplamı ise NO_x emisyonları olarak adlandırılır. Genellikle, NO_x emisyonlarının %70-%90'lık kısmını NO emisyonları oluşturur. NO_x emisyonları büyük ölçüde sıcaklığa bağlıdır. Bunun yanında oksijenin lokal konsantrasyonuna ve yanma süresine bağlıdır. Diğer önemli faktörler ise, püskürtme zamanı, yanma odasına alınan dolgunun sıcaklığı, türbülans, yakıt özellikleri vb. gibi parametrelerdir. Yapılan araştırmalara 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 [14].

Silindir içerisindeki yakıt-hava karışımının yanması ile nitrojen (N₂) ve oksijen (O₂) molekülleri N ve O şeklinde atomlarına ayrılır. N ve O atomları yanma odasında ve egzoz zamanında reaksiyona girerek NO_x emisyonlarını oluştururlar. Dizel motorlarda NO_x emisyonlarını oluşturan iki oluşum mekanizması mevcuttur. Bunlar [20]:

- a) Yanma odasındaki atmosferik azotun oksidasyonu (termal NO_x-Zeldovich mekanizması),
- b) Yakıt içeriğinde bulunan azotun dönüşümü (yakıt NO_x veya organik NO_x).

Stokiyometrik yakıt-hava karışımlarına yakın fakir yanma boyunca NO oluşum reaksiyonları Zeldovich mekanizması ile tanımlanmıştır. N₂ ve O₂ molekülleri, yanma odasındaki belli sıcaklık ve basınçta N ve O şeklinde serbest atomlarına ayrışır ve tekrar NO oluşturmak için birleşirler. Basitleştirilmiş reaksiyonlar aşağıdaki gibidir;



Bu dört ifade tersinirdir ve sadece stokiyometriğe yakın fakir yakıt-hava karışımlarında önemlidir. NO_x emisyonlarının oluşum hızı yüksek sıcaklığa ve azotun yüksek sıcaklıkta kalma süresine bağlıdır. Genellikle 1530°C'den daha yüksek sıcaklıklarda, yanma odasındaki moleküller nitrojen (N₂) ve oksijen (O₂) atomik olarak N ve O şeklinde ayrışır ve reaksiyon serilerine katılırlar. NO oluşumu sıcaklıkla üssel olarak orantılıdır. NO emisyonlarının daha fazla oksitlenmesi ile NO₂ emisyonları oluşur. Yakıt içeriğindeki azot tepkimeye dahil olduğunda organik NO_x oluşur. Azot içerikli yakıt yandığında, nitrojenli bileşikler parçalanır ve serbest azot oksitler ortaya çıkar. Hava fazlalığı ile birlikte, NO_x emisyonlarının oluşum derecesi yakıtın azot içeriğinin ana fonksiyonudur [24].

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 [14].

Püskürtme zamanının optimum bir noktadan sonra öne alınması veya geciktirilmesi tutuşma gecikmesini artırır. Yakıt püskürtme zamanının öne alınması genellikle tutuşma gecikmesini artırır. Yakıtın daha önce püskürtüldüğü durumda, sıkıştırma basıncı ve sıcaklığı düşüktür. Bu durum tutuşma gecikmesini artırır. Artan tutuşma gecikmesi, silindire püskürtülen yakıtın hava ile karışması için daha uzun bir zaman dilimi sağlar. Ayrıca, tutuşma gecikmesinin uzaması, püskürtülen yakıtın büyük bir kısmının ani yanma periyodunda birikmesine ve yanmasına, dolayısıyla ani yanma periyodunun uzamasına sebep olur. NO_x emisyonlarının oluşumu büyük oranda ani yanma periyodu ile ilişkilidir.

Diğer taraftan, püskürtme zamanının geciktirilmesi ile tutuşma gecikmesi azalma yönünde eğilim gösterir. Azalan tutuşma gecikmesi ani yanma periyodunu azaltır ve NO_x emisyonlarının oluşumu da azalır [20].

Artan püskürtme basıncı, yanma odasına püskürtülen yakıtın atomizasyonunu iyileştirir. İyileşen atomizasyonu, yakıt taneciklerinin daha küçük parçalara ayrışmasına ve yanma veriminin artmasına ve yüksek yanma sonu sıcaklıklarına sebep olur. Bu durum NO_x emisyonları artırır.

Yakıtın setan sayısındaki artış, püskürtülen yakıtın tutuşmasını ve buharlaşmasını kolaylaştırır. Sonuç olarak, yüksek setanlı yakıtlar daha kısa ani yanma periyoduna sebep olurlar ve NO_x emisyonlarını azaltırlar. Düşük setanlı yakıtlarda, tutuşma gecikmesi genellikle uzundur ve yanma başladığında fakir alev bölgesinde daha fazla yakıtın birikmesine sebep olurlar. Ani yanma safhasında biriken yakıt, yüksek hızla aniden yanar ve yanma sonu sıcaklıklarını artırır. Bu durumda ani yanma safhasındaki fakir alev bölgesinde NO_x oluşumu artar [20].

1.3.3. Hidrokarbon (HC) Emisyonları

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 yakıtça zengin karışımlı motor çalışması boyunca HC emisyonları oldukça önemlidir. HC oluşumunun esas kaynağı, yanma odasındaki karışımın tutuşamayacak kadar fakir olduğu reaksiyon bölgesi çevresindedir [23].

HC emisyonlarının oluşumu, özellikle motor yüküne, yanma odasındaki koşullara, hava emiş 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 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 huzmesi uzunluğu ve art püskürtme ile ilgilidir. Ayrıca, yakıt özellikleri, motor tasarımı ve motora ait işletme parametreleri HC emisyonlarının oluşumunda etkilidir [23].

Doğal emişli dizel motorlarda, hacimsel verimdeki küçük değişimler ihmal edildiğinde, her çevrimde silindirlere alınan hava kütlesi yaklaşık sabittir. Sabit bir motor hızında güç artışı sağlamak için püskürtülen yakıt miktarının artırılması gerekir. Çok silindirli motorlarda enjektörler arasındaki püskürtme ile ilgili farklılıklar, silindirler arasında gaz basıncı ve sıcaklık değişimlerine, silindirlere gönderilen yakıt miktarı değişimlerine ve püskürtme süresi değişimlerine sebep olabilir. Ayrıca, tutuşma gecikmesi boyunca silindirlere püskürtülen yakıt hava ile karışır ve hava-yakıt oranlarının çok geniş bir aralıkta değişimine sebep olur. Bu karışım oranlarının bir kısmı tutuşmak ve kararlı bir yanmaya dönüşmek için çok fakir, bir kısım stokiyometrik orana yakın ve tutuşmaya hazır, diğer bir kısmı ise çok zengin ve buharlaşması ve karışım teşkil hızı çok düşük olabilir.

Tutuşma başlangıcında, büyük olasılıkla stokiyometrik karışıma yakın karışımlar yanar. Şayet silindir cidarlarına yakın bölgelerde alev sönmesi olmaz veya etraftaki hava ile aşırı karışımından dolayı lokal hava-yakıt oranı hızlı bir şekilde düşmez ise yanma sürer. Aşırı fakir karışımlarda ise yanma odasında ilave buharlaşmış yakıt ve karışımla karşılaşan yanma prosesi devam eder. Bu durum, püskürtme periyodunun sonuna doğru oluşan iri tanecikli yakıt molekülleri için de geçerlidir. İri yakıt taneciklerinin buharlaşması, karışım oluşturmaya ve yanma sürecine katılması için yanma odasında ilave havaya ve yüksek sıcaklığa ihtiyaç duyacaktır. Yanma odasına püskürtülen yakıtın çoğunun yanması için buharlaşma, karışım oluşma ve yanma hızının yeterli düzeyde olması gerekir. Aksi durumda, Egzozda aşırı derecede yanmamış hidrokarbon görülür. Yanmanın başlaması ile püskürtülen yakıt piroliz olur ve hava ile karışarak oksitlenme hızı artar. Sonuç olarak tam yanma sağlanır. Ancak, piroliz ve oksidasyon hızını

yavaşlatan şartlar lokal olarak zengin karışımlara ve eksik yanmaya sebep olacağından HC emisyonlarının oluşumunu artırır [23].

Rölanti ve düşük yük koşullarında, püskürtülen yakıt yanma odası cidarlarına ulaşamaz ve enjektör ile piston yüzeyi arasındaki boşlukta yanar. Ayrıca, püskürtülen yakıtın çekirdeğindeki yakıt konsantrasyonu oldukça düşüktür. Bu durumda, yanmamış hidrokarbonlarının oluşumu yanma alevi ile yanma odası cidarı arasında kalan soğuk alev bölgesinden kaynaklanır. Yanmanın devam ettiği veya alevin ilerlediği sırada bu bölgedeki sıcaklık artışı oldukça düşüktür ve bu yüzden oksidasyon hızı da düşük seviyededir. Alev ile yanma odası cidarı arasında ilerleyen alevin önündeki yakıt molekülleri konsantrasyonunun düşük olmasından dolayı reaksiyon hızları daha da düşer. Bu bölgede oluşan hidrokarbonların toplam püskürtülen yakıtta oranı özellikle rölanti koşullarında çok yüksektir. Motor yükü artırıldığında, azalan hava-yakıt oranı püskürtülen yakıtın silindir cidarlarına kadar ilerlemesine sebep olur ve yakıt hüzmesinin çekirdeğindeki yakıt konsantrasyonu daha yüksektir. Bu durumda HC emisyonlarının oluşumu artar. Ancak, yanma odasındaki yeterli oksijen, artan sıcaklıklarla beraber oksidasyon hızlarını artırır ve HC emisyonları azalır [23].

Tam yük veya aşırı yük koşullarında daha fazla azalan hava-yakıt oranı, yanma odası cidar çevresinde ve yakıt hüzmesinin merkezinde oluşan HC emisyonlarını artırır. Bu durumda yanma odasındaki yetersiz oksijen, oluşan yüksek sıcaklıklara rağmen, lokal olarak yüksek yakıt-hava oranı bölgesinde oksidasyon reaksiyonlarını kısıtlar. Ayrıca hidrokarbon emisyonlarının moleküler yapısı, hava-yakıt oranının değişmesi ile de değişebilir. Rölanti ve düşük motor yüklerinde, dizel motorların ürettiği HC emisyonları alevin dış yüzeyi ile yanma odası cidarı arasındaki soğuk alev bölgesi ile ilişkilidir ve çoğunlukla orijinal yakıt moleküllerinden oluşur. Yüksek motor yüklerinde ise, HC emisyonlarının çoğu yakıt hüzme çekirdeğindeki ve yanma odası cidarına yakın sınırlardaki yakıt moleküllerinden oluşur. Yanma odası cidarlarında sıcaklık kısmen yüksektir ve orijinal yakıt moleküllerinin ayrışmasına sebep olur. Çünkü, yakıt hüzme çekirdeğinde ve yanma odası cidarlarına yakın sınırlarda hava-yakıt oranı genellikle zengindir ve hidrokarbon radikalleri ile ara bileşikler arasında bazı birleşme reaksiyonlarının oluşması olasılığı yüksektir. Bu durum yüksek konsantrasyonda ağır hidrokarbonların oluşumuna sebep olabilir.

Aşırı doldurmalı sistemlerde, silindirlere alınan artmış hava kütlesi ile orantılı olarak püskürtülen yakıt miktarı ve dolayısı ile motor çıkış gücü de artar. Aşırı doldurmalı motorlarda emme manifoldundaki hava hızı doğal emişli motorlara göre daha yüksektir. Bu durum silindirlerdeki karışım oluşumunu ve hızını artırır. Karışım hızındaki artış ise reaksiyon ve oksidasyon hızını artırarak, yanma sıcaklıklarının artışı sağlar ve HC emisyonlarının konsantrasyonlarını azaltır [23].

1.3.4. Karbonmonoksit (CO) Emisyonları

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 [25].

2. BİYODİZEL

2.1. Dünyada Biyodizel Üretimi ve Kullanımı

Son dönemlerde gelişmiş ülkeler enerji politikalarının içeriğini genişleterek alternatif enerji kaynaklarının kullanımını arttırma uğraşındalar. Alternatif enerji kaynağı olarak biyodizel diğer yakıtlara göre en fazla ilgiyi toplamaktadır. Ticari amaçla ilk defa Avusturya'da 1988'de üretilmiş. Yine aynı amaçla ilk sanayi tesisi ise 1991'de kurulmuştur.

Yenilenebilir enerjinin 2015'te ulaşımdaki kullanımı tüm yakıtların %4'tür. Alternatif sıvı yakıtlar yenilenebilir enerji kaynağı olarak ulaşımdaki rolü giderek arttığını gözlemlenmiştir. Havacılık biyodizeli gibi ihtiyacı yeni ortaya çıkan sektörlerde ve uygulamalarında kullanımı artmıştır.

Hemen hemen tüm dünyada yenilenebilir enerji kaynağı olan biyodizelin ulaşımda kullanımı arttırmak için devletler mevcut politikalarında değişiklik yapmaktadır. Politikalar biyodizelin direkt veya kısmen kullanımı daha da kolaylaştırmıştır. Buna rağmen biyodizelin havacılıkta, raylı ulaşımda ve gemi taşımacılığındaki gelişimi yavaş olmaktadır. 2015 yılının sonunda, biyodizel üretim yetkisine sahip ulusal ve bölgesel çapta 66 ülke vardır.

Kuzey Amerika kıtasında en büyük biyodizel üreticisi Amerika Birleşik Devleti, ayrıca dünyanın en büyük biyodizel üreticisidir. 2015'te uzun ertelemelerden sonra biyodizel üreticileri biyodizel ile ilgili mevcut kanunların geliştirilmesi adına politikacılardan pozitif sinyaller aldılar. Bununla birlikte etanol (çoğunlukla mısırdan) ve biyodizel üretimi (çoğunlukla soya yağından) 2014'e göre önemsiz bir oranda azalma görülmüş. Latin Amerika kıtasında ise Brezilya, Amerika'dan sonra dünyanın en büyük ikinci biyodizel üreticisidir. Brezilya'da 2015 yılında hem biyodizel hem de etanol üretiminde artışlar gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise karışımlarla ilgili yasaların ve şeker kamışı hasatlarının iyi seviyede olması olarak düşünülmektedir. Bununla birlikte

Arjantin, geçmiş yıllardaki en büyük biyodizel üreticilerinden, 2015 yılındaki biyodizel üretimi %20 oranında azalma görülmüş. Kolombiya ise bölgedeki en büyük üçüncü biyodizel üreticisi, biyodizel ürünlerinin üretiminde önemsiz seviyede azalma görülmüş. Avrupa’da ise biyodizel kullanımı ile ilgili yeni kanunlar düzenlenmiştir. Böylece daha önce tarımsal kökenli biyodizel yakıtlarının ulaşımda kullanılması ile ilgili %7’ye kadar biyodizel kullanımı sınırlandıran kanun değiştirilmiştir. Buna rağmen, bölgedeki biyodizel üretiminde büyük bir değişiklik görülmemiştir. Asya kıtasında ise etanol üretimi artmaya devam etmiştir. Buna rağmen biyodizel üretimi önemli oranda azalmaya gitmiştir. [26].

Tablo 2.1. 2015’te Dünyada en fazla biyodizel üretimi yapan ülkeler [26]

Ülkeler	Milyon ton	Singapur	1,0
Amerika	4,8	Malezya	0,7
Brezilya	3,9	İspanya	0,6
Almanya	2,8	Kolombiya	0,6
Fransa	2,4	Çin	0,4
Arjantin	2,1	Belçika	0,4
Endonezya	1,7	Kanada	0,3
Hollanda	1,5	Hindistan	0,1
Tayland	1,2	Toplam	30,1

Biyodizelin farklı sektörlerde kullanılması ve yeni uygulamalarda yer alması 2015 yılında da devam etmiştir. Mısır, Japonya, Meksika, Hollanda ve Amerika gelecekte havacılık sektöründe biyodizel yakıtının kullanılması için araştırmalara başladığını açıklamışlardır. Amerika Birleşik Devlet’inde United Airlines uçaklarda biyodizel kullanılması için ilk adım atan havayolu şirketi olmuştur.

2.2.Türkiye’de Biyodizel

Dizel yakıtı Türkiye’de en çok kullanılan petrol türevli yakıttır. Ayrıca enerji için temel kaynaktır. Bununla birlikte fosil yakıtların tükeneneğine dair bilinen gerçekler Türkiye’nin bu sektöre yatırım yapma zorunluğu getirmiş. Türkiye’de üretilen biyodizel 2012’de 17,729 ton ve 2013’te 21,876 ton olmuştur.

Resmî gazetede 27 Eylül 2011 tarihinde yayımlanan ve 28067 sayılı “Motorin Türlerine İlişkin Teknik düzenleme Tebliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ” ‘e göre piyasaya akaryakıt olarak arz edilen motorin türlerinin, yerli tarım ürünlerinden üretilmiş yağ asidi metil esteri (YAME) içeriğinin: 1/1/2014 tarihi itibariyle en az %1, 1/1/2015 tarihi itibariyle en az %2, 1/1/2016 tarihi itibariyle en az %3 olması zorunlu kılınmış. Bu karardan sonra biyodizele olan ihtiyaç;

- %1 YAME içerikli karışım için 160,000t biyodizel
- %2 YAME içerikli karışım için 320,000t biyodizel
- %3 YAME içerikli karışım için 480,000t biyodizel ihtiyaç oluşturmuştur [27].

Fakat EPDK, 1 Ocak 2014’ten itibaren motorine biyodizel katılmasına ilişkin düzenlemeyi yürürlükten kaldırdı. Resmî Gazete’nin 25 Haziran tarihli sayısında yer alan değişiklikle, “Motorin Türlerine İlişkin Düzenleme Tebliğ” ’inde yer alan ve motorine 2014’te %1, 2015’te %2 ve 2016’da %3 biyodizel ilave edilmesine ilişkin madde iptal edildiğini duyurmuştur [28]. Ülkemizdeki biyodizel tesisler incelendiğinde; 2015 verilerine göre EPDK’ya kayıtlı 24 firmanın biyodizel üretim lisansına sahip olduğu görülmüştür. Tablo 2.2’de Türkiye’de şehirlere göre biyodizel üretim lisansı alan firmaların sayısı verilmiştir [29].

Tablo 2.2. İllere göre biyodizel üretim lisansı alan firma sayısı [29]

Şehir	Firma Sayısı	Şehir	Firma Sayısı
Adana	2	İstanbul	2
Adıyaman	1	İzmir	2
Afyon	1	Kilis	1
Ankara	1	Kocaeli	4
Bursa	1	Mersin	2
Gaziantep	4	Şanlıurfa	1
Hatay	1	Tekirdağ	1

2.3.Biyodizelin Avantaj ve Dezavantajları

Dizel motorlarında modifikasyona gerek kalmadan kullanılabilen biyodizel yakıtının hem avantajı hem de bazı dezavantajı bulunmaktadır;

Avantajları

- Yenilenebilir oldukları için küçük tesislerde üretilebilir.
- Emisyonlarında CO, partikül madde, yanmamış hidrokarbon miktarı dizel yakıtına göre daha azdır ve ayrıca hem aromatik bileşikler hem de kükürt hemen hemen hiç yoktur.
- Kolay ayrışılabilirler ve zehirli değildirler. Bir kolzadan biyodizel elde etme çalışmasında biyodizel 21 günde %99,6'sının ayrıştığı görülmüştür.
- Motorine oranla parlama noktası daha yüksektir ve bu da biyodizelin daha kolay taşınma ve güvenli kullanımını sağlamaktadır.
- Biyodizelin dizel motorlarında kullanılabilmesi için herhangi bir motor modifikasyonuna ihtiyaç duymaz ve ayrıca motorun yağlanması da yardımcıdır.
- Motorine göre CO, PM, HC emisyonları daha iyidir.
- Motorinle kıyaslandığında CO₂ emisyonunun atmosferde toplanması ve bunun bir etkisi olarak da sera etkisine neden olmaz. Çünkü biyodizelin yanmasıyla meydana gelen CO₂, biyodizelin elde edildiği bitkiler tarafından kullanılır.

Dezavantajları

- Motor yağlarını kirletir.
- Motorine oranla uçuculuğu daha düşüktür.
- Yüksek bozunabilirlik (ayrışabilirlik) özelliğine sahip olduğundan depolanma sorunları yaratmaktadır.
- Akma ve bulutlanma noktaları yüksek olmasından dolayı soğuk havalarda motorine göre daha çabuk etkilenir. Bu durum, soğuk iklim bölgelerinde biyodizelin kullanılmasını sınırlandırmaktadır.
- Motorine oranla viskozitesi biraz daha yüksektir.

- Motorinle göre yapısında çift bağ ve doymamış yağlar olduğu için iyot sayısı yüksektir [30].
- Motorine oranla daha düşük ısısal değere sahip olduğundan dolayı daha fazla yakıt tüketmektedir.
- Setan sayısı düşük olmasından dolayı yüksek tutuşma gecikmelerine neden olmaktadır [31].
- Karbon kalıntıları ve kurum oluşumuna neden olmaktadır. Piston başı, segman, segman yuvası, silindir başı, supaplar, supap kılavuzları ve enjektör memesi gibi elemanlarda karbon birikmesine neden olmaktadır.
- Karışımlara eklenmesiyle NO_x emisyonlarında artışa neden olmaktadır. Sorun sadece katalitik konvektör kullanılarak veya yanma sıcaklığını azaltarak (yanmanın 1-3 KMA geciktirilmesi) çözülebilir [32].

2.4.Motor Yakıtı Olarak Biyodizel

Yapılan birçok çalışmayla biyodizelin dizel motorlarda uzun bir süre kullanılabilirliğini görülmüştür. Dizel yakıtına oranla biyodizel daha düşük sıcaklıklarda daha fazla kalınlaşır. Fakat akma noktasını düşürmek için katkı maddeleri kullanmak mümkündür. Ayrıca yakıtın akma noktasını soğuk iklimlerde belli bir seviyede tutabilmek için yakıt tankına ısıtıcı da eklenilebilir. Biyodizel ile hazırlanan karışımın akma noktası %100 biyodizelden oluşan yakıtın akma noktasından daha düşüktür. Bununla birlikte bahsedilen sorunlara önlem alınmazsa gresleşme problemi yine ortaya çıkacaktır [33].

Biyodizel; hayvansal yağlardan, bitkisel yağlardan ve geri dönüşümü yapılmış yemek yağlarından elde edilebilen bir yakıttır. Biyodizel kimyasal olarak yağ asidi metil esterlerle (YAME) çevrilmiş 14 farklı türden yağ asidi içerir (Tablo 2.3). Besin stokunda (Tablo 2.4) bulunan her bir yağ asidi metil esterlerin değişik parçaları yakıtın niteliğini değiştirir. Doymuşluk yüksek seviyelerde (C14-C16-C18) olması durumunda; bulutlanma noktası yükselir, setan sayısını yükseltir, NO_x azalır ve dengeyi ilerletir. Daha fazla doymamışlar (C18:2-C18:3) yapıda olmasıyla bunlar bulutlanma noktasını azaltacak, dengeyi azaltacak ve NO_x yükseltecektir [34].

Tablo 2.3. Biyodizelin yapısındaki yağ asitlerin formülleri

Doymamış yağ asidi adı	Karbonların ve çift bağ numaraları	Kimyasal yapı (çift bağların yerini gösterir)
Caprylik	C8	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_6\text{COOH}$
Capric	C10	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$
Lauric	C12	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{COOH}$
Myristic	C14	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{COOH}$
Palmitic	C16:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$
Palmitolec	C16:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Stearic	C18:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$
Oleic	C18:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Linoleic	C18:2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Linolenic	C18:3	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$
Arachidic	C20:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{COOH}$
Eicosenoic	C20:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7=\text{CH}(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$
Behenic	C22:0	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{20}\text{COOH}$
Eurcic	C22:1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}$

Tablo 2.4. Bitkisel yağların yağ asidi içerikleri [35]

Yağ	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3	Diğer
Pamukyağı	28,7	0	0,9	13,0	57,4	0	0
Haşhaş	12,6	0,1	4,0	22,3	60,2	0,5	0
Kolza	3,5	0	0,9	64,1	22,3	8,2	0
Aspir	7,3	0	1,9	13,6	77,2	0	0
Ayçiçeği	6,4	0,1	2,9	17,7	72,9	0	0
Susam	13,1	0	3,9	52,8	30,2	0	0
Yağ kremi	5,1	0,3	2,5	18,9	18,1	55,1	0
Buğday	20,6	1,0	1,1	16,6	56,0	2,9	1,8
Hurma	42,6	0,3	4,4	40,5	10,1	0,2	1,1
Mısır özü	11,8	0	2,0	24,8	61,3	0	0,3
Hint yağı	1,1	0	3,1	4,9	1,3	0	89,6
Tallow	23,3	0,1	19,3	42,4	2,9	0,9	2,9
Soya	13,9	0,3	2,1	23,2	56,2	4,3	0
Defne	25,9	0,3	3,1	10,8	11,3	17,6	31,0
Yer fıstığı	11,4	0	2,4	48,3	32,0	0,9	4,0
Fındık	4,9	0,2	2,6	83,6	8,5	0,2	0
Ceviz	7,2	0,2	1,9	18,5	56,0	16,2	0
Badem	6,5	0,5	1,4	70,7	20,0	0	0,9
Zeytin	5,0	0,3	1,6	74,7	17,6	0	0,8
Hindistan cevizi	9,7	0,1	3,0	6,9	2,2	0	65,7

2.5.Biyodizelin Fiziksel Özellikleri

2.5.1. Viskozite

Viskozite, akışkanın akmaya karşı gösterdiği direnci ifade eder. Ham bitkisel ve hayvansal yağlar enerji değerlerinin yüksek olmasına rağmen yüksek viskozitelerine bağlı olarak kullanım esnasında çeşitli problemlere neden olurlar.

Viskozite büyük çoğunlukla yağın çeşidi, doymamışlık derecesi, zincir uzunluğu ve ana yapıya bağlı gruplara bağlı olarak değişir. Viskozite, bir yağ esterindeki yağ asidi ve alkolün zincir uzunluğunun artması ile artar. Doymamış yağların viskoziteleri büyük çoğunlukla bulundurdukları çifte bağların sayısı ve yapısına bağlıdır. Viskoziteyi en az etki eden parametre ise çifte bağın yağ asidindeki pozisyonudur. Hidroksil grubu içeren yağ asitleri ya da bileşikler belirgin şekilde yüksek viskoziteye sahiptir.

Viskozitenin yakıt performansı üzerindeki etkisi incelendiğinde yüksek viskozitenin olumsuz bir etkiye sahip olduğu görülür. Düşük sıcaklıkta artan viskozite akış problemlerine, işletim zorluğuna, yakıt püskürtülmesi sırasında düşük atomizasyona ve yakıt enjektörlerinin az doğrulukla çalışmasına neden olur [36].

Şekil 2.1’de Viskozite ölçüm cihazı görülmektedir.



Şekil 2.1. Viskozite ölçüm cihazı [36]

Kinematik viskozitenin uluslararası standartlarda sınır değerleri Tablo 2.5’te gösterilmiştir.

Tablo 2.5. Kinematik viskozitenin uluslararası standartlarda sınır değerleri [36]

Adı	No	Birim	Değer Aralığı
ASTM	D6751	mm ² /s	1.9–6.0
DIN	E51606	mm ² /s	3.5–5.0
EN	14214	mm ² /s	3.5–5.0

2.5.2. Yoğunluk

Biyodizel yakıtı için yoğunluk en önemli değişkenlerden biridir. Biyodizel yakıtlarının yoğunluklarının yüksek olması durumunda, oluşturma işlemi esnasında gliserinin yeterince yakıttan ayrıştırılmadığının bir göstergesidir [36].

Bitkisel kökenli yağlardan elde edilen biyodizel yakıtlarının yoğunlukları dizel yakıtı yoğunluğuna yakın olmakla birlikte, bu değer biraz daha fazladır. Biyodizel yakıtının daha yüksek yoğunluk değerine sahip olması; pompadan gönderilen yakıt

miktarının azalmasına neden olur ve bu da motorun termik veriminin düşmesine sebep olur. Uluslararası standartlarda yoğunluğun sınır değerleri aşağıda Tablo 2.6'te gösterilmiştir. Şekil 2.2.'de yoğunluk ölçüm cihazı görülmektedir.

Tablo 2.6. Uluslararası Standartlarda yoğunluğun sınır değerleri [36]

Adı	No	Birim	Değer Aralığı
ASTM	D6751	Kg /m ³	860–900
DIN	E51606	Kg /m ³	875–900
EN	14214	Kg /m ³	860–900



Şekil 2.2. Yoğunluk ölçüm cihazı [36]

2.5.3. Setan Sayısı

Setan sayısı, dizel yakıtın tutuşma kalitesinin boyutsuz bir tanımlayıcısıdır. Kavram olarak düşünüldüğünde benzin için kullanılan oktan sayısının bir benzeridir. Setan sayısı, yakıtın silindire enjeksiyonu ve yanma arasında geçen zamanla ilgilidir. Setan sayısının fazla olması tutuşma gecikmesi periyodunu azaltmakta ve yanma odasında biriken yakıtın aniden yanmasıyla oluşan hızlı basınç artışını önlemektedir. Tutuşma gecikmesinin kısılması, yakıt ve havanın silindir içerisinde homojen karışım olması için ihtiyaç duyulan zamanı kısaltır. Tutuşma gecikmesinin uzaması ise yakıt ve havanın silindir

içerisinde daha iyi karışmasına olanak tanır. Tutuşma gecikmesinin aşırı uzamasında ise kontrolsüz basınç artışı ve dizel vuruntusu oluşur. Özellikle düşük motor yüklerinde, düşük setan sayısı ile birlikte daha da uzayan tutuşma gecikmesi silindir içerisindeki dolgunun aşırı fakirleşmesinden dolayı yanmayı tam olarak gerçekleştiremez.

2.5.4. Isıl Değer

Isıl değer yakıtın yanma esnasında açığa çıkardığı enerji miktarını verir. Motordaki yanma sonucu oluşan egzoz gazlarının sıcaklığında su her zaman buhar olarak bulunduğu için dolayısı ile ısı değeri olarak alt ısı değeri dikkate alınır [37].

Biyodizelin yapısında bulunan doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça ısı değeri artar, doymamışlık arttıkça (hidrojen sayısı azaldıkça) azalır. Yapısındaki O₂ içeriğinden dolayı biyodizelin ısı değeri petrol dizeline göre %10,0 daha düşüktür. Düşük ısı değerine bağlı olarak motor gücü ve torkunda bir miktar düşüş görülmektedir. [38].

2.5.5. Akma ve Bulutlanma Noktaları

Akma ve bulutlanma noktası, yakıtın düşük hava sıcaklıklarında çalışma performansını belirleyen en önemli özelliklerdendir. Bulutlanma noktası, standart bir test metodu kullanılarak soğutulduğunda sıvıda mumsu kristal bulutunun oluştuğu ilk sıcaklık olarak tanımlanır. Akma noktası ise jel oluşumu nedeni ile sıvının akışkanlığını yitirdiği sıcaklıktır. Bir yakıtın düşük sıcaklıktaki akışkanlığı o yakıtın soğuk hava şartlarındaki performansını etkileyen en önemli özelliktir.

Akma ve bulutlanma noktası büyük çoğunlukla yakıt üretiminde kullanılan yağın kimyasal yapısına bağlıdır. Doymuş yağ asitlerinin doymamış yağ asitlerine göre daha yüksek erime noktaları vardır ve daha yüksek sıcaklıklarda kristalize olurlar. Bu nedenle, yağdaki doymamışlık arttıkça akma ve bulutlanma noktasında da düşüş gözlenir. Akma ve bulutlanma noktası belirlenmesinde kullanılan cihaz ile yapılan hint yağı metil esterleri analizlerinde, hint yağı biyodizelinin -26 °C'de akıcılığını kaybetmeye -18 °C'de bulutlanma başladığı tespit edilmiştir [5]. Şekil 2.3'te akma ve bulutlanma noktası ölçüm cihazı görülmektedir [36].



Şekil 2.3. Akma ve bulutlanma noktası ölçüm cihazı [36]

2.5.6. Parlama Noktası

Parlama noktası, yakıtın bir alev ya da kıvılcıma maruz kaldığında tutuşacağı ilk sıcaklık olup biyodizelde uzaklaştırılmamış alkol seviyesini gösterir. Ortamdan uzaklaştırılmamış alkol parlama noktasını düşürerek yakıtın kolay tutuşabilir hale gelmesine neden olur. Bu durum depolama ve taşımada güvenlik riski oluşturacağından istenmez. Biyodizel, dizel yakıtlara göre daha yüksek parlama noktasına sahip olup dizelden daha güvenli bir yakıttır. Parlama noktasının uluslararası standartlardaki değerleri Tablo 2.7’de gösterilmiştir [36].

Tablo 2.7. Uluslararası standartlarda parlama noktası sınır değerleri [36]

Standart Adı	Standart No	Birim (en az)
ASTM	D6751	130°C
DIN	E51606	100°C
EN	14214	120°C

Şekil 2.4' te parlama noktası belirlemek için kullanılan cihaz görülmektedir.



Şekil 2.4. Parlama noktası ölçüm cihazı [36]

2.6. Hint Yağı Bitkisi

Bu bölümde hint yağı bitkisinin (*Ricinus communis* L.), tarihçesi, botanik özellikleri, yetiştirildiği bölgeler ve kullanım alanları hakkında bilgi verilmektedir. Ayrıca bitkiden elde edilen yağın ithalat değerleri, kullanım alanları, fiziksel ve kimyasal özellikleri (yağ asidi bileşimi) ve hint yağının çeşitli kimyasal modifikasyonları, türevleri, türevlerinin kullanım alanlarıyla ilgili bilgi verilmektedir.

2.6.1. Hint Yağı Bitkisi ve Özellikleri

Hint yağı bitkisinin diğer bitkiler arasında gruplandırılması aşağıdaki gibidir [40].

Alem	: Plantae
Alt Alem	: Tracheobionta
Şube	: Magnoliophyta
Sınıf	: Magnoliopsida
Alt Sınıf	: Rosidae
Takım	: Euphorbiales
Familiya	: Euphorbiaceae
Tür	: Ricinus communis

2.6.2. Hint Yağı Bitkisinin Tarihçesi

Bazı araştırmacılar hint yağının ana vatanının Tropik Afrika, bazıları Habeşistan ya da Mısır olduğunu, bazıları ise kökenin Tropiklerde, Güney Asya'da ya da Hindistan'da aranması gerektiğini söylemektedir [41]. Hint yağının kullanım alanlarının milattan önceki yıllara dayandığı bilinmektedir. Ricinus Communis bitkisi eskiden Mısırlılar tarafından ilaç hammaddesi olarak kullanılmıştır. Hint yağı bitkisi dünyanın birçok kısmında özellikle tropikal bölgelerde ve akdeniz bölgelerinde yetiştirilmektedir. Bitki, yapraklarının elin ayasına benzerliği nedeniyle eski Yunanlılar tarafından Kiki, Romalılar tarafından ise Palma Kristi olarak adlandırılmıştır. Zamanla hint yağının diğer bitkisel yağlara göre (zeytinyağı gibi) kimyasal kompozisyonu açısından farklı karakterizasyona sahip olduğu ortaya çıkmıştır. 1800'lü yılların ortalarında risinoleik asidin hint yağının temel yağ asidi olduğu belirlenmiştir. Daha sonra yapılan çalışmalarda hint yağına müshil etkisini bu yağ asidinin kazandırdığı ortaya çıkmıştır [42]. Hint yağının kullanım alanları zamanla değişiklik göstermiştir. Altmış yıl öncesinde tıp alanında ve endüstride yağlayıcı olarak kullanılırken, günümüzde çeşitli türevlerine dönüştürülerek insanoğluna daha yararlı bir şekilde kullanılmaktadır [43].

2.6.3. Botanik Özellikleri

Hint yağı bitkisinin pek çok türü vardır. Fakat genel olarak büyük tohumlu ağaçlar veya ağaççıklar ve küçük toumlu otsu bitkiler olmak üzere iki büyük gruba ayrılabilirler [44]. Bitki tropik bölgelerde 15 metre boya kadar ulaşabilir. Bitkinin yaprak şekli, renk, boyut ve tohum üzerindeki noktalar açısından birçok çeşitleri vardır [45]. Tohumlar elde edildiği ortam koşullarına göre değişiklikler göstermekte. Kabuk kısmı sert, parlak, gri, kahve ve siyah renkli ya da siyah veya kahverengi lekelerle sahiptir [46]. Kabuk oldukça ince ve çabuk kırılma özelliğine sahiptir. Eğer tohumlar iyi koşullarda saklanırsa çok az koku ve tada sahiptir. Kabuğun kırılması durumunda elde edilecek olan yağda ekşime ve bozulma meydana gelmektedir [47]. Bitki mahsulleri elle veya mekanik olarak verimi arttırmak için dönemde en fazla iki defa hasat edilmektedir [48]. Hint yağı bitkisi tohumları oldukça toksiktir ve bir tanesi bile insan ölümlerine neden olabilir [49]. Hint yağı tohumunun ekonomisini iyileştirmek için Hindistan'da son yıllarda birkaç tane yeni, erken olgunlaşan ve yağ verimi yüksek türler yetiştirilmektedir [50]. Hint yağı bitkisi ve tohumunun Şekil 2.5 verilmektedir.



Şekil 2.5. Hint yağı bitkisi ve tohumu

2.6.4. Yetiştirildiği Bölgeler

Hint yağı bitkisi çoğunlukla tropikal ülkelerde yetiştirilmekte olup, bitkinin değişen hava koşullarına karşı dayanıklı olduğu bilinmektedir. Yüksek yağ verimine sahip bitki genellikle 20-26°C sıcaklık aralığında düşük nemli bölgelerde yetişmektedir [4]. Hint yağı bitkisinin vatanı Hindistan olup halen Afrika, Güney Amerika, Uzak Doğu ve Akdeniz Bölgesinde yaygın olarak yetiştirilmektedir. Bitki tohumunun çok az bir kısmı ihraç edilmektedir [47]. Dünyada toplam hint yağı tohumu üretimi yaklaşık olarak 1.000.000 ton ve elde edilen hint yağı 500.000 ton olarak tahmin edilmektedir. Hint yağının başlıca üretici ülkeler tarafından 1990-2000 yılları arasındaki üretim hacmi Tablo 2.8’de verilmektedir [4]. Ülkemizde hint yağı bitkisi kolaylıkla yetiştiği ve tohumlarında da fazla miktarda yağ bulunduğu halde, tarımı yapılmamaktadır ve buna bağlı olarak hint yağı üretilmemektedir. Küçük tohumlu otsu türler süs bitkisi olarak yetiştirilmektedir. Türkiye’nin ihtiyacı ithalat yoluyla karşılanmaktadır [44]. Ayrıca Güney Anadolu sahillerinde (Antalya, Antakya, Urfa) yabancı türlerine rastlanmakta olup elde edilen tohumlarda ortalama %50 sabit yağ bulunduğu saptanmıştır [46].

Tablo 2.8. Hint yağının dünyadaki üretim hacmi

Üretici ülkeler	1990 x10 ³ ton	1991 x10 ³ ton	1992 x10 ³ ton	1993 x10 ³ ton	1994 x10 ³ ton	1995 x10 ³ ton	1996 x10 ³ ton	1997 x10 ³ ton	1998 x10 ³ ton	1999 x10 ³ ton	2000 x10 ³ ton
Hindistan	192	239	232	242	271	333	344	278	304	294	324
Çin	77	86	93	97	97	82	73	83	80	91	105
Brezilya	77	73	54	28	28	22	21	43	21	19	52
Tayland	18	18	19	18	16	14	10	9	9	7	5
AB	20	16	14	12	14	11	9	10	7	8	8
Diğerleri	54	52	49	41	20	21	22	19	20	23	23
Toplam	438	484	461	438	446	483	479	442	441	442	517

2.6.5. Hint Yağı

Hint yağı bitkisi tohumları %50 civarında ham yağ, zehirli bir toksalbumin olan risin, risinin isimli bir alkaloid, streoller, E vitamini ve enzimler (lipaz) taşır ve alkolde kolaylıkla çözülür [44]. Ricinus yağı, Palma Christi, Tangantangan yağı ve Neoloid olarak isimlendirilen hint yağı [49], hint yağı bitkisinin tohumlarının ekstrakte edilmesi ile elde edilmekte olup, viskoz, soluk sarı renkte, uçucu olmayan, kötü tatlı, kurumayan bir yağdır. Diğer bitkisel yağlara kıyasla uzun raf ömrüne sahiptir ve yüksek sıcaklıklara ısıtılmadıkça bozulmaz [4]. Diğer tüm bitkisel yağlar gibi, her bir karboksil grubu uzun bir yağ asidi zinciri ile esterleşmiş gliserolden oluşan bir trigliserittir [52]. Hint yağını eşsiz kılan özelliği, yağın %87-90 oranında tek çift bağa sahip 18 karbonlu hidroksile bir yağ asidi olan risinoleik asit (cis-12-hidroksioktadek-9-enoik asit) içermesidir [49]. Yapısı oleik aside çok benzer, aralarındaki tek fark risinoleik asidin 12 numaralı karbona bağlı bir OH grubu taşımasıdır [44]. Risinoleik asit trigliseridi olarak da adlandırılan hint yağı, hemen hemen saf madde olma özelliği ile doğada bulunan birkaç gliseritten biridir. Risinoleik asit sıvı bir yağ asidi olup alkol, aseton, eter ve kloroformda çözünmektedir [53]. Hint yağının endüstrideki kullanım alanı oldukça geniştir [49]. Hint yağı boya, kaplama ve mürekkep endüstrilerinde uzun yıllardır kullanılmakta olup bir hammadde olarak birçok avantaja sahiptir. Kolayca bulanabildiği gibi oldukça ucuz ve çevre dostudur. Piyasada iki çeşit hint yağı satılmaktadır; farmasötik ve endüstriyel derecelerde birinci, ikinci ve üçüncü kalitede olanları bulunmaktadır. Presle elde edilen ve çözücü ekstraksiyonuna maruz kalmayan hint yağı birinci derecedendir [48].

2.6.6. Hint Yağının İthalatı ve İhracatı

Hint yağının son 10 yıllık ithalat değerleri Tablo 2.9'da ihracat değerleri ise Tablo 2.10'de verilmektedir [54].

Tablo 2.9. Hint yağının ithalat değerleri

Yıllar	Miktar (kg)	Fiyat (\$)	Birim Fiyat (\$/kg)
1997	1061289	1035848	0,98
1998	948266	964533	1,02

1999	907009	974385	1,07
2000	1110645	1143566	1,03
2001	976384	785727	0,80
2002	1415419	1128067	0,79
2003	1603440	1714329	1,07
2004	1890540	2080461	1,10
2005	1923037	2015643	1,05
2006	2075050	1970587	0,95

Tablo 2.10. Hint yağının ihracat değerleri

Yıllar	Miktar (kg)	Fiyat (\$)	Birim Fiyat (\$/kg)
1998	3700	2696	0,73
1999	600	957	1,59
2000	893	2078	2,32
2001	5900	5839	0,99
2002	19790	21250	1,07
2003	19146	24298	1,27
2004	44250	54211	1,22
2005	64616	78152	1,21

Şekil 2.9’da görüldüğü gibi, son 10 yıldır hint yağının ülkemize düzenli olarak ithalatı gerçekleşmekte ve bu da ülkemizde hint yağının kullanımının yaygın olduğunu göstermektedir. Türkiye’de hint yağı üretilmemesine rağmen, Tablo 2.10’da verilen Türkiye İstatistik Kurumu’ndan alınan bilgilere göre az da olsa ihracat yapılmaktadır. Burada Türkiye’nin; hint yağını ithal ettiği ülke ile ihracatını yaptığı ülke arasında aracı kurum olduğu tespit edilmiştir.

2.6.7. Hint yağı kullanım alanları

Hint yağı bitkisi ortalama olarak %46-55 oranında yağ içerir. Ancak içerdiği yağ asidi bileşiminden dolayı gıda sektöründe kullanılmayıp endüstriyel yağ grubunda olduğundan yağlı boyalar, vernikler, yer döşeme örtüleri ve greslerde yaygın olarak kullanılmaktadır [55]. Suyu karşı dayanım özelliği sayesinde kaplama dokumalarında, koruyucu örtü veya maskelerde, yalıtımda, yiyecek kaplarında ve silan endüstrisinde kullanılmaktadır. Kötü koku ve tadına rağmen, birçok sentetik çiçek kokusunun ve meyve esanslarının (yasemin, kayısı, şeftali, erik, gül, limon, muz gibi) kaynağıdır. Bu maddelerin üretimi için kullanılan aroma ve kokular (esterler) hint yağının en önemli bileşeni olan risinoleik asitten elde edilmektedir. Hint yağı, sabun, mürekkep ve plastik yapımında, aydınlatmada, boya endüstrisinde ve tekstil endüstrilerinde ve bazı insektisitlerde kullanılmaktadır [56]. Yağı uzaklaştırıldığında geriye kalan posa zehirli olduğundan toksinleri parçaladığı bilinen alkali veya buhar ile muamele edilmediği sürece hayvan yemi olarak kullanılmamaktadır [57]. Önceleri müşhil olarak kullanılmasına rağmen, zehirlenmeler yol açtığı için günümüzde kullanımı yasaklanmıştır. Tohumunda bulunan risin adlı zehirli maddenin varlığından dolayı tehlikeli olabildiği için Batı ülkelerinde müşhil olarak kullanılmamaktadır [47]. İtalya'da bitkinin gövdesi gemilerde halat yapımında kullanılmakta olup Polonya-Doğu Afrika'da oltaların kullanım ömürlerini uzatmak için hint yağı ile muamele edilmektedir. Güneydoğu Afrika'da ve Brezilya'da ise hint yağı vernik ve tekstil endüstrilerinde yağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Yağlayıcı madde olarak kullanımı uçak motorlarında düşük sıcaklıklarda ve yükseklerdeki kararlılığı açısından oldukça elverişlidir. Ayrıca yağmurluk üretiminde de kullanım alanı oldukça geniştir [58]. Bu kullanımları yanında yağın bazı yöntemlerle dönüşümleri yapılarak çeşitli türevleri halinde de kullanılmaktadır. Risinoleik asidin içerdiği hidroksil grubu ve çift bağ, yağda çok sayıda kimyasal reaksiyona girme şansı vermektedir. Hidroksil grubu reaktif olduğundan, molekül bu noktada yüksek sıcaklık pirolizi ve kostik füzyonu ile daha kısa zincir uzunluğundaki değerli ürünlere dönüşebilmektedir [4]. Hint yağının farklı ortam şartlarındaki pirolizi sonucunda, parfümeri, ilaç, polimer, boya ve daha birçok endüstride hammadde veya ara madde olarak kullanılacak çeşitli ürünler elde edilmektedir [59]. Hint yağı ve türevleri endüstride çok fazla kullanım alanına sahip olup her gün yenileri keşfedilmektedir. Hint yağının ana bileşiği olan ve bir çift bağ içeren risinoleik asidin içerdiği OH grubu uzaklaştırıldığında ikinci çift bağ konjüge yapıda oluşmaktadır.

Dolayısıyla bu yapıya sahip yağ asitleri çok çabuk kuruma özelliğini kazanmış olduğundan suyu uzaklaştırılmış hint yağı (dehidrate hint yağı) boya ve vernik üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır [60].

2.6.8. Hint Yağının Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

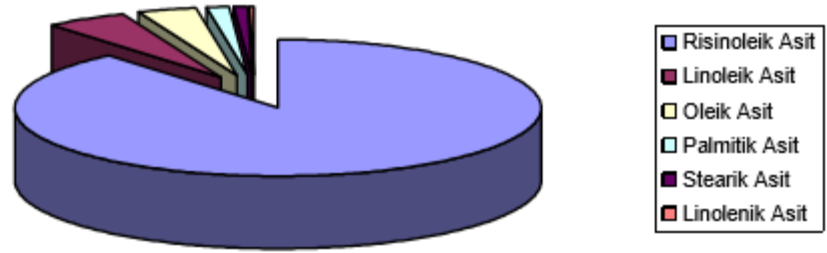
Hint yağının yaklaşık %90'ını, risinoleik asit $[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}]$ olarak bilinen bir yağ asidi oluşturur. Ayrıca tohum, yağda bulunmayan fakat oldukça toksik olan alkaloid risinini ve lektin olan risini içermektedir. Risin bilinen en toksik maddelerden olup ölümcül zehirlenmelere yol açmaktadır [53, 61].

Yağın asit değeri, bitkinin yaşıyla, zarar görmüş tohumların kullanılmasından, yanlış ekstraksiyon ve uzun süreyle depolama ile artmaktadır [47]. Hint yağının fiziksel özellikleri Tablo 2.11'de verilmektedir [49].

Tablo 2.11. Hint yağının fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellik	Değer
Asitlik indisi (maksimum)	2,0
Hidroksil değeri	160–168
Sabunlaşma indisi	176–184
Sabunlaşmayan madde miktarı (maksimum, %)	0,7
İyot indisi	84–88
Peroksit değeri	<5
Kırılma indisi (25°C)	1,4764–1,4778
Bağıl yoğunluk (25/25°C)	0,957–0,961
Viskozite (25°C) ($\text{cm}^2/\text{s}=\text{stokes}$)	6,5–8,0

Hint yağının yağ asidi kompozisyonu ve Şekil 2.6 ve Tablo 2.12’de verilmektedir.



Şekil 2.6. Hint yağının yağ asidi bileşimi

Tablo 2.12. Hint yağının yağ asidi kompozisyonu

Yağ Asidi	Hint Yağı			
	(Ogunniyi 2006)	(Oliveira ve ark. 2005)	(Lima ve ark. 2004)	(Schneider ve ark. 2004)
Risinoleik Asit (C18:1-OH)	89,0	88,9	88,0	88,2
Linoleik Asit (C18:2)	4,2	4,9	2,0	4,9
Oleik Asit (C18:1)	3,0	3,5	5,0	3,8
Palmitik Asit (C16:0)	1,0	1,4	2,0	1,4
Stearik Asit (C18:0)	1,0	0,9	3,0	0,9
Dihidroksistearik Asit	0,7	-	-	-
Araşidik Asit (C20:0)	0,3	-	-	-
Linolenik Asit (C18:3)	0,3	0,3	-	0,3
Σ Doymuş Yağ Asitleri	2,3	2,3	5,0	2,3
Σ Doymamış Yağ Asitleri	97,2	97,6	95,0	97,2
Σ Yağ Asitleri	99,5	99,9	100,0	99,5

2.7. Biyodizel İle İlgili Standartlar

Biyodizel yakıtı çeşitli kaynaklardan elde edilebilmektedir. Üretilen biyodizellerin kullanılmasıyla ilgili bazı standartlar mevcuttur. Bu standartlar ülkeden ülkeye değişmektedir. ABD’de geçerli olan biyodizel standardı ASTM 6751 (American Society for testing and Material) uluslararası biyodizel standardı kullanmaktadır. Avusturya ise ONORMC 1191 standardını kullanmaktadır. Ülkemizde bu konuya ilişkin standart ise olan dizel motorları için yağ asidi metil esterleri (YAME, Biyodizel) TSE 14214 biyodizel standartları Tablo 2.13’te verilmiştir. Bu standart EN 14214 standardı baz alınarak TSE standardı hazırlanmıştır.

Bu standartların temel amacı %20 ve daha düşük oranlarda kullanılacak karışımlarındaki biyodizelin kalitesi belirli sınırlar altında tutmaya yarar. Hazırlanan biyodizel temelli karışımlar dizel yakıtı ile karıştırılmadan önce bu TSE 14214 standardını sağlamak zorundadır. TSE’nin diğer yakıt standardında bulunduğu dizel motor güvenliği ve memnuniyeti için gerekli fiziksel ve kimyasal özelliklerinin sınırları TSE 14214 de bulundurmaktır.

Motor üreticileri genelde malzemedan kaynaklanan veya işlemeden dolayı oluşan hatalara karşı güvence vermektedir. Bu güvenceler dış etkenler yüzünden meydana gelen hasarları kapsamamaktadır. Kullanılabilecek farklı türdeki karışımlar motor üreticileri tarafından sağlanan güvenceler arasında değildir. Eğer motorda biyodizel yakıtının kullanılması ile bir hata oluşmadı ise motor üreticileri bu problemi çözmeliler. Şu ana dek motor üreticileri biyodizelin motora olan etkileri araştırmaktadırlar. Bir motorda biyodizel kullanılmadan önce üreticisi ile iletişime geçilmelidir [62].

Tablo 2.13’te çeşitli ülkelerdeki biyodizel standartları geçerli olan biyodizel standartları gösterilmiştir.

Tablo 2.13. Çeşitli ülkelerdeki biyodizel standartları [62]

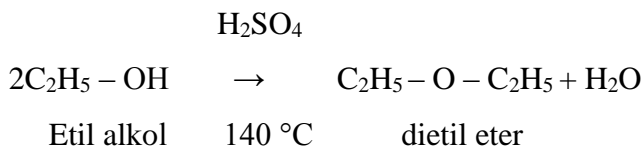
Özellikler	AB	Avusturya	Fransa	Almanya	İtalya	İsveç	ABD
Standart	TS EN 14214	ONC 1191	Journal Official	DIN V 51606	UNI 10635	SS 155436	ASTM D-6751
Tarih	2003	Temmuz 1997	Eylül 1997	Eylül 1997	Kasım 1996	Kasım 1996	Ocak 2002
Uygulama	YAME	YAME	BYME	YAME	BYME	BYME	YAME
Yoğunluk, 15 °C, g/cm ³	0,86-0,90	0,85-0,89	0,87-0,90	0,8750,90	0,86-0,90	0,87-0,90	-
Kinematik Viskozite, 40 °C, mm ² /s	3,5-5	3,5-5	3,5-5	3,5-5	3,5-5	3,5-5	1,9-6
Destilasyon, %95, °C	-	-	≤360	-	≤360	-	≤360
Parlama noktası, °C	≥120	≥100	≥100	≥110	≥100	≥100	≥130
Soğukta Filtre Tıkama Noktası, °C	Ülkesel Özellik	0/-15	-	0/-10/-20	-	-5	-
Akma Noktası, °C	-	-	≤-10	-	≤0≤-15	-	-
Condration Kök Bakiyesi, Ağırlık %'si %100, %10	- ≤0,3 -	≤0,05 - -	- ≤0,3 -	≤0,05 - -	- ≤0,5 -	- - -	≤0,05 - -
BakırKorozyonu, 3h, 50 °C	1	-	-	1	-	-	≤No,3
Setan Sayısı	≥51	≥49	≥49	≥49	-	≥48	≥47
Nötralizasyon Sayısı, mgKOH/g	≤0,5	≤0,8	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,6	≤0,8
Alkalite, mg/kg	-	-	≤5	≤5	-	≤10	-
İyot Sayısı	≤120	≤120	≤115	≤115	-	≤125	-
Su İçeriği, mg/kg	≤500	-	≤200	≤300	≤700	≤300	≤0,05%
Fosfor, mg/kg	≤10	≤20	≤10	≤10	≤10	≤10	≤0,001 %mass
Belirlenememiş Bileşenler, mg/kg	≤24	-	-	≤20	-	≤20	-

Kükürt, Ağırlık %'si	≤10 (mg/kg)	≤0,02	-	≤0,01	≤0,01	≤0,001	≤0,05
C18:3 ve Yüksek Doymamış Yağ Asitleri, Ağırlık %'si	-	≤15	-	-	-	-	-
C(x:4) ve Büyük Doymamış Yağ Asitleri, Ağırlık %'si	≤1	-	-	-	-	-	-
Okside Kül, Ağırlık %'si	-	-	-	-	≤0,01	≤0,01	-
Sülfate Kül, Ağırlık %'si	≤0,02	≤0,02	-	≤0,03	-	-	≤0,02
Metanol, Ağırlık %'si	≤0,2	≤0,2	≤0,1	≤0,3	≤0,2	≤0,2	-
Linoleik Asit, Ağırlık %'si	≤12	-	-	-	-	-	-
Monogliseritler, Ağırlık %'si	≤0,8	-	≤0,8	≤0,8	≤0,8	≤0,8	-
Diğliseritler, Ağırlık %'si	≤0,2	-	≤0,2	≤0,4	≤0,2	≤0,1	-
Trigliserit, Ağırlık %'si	≤0,2	-	≤0,2	≤0,4	≤0,1	≤0,1	-
Serbest Gliserin, Ağırlık %'si	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02	≤0,02
Toplam Gliserin, Ağırlık %'si	≤0,25	≤0,24	≤0,25	≤0,25	-	-	≤0,24
Ester, Ağırlık %'si	≥96,5	-	≥96,5	-	≥98	≥98	-
Grup I Metaller (Na,K), mg/kg	≤5	-	-	-	-	-	-
Grup II Metaller (Ca,Mg), mg/kg	≤5	-	-	-	-	-	-
Oksidasyon Kararlılığı, h, 110 °C	Minimum. 6 saat	-	-	-	-	-	-

3. DİETİL ETER

Dietil eter; etoksietan, etil eter, sülfürik eter ve basit eter olarak da bilinen berrak, renksiz, uçucu, kolay yanan ve parlayabilen bir bileşiktir. Çoğunlukla genel anestetik ve çözücü olarak kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda yüksek setan sayısı ve yüksek oksijen içeriği sayesinde dizel yakıt katkısı olarak öne çıkmaktadır.

Oksijenli yakıtlar, daha temiz ve daha rahat solunabilir hava gereksinimlerini karşılayabilmek, ozon oluşturuvcu hava kirliliğini önlemek, tehlikeli karbonmonoksit kirliliğini azaltmak ve diğer zehirli hava kirleticileri minimum düzeye indirmek amacıyla kullanılırlar. Oksijenli yakıtlar, motorlu taşıt yakıtlarına ilave edildiğinde zehirli egzoz gazı emisyonlarının önemli ölçüde azalmalarını sağlayan, katıldığı yakıtın daha temiz yanmasına yardımcı olan, oksijen açısından zengin bileşiklerdir. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan zararlı emisyonlar özellikle sanayileşmiş ülkeler arasında, insan kaynaklı azot oksit oluşumlarının neredeyse yarısından, karbon monoksit (CO) emisyonlarının yaklaşık üçte ikisinden ve hidrokarbon emisyonlarının da yaklaşık yarısından sorumludur. Temiz yanan oksijenli yakıtlar, otomotiv kaynaklı hava kirliliği ile mücadelede önde gelen çözümlerden biridir [63]. Dietil eter, etil alkolden H₂SO₄ katalizörlüğünde su çekilmesi ile elde edilir.



Dizel motorlarının performanslarının artırılması ve egzoz emisyonlarının azaltılması için en çok üzerinde çalışılan yöntem dizel yakıtına çeşitli katkıların ilave edilmesi yöntemidir. Geleneksel dizel yakıtının çeşitli katkılarla harmanlanmasına olan ilginin etkisiyle bazı metalik katkı maddeleri, oksijenli katkı maddeleri ve ateşleme iyileştirme özellikli katkı maddeleri geliştirilme yönünde çalışmalar hız kazanmıştır. Dizel motorlarda DEE (dietil eter), çeşitli oranlarda dizel yakıtı ve hint yağı biyodizel ile karıştırılarak DEE katkılı yakıtlar oluşturulmuştur.

4. LİTERATÜRÜN ARAŞTIRILMASI

Yapılan bir çalışmada, hint yağı biyodizeli ve dizel yakıt karışımları kullanılmıştır. Direkt enjeksiyonlu dizel motorunun performans ve emisyon özellikleri deneysel olarak araştırılmış. Bu amaçla hint yağı transesterifikasyon yöntemiyle ile biyodizele dönüştürülmüştür. Ardından, biyodizel yüzdesinin, fren gücü, özgül yakıt tüketimi, azot oksitler (NO_x), karbondioksit (CO_2), karbon monoksit (CO) ve is emisyonu, motor yükü ve hızı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çeşitli motor devir ve yüklerinde çeşitli yüzdelerdeki biyodizel (%0, %5, %10, %15, %20, %25 ve %30) ile dizel yakıt karışımları test edilmiştir. Sonuçlar, hint yağı biyodizeli ile dizel yakıtı karışımlarının kabul edilebilir bir motor performansı sağladığını göstermiştir. Emisyonların azaldığı görülmüştür. Deneysel araştırmadan, dizel ile karşılaştırıldığında biyodizelin daha düşük ısı değeri nedeniyle motor gücünün biyodizel kullanarak az miktarda azaldığı tespit edilmiştir. Tüm biyodizel karışımlarındaki özgül yakıt tüketimi dizel yakıtın üstündedir. Biyodizel kullanımı egzoz emisyonu üzerinde olumlu bir etkisi olmuştur. NO_x dışındaki tüm emisyonlarda azalma gözlemlenmiştir. Biyodizelin tüm karışımları için NO_x emisyonu dizelden fazladır. [64].

Bir başka araştırmada, hint yağı metil ester, bir katalizör olarak potasyum hidroksit (KOH) kullanılarak transesterifikasyon yöntemiyle hazırlanmıştır. Dört zamanlı, tek silindirli sıkıştırma ateşlemeli motorda test edilmiştir. Çeşitli yüzdelerdeki biyodizel (%5, %10, %15, %20) yakıt karışımları test edilmiştir. Testler farklı yüklerde ve sabit devirde gerçekleştirilmiştir. Karşılaştırmalı testin emisyon sonuçları CO ve duman emisyonlarının dizel ile karşılaştırıldığında daha düşük, karbondioksit (CO_2) ve azot oksit (NO_x) marjinal olarak arttığı tespit edilmiştir, ısı verimliliği ve özgül yakıt tüketiminin azaldığı görülmüştür. [65].

Hint yağı, %80 ile %90 oranında risinoleik asit, %3 ile %6 oranında linoleik asit, %2 ile %4 oleik asit ve %1 ile %5 diğer doymuş yağ asitleri dahildir. Daha önce de belirtildiği gibi hint yağının büyük bir kısmı olan risinoleik asit oldukça yapışkandır. Biyodizelin yüksek oranlarda motorda kullanılmamalıdır [66].

Fakat hint yağı yüksek viskozitesi, diğer bitki yağlarından daha iyi yağlanmaya neden olur. Hint yağı biyodizeli yüksek viskozitesi nedeniyle dizel motorunda herhangi bir modifikasyona gerek kalmadan karışımlarda %30'dan fazla kullanılmamalıdır.

Ramezani ve arkadaşları, üretim sırasında hint yağı transesterifikasyon reaksiyonu üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Dört çeşit katalizörü (NaOCH₃, NaOH, KOCH₃ ve KOH) araştırmışlar ve KOH kullanarak maksimum biyodizel verimine neden olduklarını bulmuşlardır [67].

Başka bir çalışmada, Sousa ve ark., hint yağının transesterifikasyonu için en iyi reaksiyon koşulunun 1:6 alkol / yağ molar oranı ve %0,5 katalizör ağırlığı ile elde edildiğini göstermiştir.

Berman ve ark. hint yağı biyodizelinin (B100) özelliklerini ve dizel ile hacimce %10 (B10) oranında karışımı araştırmışlardır. Biyodizelin sadece iki özelliğinin standart sınırları aştığını belirtmişlerdir. Bu özellikler kinematik viskozite (15.17mm²/s) ve damıtma sıcaklığı (398,7 ° C) olmuştur. B10 için, biyodizelin tüm özellikleri standart sınırları sağlamıştır. Dizel motorlarda hint yağı biyodizeli kullanımı açısından oranı düşük tutmak standartları sağlama noktasında daha sağlıklı olacağı görülmüştür [68].

Panvar ve ark., belirli oranlarda hint yağı biyodizeli ile dizel yakıt verilen bir dizel motorun performansını ve azot oksit (NO_x) emisyonlarını değerlendirmişlerdir. 1500rpm'de motor devrini sabit tutup, farklı yükleri denemişlerdir. Biyodizelin daha düşük karışımlarının motor performansını geliştirdiğini gözlemlemişlerdir. Sonunda, optimum biyodizel oranı olarak B10'u seçmişlerdir [69].

Valente ve ark., hint yağı biyodizeli ile dizel yakıt karışımlarının dizel jeneratörünün yakıt tüketimine ve egzoz emisyonlarına olan etkilerini araştırmışlardır. Dizel yakıtına %5, %20 ve %35 hint yağı biyodizeli içeren yakıt karışımları, motor yükü 9.6 ile 35.7kW arasında değişen şekilde test etmişler. Sonuç olarak yakıt enjeksiyon sisteminin biyodizel ile motorun düzgün çalışması için modifikasyonun gerekli olduğunu söylemişler [70].

İşcan ve Aydın'ın yaptığı bu çalışmada dimetil eter ilavesinin boşta ve orta yükte bir dizel motorun performansı ve emisyonları üzerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Aspir yağından biyodizel elde edilmiş ve yakıt karışımları hazırlanmıştır. D100 (%100 dizel), B100 (%100 biyodizel), B75DME25 (%75 aspir biyodizeli ve %25 dimetil eter), içerdikleri yakıt oranlarına göre isimlendirilmiştir. Deneysel çalışmalar dört zamanlı, dört silindirli, 18 kw güçte, NWK22 marka ve 4DW81-23D model bir dizel motorunda sabit devirde, rölantide ve %60 yükleme koşullarında yapılmıştır. Deneysel çalışma analiz sonuçlarına göre yakıtların emisyon ve performans değerlerindeki değişimler ortaya konmuştur. Motor boşta çalıştığı durumda CO emisyonları tüm yakıtlar için yüksek değerdeyken motor %60 yükte tüm test yakıtları için emisyon değerleri azalmıştır. Motor yükü arttırıldığında NO_x emisyonları tüm test yakıtları için artmıştır. Test yakıtları karşılaştırıldığında NO_x emisyonu B75DME25 yakıtı en düşük emisyon değerine sahiptir. HC emisyonları dizel yakıtına kıyasla, biyodizel ve karışımları için daha düşüktür. CO₂'nin değerleri, tüm test yakıtları için benzerdir. Özgül yakıt tüketimi dizel yakıtı için daha düşüktür. Kütleli yakıt tüketim değerleri boşta ve %60 yükte dizel yakıtı için daha düşüktür. %60 yükte en yüksek özgül yakıt tüketimi B75DME25 yakıtı için elde edilmiştir. Hem rölantide hem de %60 yükte kütleli yakıt tüketimi B75DME25 için daha yüksek olarak gözlenmiştir. Dizel yakıtının termal verimi, tüm test yakıtları arasında en yüksek, en düşük termal verim B100 yakıtı için elde edilmiştir [51].

Sezer tarafından yapılan çalışmada farklı oranlardaki dietil eter-motorin karışımlarının motor performansına etkileri incelenmiştir. Karışımlarda hacimsel olarak %2,5, %5, %7,5 ve %10 oranlarında dietil eter kullanılmıştır. Deneysel çalışmada direkt püskürtmeli tek silindirli sıkıştırma oranı 20 olarak ayarlanmış bir dizel motoru kullanılmış olup, tam gaz durumunda ve farklı devirde yapılmıştır. Çalışma sonuçları motorine dietil eter katılmasının ortalama efektif basınç, döndürme momenti ve efektif güç gibi motor performans parametrelerinde düşüşe neden olduğunu göstermiştir. Performans parametrelerindeki düşüş artan karışım oranı ile artmıştır. Ortalama efektif basınçtaki maksimum düşüş %5,1 olarak %10'luk karışım ile elde edilmiştir. Diğer taraftan %7,5 karışım oranına kadar efektif verim artmış ve özgül yakıt tüketimi azalmıştır. Efektif verimde en yüksek artış %10,9 olarak %7,5'luk karışım ile elde edilmiştir. Aynı yakıt karışımı özgül yakıt tüketiminde %8,7 düşüş sağlanmıştır. Ayrıca artan dietil eter oranı ile hava fazlalık katsayısında artış ve egzoz gazı sıcaklığında azalma meydana gelmiştir [71].

Rakopoulos ve Dimaratos tarafından yapılan çalışmada motorin ile hacimsel olarak %8, %16 ve %24 oranında karıştırılan DEE'nin tek silindirli dört zamanlı direkt püskürtmeli bir dizel motorda, motor performansına ve emisyonlara etkisi incelenmiştir. Deneyler 3 farklı yükte yapılmıştır ve yakıt tüketimi, azot oksitler, karbonmonoksit ve yanmamış hidrokarbon gibi parametreler ölçülmüştür. Sonuçlar motorun normal motorinle çalıştırılması sonucu elde edilen değerlerle kıyaslanmıştır. Deneylerin sonucunda DEE karışımları ile NO_x ve CO emisyonlarının azaldığı ve bu azalmanın karışımdaki DEE oranı arttıkça yükseldiği gözlenmiştir. Yanmamış hidrokarbon emisyonu DEE karışımı kullanımı ile artmıştır ve bu artış karışımdaki DEE oranı arttıkça yükselmiştir [72].

Sivalakshmi ve Balusamy yaptıkları çalışmada, herhangi bir değişiklik yapılmadan biyodizel kullanılan bir dizel motorda biyodizele DEE eklenmesinin motor performans ve emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Deneyler sabit devir ve farklı yüklerde yapılmıştır. Biyodizele %5 oranında DEE katılan karışımın saf biyodizele göre silindir basıncının ve ısı salınım oranının daha yüksek olduğu görülmüştür. Tam yükte CO emisyonunun azaldığı gözlenirken, duman emisyonunun ise neredeyse bütün yüklerde azaldığı gözlenmiştir. NO_x ve HC emisyonlarının ise arttığı gözlenmiştir [73].

Hariharan ve ark., yaptıkları çalışmada tek silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli ve ana yakıt olarak Tyre Pyrolysis Oil (TPO) kullanılan bir dizel motorda DEE ilavesinin etkilerini incelemiştir. Sonuçlar yakıt olarak normal dizel yakıt kullanılması ile karşılaştırılmıştır. DEE giriş havasına; 65 g/h, 130 g/h, 170 g/h oranlarında ilave edilmiştir. TPO ile birlikte 170 g/h oranında DEE eklendiğinde daha iyi motor performansı ve daha düşük emisyon değerleri elde edilmiştir. Normal dizel yakıt ile kıyaslandığında TPO-DEE karışımı NO_x emisyonu bakımından %5'lik bir azalma sağlamıştır. HC, CO ve duman emisyonu ise sırasıyla %2, %4,5 ve %38 daha fazla olmuştur [74].

Abhishek ve ark., bu çalışmada tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorda dizel DEE ve dizel-DEE-etanol karışımlarının motor performansı ve emisyonları üzerine etkilerini incelemiştir. Kullanılan yakıtlar; D95DEE5 (%5 DEE, %95 Dizel), D90DEE10, D90DEE5E5, D85DEE5E10, D85DEE10E5, D80DEE10E10 yakıtlarıdır.

Motorun termik veriminin %5 DEE oranında arttığı, %10 DEE oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Etanolün %5 ve %10 ilavesi durumunda ise her iki durumda da motorun termik veriminin arttığı sonucuna ulaşılmıştır. DEE ile birlikte etanol kullanımı CO, NO_x ve HC değerlerini önemli ölçüde azaltmıştır. En iyi performans ve en az emisyon salınımı ise D80DEE10E10 karışımında gerçekleşmiştir [75].

Rakopoulos tek silindirli, dört zamanlı, yüksek hızlı direkt enjeksiyonlu (HSDI), 'Hydra' dizel motorda, pamuk yağı ve içerisinde hacimsel olarak %20 metil ester bulunan yakıt karışımına n-bütanol veya DEE eklenmesinin yanmaya ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemiştir. Testler üç farklı motor yükünde yapılmıştır. Yakıt tüketimi, is, NO_x, CO ve HC emisyonları gibi parametreler ölçülmüştür. Saf pamuk yağı ve karışım yakıtlar kullanılarak motor performansında ve emisyonlarda meydana gelen değişimler karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre karışım yakıt kullanımıyla is, NO_x ve CO emisyonlarında azalmalar görülürken HC emisyonlarında artış gözlemlenmiştir. Özgül yakıt tüketimi karışım yakıtların kullanılmasıyla düşmüştür. Ayrıca DEE kullanımının n-bütanol kullanımına göre daha avantajlı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [76].

Sachuthanathan ve Jeyachandran yaptıkları çalışmada yakıt olarak su-biyodizel emülsiyonunu kullanan tek silindirli bir motorda yakıtta DEE eklenmesinin motor performansına ve emisyonlara etkisini araştırmışlardır. Emülsif yakıtın oranı %30'da sabit tutulurken, DEE oranı %5, %10 ve %15 olmak üzere üç farklı oranda kullanılmıştır. Deneyler direkt püskürtmeli, dört zamanlı, 5 HP'lik tek silindirli bir motor kullanılarak yapılmıştır. Deney sonuçları neticesinde DEE katılmasıyla termik verim üzerinde bir yan etki oluşmadan is ve NO_x emisyonlarında kayda değer derecede azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde HC ve CO emisyonlarında azalmalar sağlanmıştır. Ayrıca DEE ilave edilmesiyle NO_x emisyonlarına olumsuz bir etki oluşturmadan motor performansında yükselme olabileceği sonucuna varılmıştır. Üç farklı karışım oranı arasından %15 DEE karışımının en iyi motor performansı ve emisyon değerleri verdiği sonucuna varılmıştır [77].

Qi ve ark., deneysel çalışmalarında biyodizel ve dizel karışımlarına katkı maddesi olarak etanol ve DEE katılmasının motor performansına, emisyonlara ve yanma karakteristiklerine etkilerini direkt püskürtmeli bir dizel motorda araştırmışlardır. Deneyde kullanılan yakıtlar B30 (%30 biyodizel ve %70 dizel), BE-1 (%5 dietil eter, %25

biyodizel ve %70 dizel), BE-2 (%5 etanol, %25 biyodizel ve %70 dizel) olarak adlandırılmıştır. Deney sonuçlarına göre BE-1, B30 yakıtına göre daha düşük özgül yakıt tüketimine sahiptir. Yüksek motor yüklerinde, BE-1 ve BE-2 yakıtlarının kullanımı ile is emisyonlarında azalma gözlenmiştir. BE-2 yakıtının kullanımı ile NO_x emisyonlarında artış gözlenmiştir. BE-1 ve BE-2 kullanımı ile HC emisyonlarında artış gözlenirken, CO emisyonlarında bir azalma olmuştur [78].

Cinar ve ark., yaptıkları çalışmada HCCC-DI motorda DEE kullanımının motor performans ve emisyonlara etkisini incelemişlerdir. Deneyler 2200 rpm'de ve 19 Nm çalışma koşullarında yapılmıştır. DEE oranı kontrol edilebilir bir ünite ile ayarlanmış ve düşük basınç enjektörü kullanılarak giriş havasına püskürtülmüştür. DEE oranı %0 ile %40 arasında değiştirilmiş ve sonuçlar saf dizel yakıtı ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre egzoz gazı sıcaklığı %28,8 azalmıştır. NO_x ve is emisyonları sırasıyla %19,4 ve %76,1 kadar düşmüştür. CO ve HC emisyonlarında artış gözlemlenmiştir [79].

Nagdeote ve Deshmukh, biyodizel-dizel karışımına, DEE ve etanol katılmasının performans ve emisyon değerleri üzerindeki etkilerini direkt püskürtmeli bir dizel motor kullanarak test etmişlerdir. Deneylerde kullanılan yakıtlar DI (%100 dizel), BD (%20 biyodizel ve %80 dizel), BDET (%15 biyodizel, %80 dizel ve %5 dietil eter) ve BDE (%15 biyodizel, %80 dizel ve %5 etanol) olarak adlandırılmıştır. Deney sonuçlarına göre BDET yakıt karışımının kullanılması ile BD yakıtına göre daha düşük özgül yakıt tüketimi değerlerine ulaşılmıştır. Yüksek motor yüklerinde BDE ve BDET kullanımı ile daha düşük is emisyonu değerlerine ulaşılmıştır. BDET kullanımı ile, BDE ve BD'ye göre daha iyi motor performansı değerlerine ulaşıldığı gözlenmiştir [80].

Rakopoulos ve ark., tek silindirli, dört zamanlı, yüksek hızlı, direkt enjeksiyonlu bir Hydra motorda çeşitli biyoyakıtlar kullanarak performans ve emisyon değerlerindeki değişimi üç farklı motor yüklemesinde test etmişlerdir. Dizel yakıtına katkı maddesi olarak bitkisel yağ, biyodizel, etanol, n-bütanol ve DEE katılmasıyla oluşan karışımlar deney yakıtı olarak kullanılmıştır. Yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklığı, is, NO_x (azot oksitler), CO (karbon monoksit) ve toplam yanmamış HC (hidrokarbonlar) gibi parametreler ölçülmüştür. Yakıt karışımları kullanılarak elde edilen sonuçlar, saf dizel kullanımında elde edilen sonuçlar ile kıyaslanmıştır. Deney sonuçlarına göre, tüm karışım yakıtlarında

kullanılan biyoyakıt oranı arttıkça is, NO_x, CO ve HC emisyonlarında azalmalar gözlemlenmiştir [81].

Pugazhivadivul ve Rajagopan yaptıkları çalışmada tek silindirli direkt püskürtmeli bir dizel motorda, dizel ve biyodizel yakıtlarının farklı oranlarda karıştırılması ile elde edilen yakıtların motor performansı ve emisyonlara etkisini incelemişlerdir. Biyodizel kullanılan karışımların NO_x emisyonu değerlerinin, saf dizel yakıtına göre yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Daha sonra farklı oranlarda DEE ilave etmişlerdir ve tekrar yapılan deney sonuçlarına göre, düşük ve orta yüklerde DEE kullanımı ile NO_x emisyonlarında daha düşük değerler elde edilmiştir. Ancak yüksek yüklerde daha yüksek NO_x değerlerine ulaşılmıştır [82].



5. MATERYAL VE METOT

5.1. DeneYlerde Kullanılan Motorun Teknik Özellikleri

Hazırlanan test yakıtları Batman Üniversitesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü Motor Test Laboratuvarında bulunan dizel motoru olan INTER-IDE314NG marka ve model, 10 kW güç çıkışlı, 3 silindirli ve su soğutmalı dizel motoruna bağlı bir jeneratör kullanılan motorda yapılmıştır. DeneYlerin yapıldığı dizel motorlu jeneratör şekil'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Dizel Motorlu Jeneratör

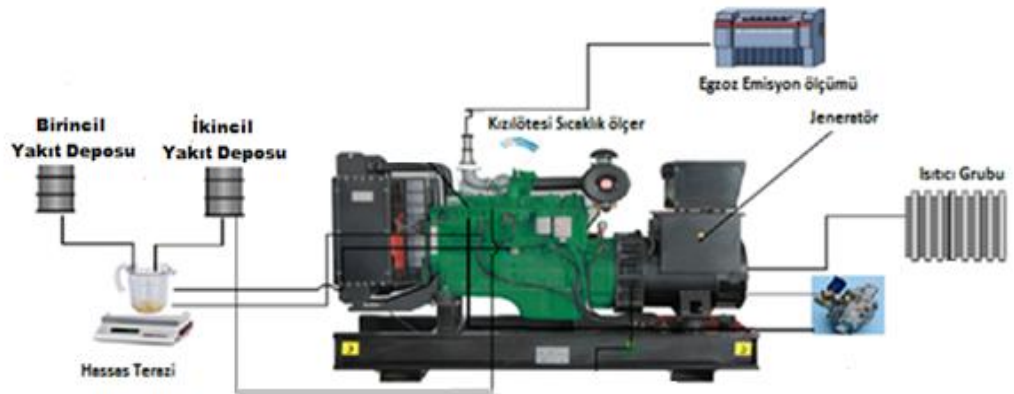
Tablo 5.1’de deneyde kullanılan motorun teknik özellikleri verilmiştir.

Tablo 5.1. Deneyde kullanılan motorun teknik özellikleri

Model	INTER
Güç Çıkışı @1500 rpm	12.5-13.5 kW
Soğutma Sistemi	Su Soğutmalı
Emme Sistemi	Doğal Emişli
Motor Modeli	IDE314NG
Çap x strok (mm)	80x90
Strok Hacmi	1,4 lt
Silindir Sayısı	3
Tutuşturma sistemi	Direkt
Sıkıştırma Oranı	17:1

Tablo5.2. Deney jeneratörünün özellikleri

MARKASI	GENPOWER GNT 13
Tipi	Senkron-Fırçasız
Gerilim Toleransı	0,5
Gerilimi	231-400V
Akım Dağılımı	L1-L2-L3
Dayanımı	2U+1000V 1800Volt
Güç Çıkışı	9,6-10,4kW@ 1500 dev/dak ve 50 Hz



Şekil 5.2. Deney test düzeneği şematik diyagramı

Yakıt tüketiminin hesaplanması dijital göstergeli terazi ile yapılmıştır. (Şekil 5.3).



Şekil 5.3. Yakıt Tüketimi Hesaplamada Kullanılan Elektronik Hassas Terazi

Motorda tüketilen yakıtı bulabilmek için elektronik süreölçer kullanılmıştır. Motora yakıt deposu yerine başka bir yakıt deposu üzerine konumlandırılmış ve boru yardımıyla yakıt hattına bağlanması sağlanmıştır.

Veri toplama işlemine başlamadan önce her bir testten önce motor kararlı hale gelmesi (motor sıcaklığı 85-90°C) için o testte kullanılan yakıt ile bir süre çalıştırılarak diğer yakıtın motorda kullanılması sağlanmıştır. Yakıt değişimi sırasında yakıt deposunda bulunan yakıt boşaltılarak, yeni yakıt ilave edilmiştir. Motorun yüklenmesi jeneratöre alıcılar bağlanarak sağlanmıştır. Alıcılar çalıştığında motor istenilen yükte çalışması sağlanmıştır.



Şekil 5.4. Egzoz Gazı Analiz Cihazı

Egzoz sıcaklık ölçümü Raytek marka kızılötesi lazer termometresi yardımıyla egzoz manifoldu çıkışında aynı noktadan ölçülmüştür.

Tablo 5.3. Capelec Cap 3200 Gaz Analiz Cihazının Teknik Özellikleri

Parametre		Ölçme Aralığı	Hassasiyet
HC	(Hidrokarbon)	0-20000 ppm	1 ppm
CO ₂	(Karbondioksit)	%0-20	%0,1
CO	(Karbonmonoksit)	%0-15	%0,001
O ₂	(Oksijen)	%0-21,7	%0,01
NO _x	(Azotoksit)	0-5000 ppm	1 ppm

5.2. Hint Yağından Biyoyakıt Üretimi

Deneyde kullanılmak için temin edilen hint yağı ilk olarak bir kaptaki karıştırıcı ile sıcaklık 125 °C'e kadar ısıtılmıştır. İşlem sonunda yağın içeriğinde bulunan su molekülleri buharlaşarak yağdan uzaklaştırılmıştır. Sıcaklığı yaklaşık olarak 120 °C olan yağ, soğumaya bırakılarak 53-57 °C ye kadar tekrar ısıtılmıştır. Bu işlemden sonra 1000 ml yağa 200 ml metanol ve katalizör olarak da 4 gr potasyum hidroksit ilave edilerek sabit karıştırma hızı ve sıcaklıkta 50-60 dk. boyunca işlem sürdürülmüştür.



Şekil 5.5. Hint yağının metanol ile karıştırılması

Reaksiyona girmiş olan yağ, 1 gün boyunca oda koşullarında bekletilmiştir. Bunun sonucu olarak, yağın dip kısmında yoğunluğu yüksek olan gliserol çökmüştür. Meydana gelen bu heterojen karışımdan, gliserol bir huni yardımıyla farklı bir kapa alınmıştır. Daha sonra yıkama işlemi olarak tanımladığımız, gliserolden arındırılmış biyodizel hacimsel olarak 1:1 oranında su ilave edilerek yıkama işlemi yapılarak sıcaklığı 120 °C'ye kadar artırılarak saf biyodizel elde edilmiştir. Bu esnada karışımdaki suyun buharlaşması için karıştırıcı da aktif olarak kullanılmıştır.



Şekil 5.6. Hint yağındaki gliserolün çökmesi

Yıkama işlemi yaklaşık 3-4 saat devam etmiştir. Bu sayede hem saf biyodizel elde edilmiş hem de karışımda bulunan partiküllerde buharlaşarak veya tortu olarak dibine çökmüştür.



Şekil 5.7. Hint yağı biyodizelinin yıkama işlemi

5.3 Kullanılan Karışımlar

Hazırlanan yedi farklı karışımın oranları ve isimleri Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tablo 5.4.Karışımların adı ve oranları

Karışım Adı	Dizel Yakıt (%)	Hint Yağı Biyodizeli (%)	Dietil eter (%)
D100	100	-	-
B100	-	100	-
D50 & B50	50	50	-
B90 & DEE10	-	90	10
B80 & DEE20	-	80	20
D45 & B45 & DEE10	45	45	10
D40 & B40 & DEE20	40	40	20

Yakıtların yanma değerleri Tablo 5.5'te verilmiştir.

Tablo 5.5.Test yakıt karışımlarının fiziksel ve kimyasal özellikleri [55, 65]

Test Yakıtları/ Özellikleri	ULSD	B100	Dietil eter	D50& B50	B90& DEE10	B80& DEE20	D40 & B40 & DEE20	D45 & B45 & DEE10
Yoğunluk gr/cm ³ 25°C	0.828	0.916	0.71	0.86	0.880	0.875	0.860	0.855
Kin. Viskozite mm ² /s, 40 °C	2,27	16,02	0,23	4.45	5.48	5.16	4.26	4.08
Isıl Değer kJ/kg	42500	37500	33900	40000	37140	36780	38780	39390
Parlama Noktası °C	47	178	160	103.5	136.7	125.4	96.6	89.8
Setan Sayısı	50	48	>125	49	51	54	54.5	51.5

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1. Motor Performans Değerleri

Yapılan deneylerde hazırlanan 7 farklı karışımın performans ve emisyon testleri sabit devir ve 4 farklı yükte yapılmıştır. Deney motoru boşa-3kW-5kW ve 7kW yükte çalıştırılmış, performans ve emisyon değerleri alınıp grafikler şeklinde yorumlanmıştır.

6.1.1. Özgül Yakıt Tüketimi

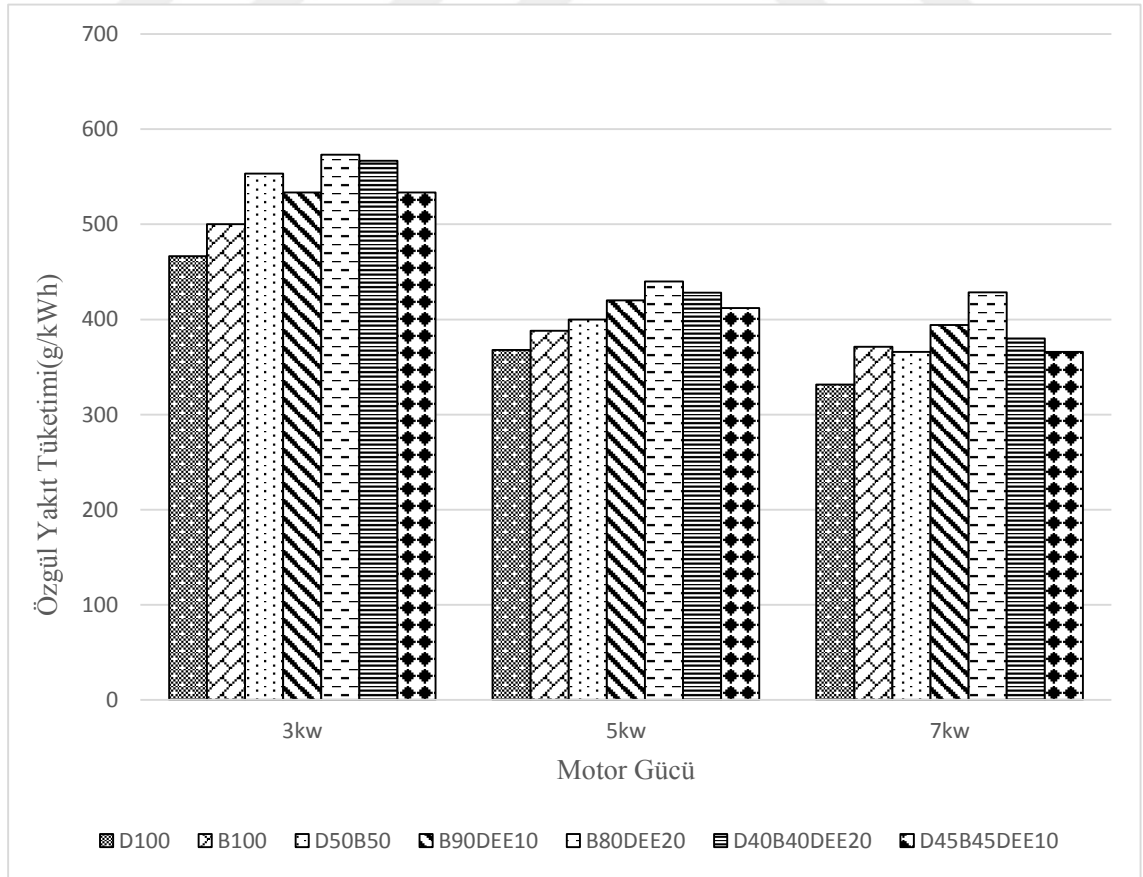
Özgül yakıt tüketimi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

$$be = B \times 1000 / Pe$$

be : Özgül yakıt tüketimi, (g/kWh)

B : Saatlik yakıt tüketimi, (kg/h)

Pe : Efektif motor gücü, (kW)



Şekil 6.1. Özgül yakıt tüketiminin değişimi

Deney motoru 3kw'lık yükte çalışırken ULSD yakına göre tüm yakıt türlerinde artış olmuştur. Bu artışlar; B100 %7,3- D50B50 %18,6 – B90DEE10 %13,4 – B80DEE20 23,2- D40B40DEE20 %21,5 – D45B45DEE10 %13,4 şeklinde gerçekleşmiştir.

Deney motoru 5kw'lık yükte çalışırken ULSD yakına göre tüm yakıt türlerinde artış olmuştur. Bu artışlar; B100 %5,4- D50B50 %8,7 – B90DEE10 %14,1 – B80DEE20 19,6- D40B40DEE20 %16,3 – D45B45DEE10 %12 şeklinde gerçekleşmiştir.

Deney motoru 7kw'lık yükte çalışırken ULSD yakına göre tüm yakıt türlerinde artış olmuştur. Bu artışlar; B100 %12- D50B50 %10,2 – B90DEE10 %19 – B80DEE20 %29,4- D40B40DEE20 %15 – D45B45DEE10 %10,3 şeklinde gerçekleşmiştir.

Her üç yük altında verileri incelediğimizde en düşük ÖYT'nin ULSD yakıtı olduğu, en yüksek ÖYT'nin B80DEE20 yakıtı olduğu gözlenmektedir. B100 yakıtı D100 yakıtına en yakın ÖYT'yi gerçekleştirmiştir. Karışımlardaki dietil eter oranının artmasıyla ÖYT'nin artışın gözlemlenmiştir.

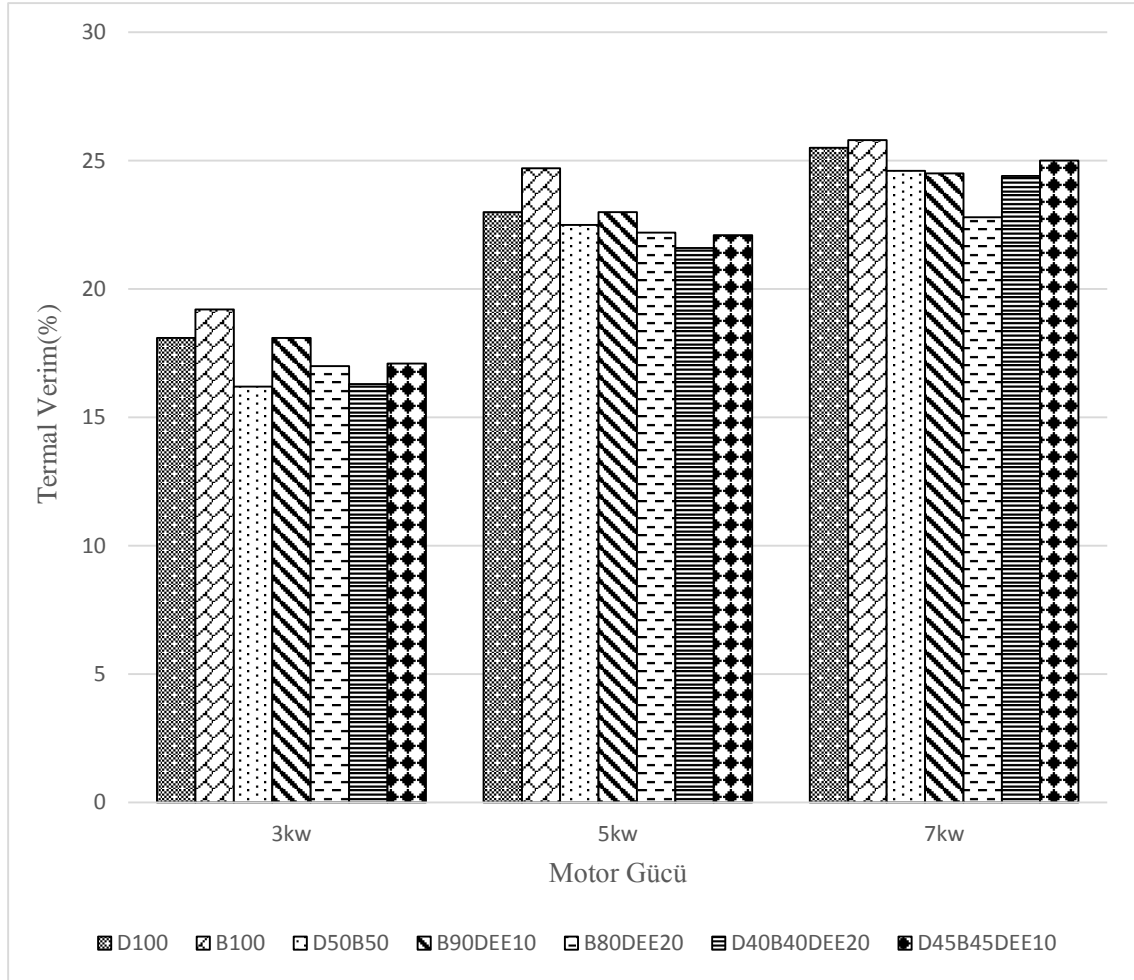
Dizel yakıtının enerji içeriği hint yağı biyodizeline göre %11,7 dietil eter göre %20,3 oranında daha fazladır. Bu sebep ile dizel yakıtının ısıl değerinin diğer yakıtlara göre daha yüksek olmasından dolayı motorun aynı gücü elde etmesi için silindir içine daha fazla yakıt göndermesi gerekmektedir. Hint yağı biyodizeline göre D50B50 yakıtı 3kw yükte %10,6- artış 5 kw yükte %3,1 artış – 7kw yükte %2 düşüş gerçekleştirmiştir.

Üçlü karışımlarda yük artıkça ULSD'ye göre ÖYT'nin düştüğü gözlemlenmiştir. (D40B40DEE20 %21,5-%16,3-%15 – D45B45DEE10 %13,4-%12-%10,3) Yaşanan bu düşüşler yük artıkça yanmanın iyileşmesini göstermektedir. DEE ve hint yağı biyodizeli bünyesindeki yüksek setan sayısı ve içeriklerindeki oksijen miktarının dizele göre fazla olmasından silindir içerisine gönderilen yakıt miktarındaki artışla yanmanın verimi artmaktadır.

Tüm yakıt türlerinde yük artıkça ÖYT'nin düştüğü gözlemlenmektedir. Bu düşüşler motor yük altındayken silindir içerisinde enjektörden püskürtülen yakıtın

süresinin uzaması ve ateşleme avansının düşmesi silindir içerisinde basınç ve sıcaklığı artırmaktadır. Artan sıcaklık ve basınçla ÖYT'nin düştüğü ve termik verimin artacağına bir göstergesidir.

6.1.2. Isıl Verim



Şekil 6.2. Isıl Verimin değişimi

Deney motoru 3kw'lık yükte çalışırken; D100%18,1-B100 %19,2- D50B50 %16,2 – B90DEE10 %18,1 – B80DEE20 %17- D40B40DEE20 %16,3 – D45B45DEE10 %17,1 şeklinde gerçekleşmiştir.

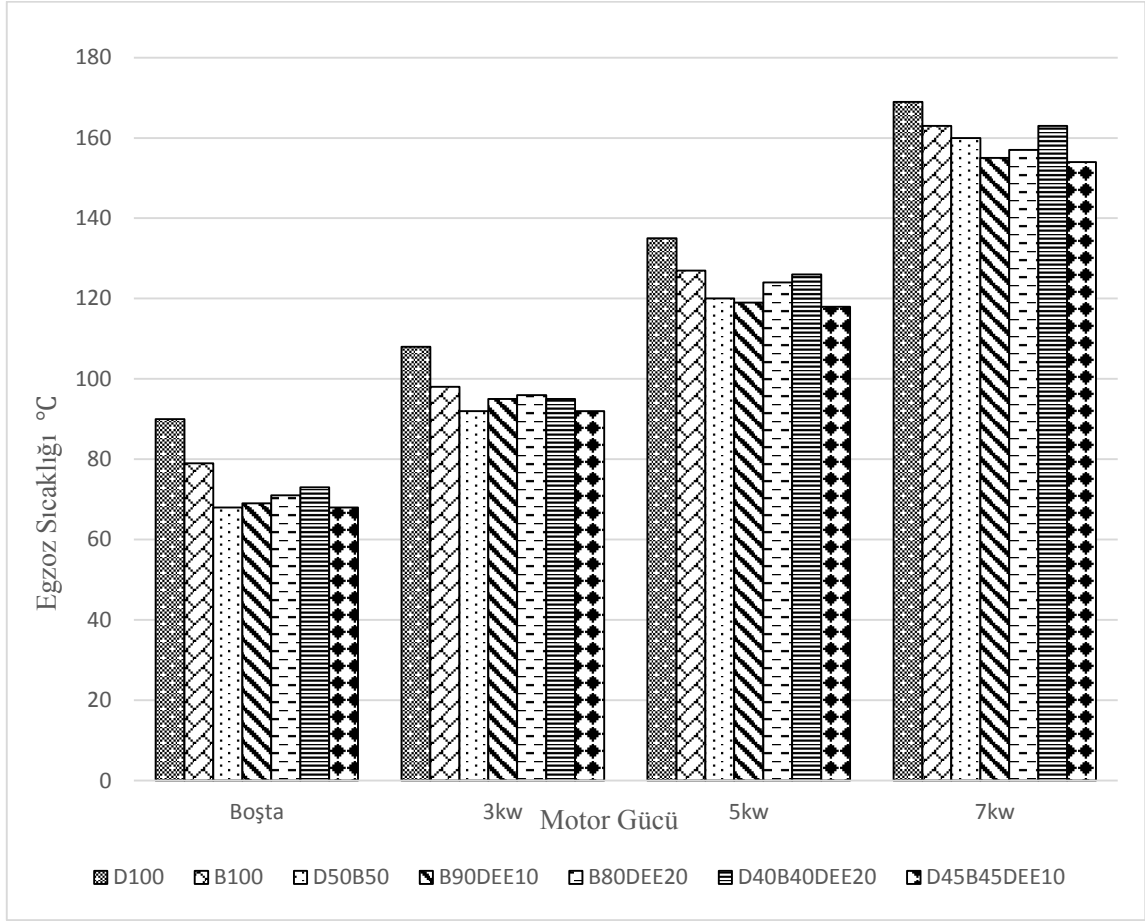
Deney motoru 5kw'lık yükte çalışırken; D100%23-B100 %24,7- D50B50 %22,5 – B90DEE10 %23 – B80DEE20 %22,2- D40B40DEE20 %21,6 – D45B45DEE10 %22,1 şeklinde gerçekleşmiştir.

Deney motoru 7kw'lık yükte çalışırken; D100%25,5-B100 %25,8- D50B50 %24,6 – B90DEE10 %24,5 – B80DEE20 %22,8- D40B40DEE20 %24,4 – D45B45DEE10 %25 şeklinde gerçekleşmiştir.

Verileri incelediğimizde bütün yüklerde termal verimi en yüksek yakıt hint yağı biyodizeli olmuştur. ULSD yakıtına göre B100 yakıtı 3kw yükte %1,1- 5kw yükte %1,7 artan yanma verimi 7kw'lık yükte %0,3 artış gerçekleştirmiştir. Yük artıkça dietil eter oranının arttığı yakıtlarda termal verimi düştüğü gözlemlenmiştir. Temel sebebi dietil eter yakıtının ısı değeri düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Setan sayısı yüksek olan yakıtlarda tutuşma gecikmesi süresi çok kısadır. Bunun sonucunda hava ile yakıt etkin şekilde karışmadığı için verimde düşüşler meydana gelmektedir. 7kw yük altında verileri incelediğimizde B80DEE20 yakıtı en düşük termal verime sahiptir. Üçlü karışımlarda D45B45DEE10 yakıtı %10 dietil eter ilavesinin yanma verimine olumlu katkı sağladığı görülmüştür.

Daha önce yük artıkça ÖYT'nin düşmesinin ısı verimi artıracakını söylemiştik. Yük artıkça bütün yakıtlarda ısı veriminin arttığı görülmüştür.

6.1.3. Egzoz Gaz Sıcaklığı

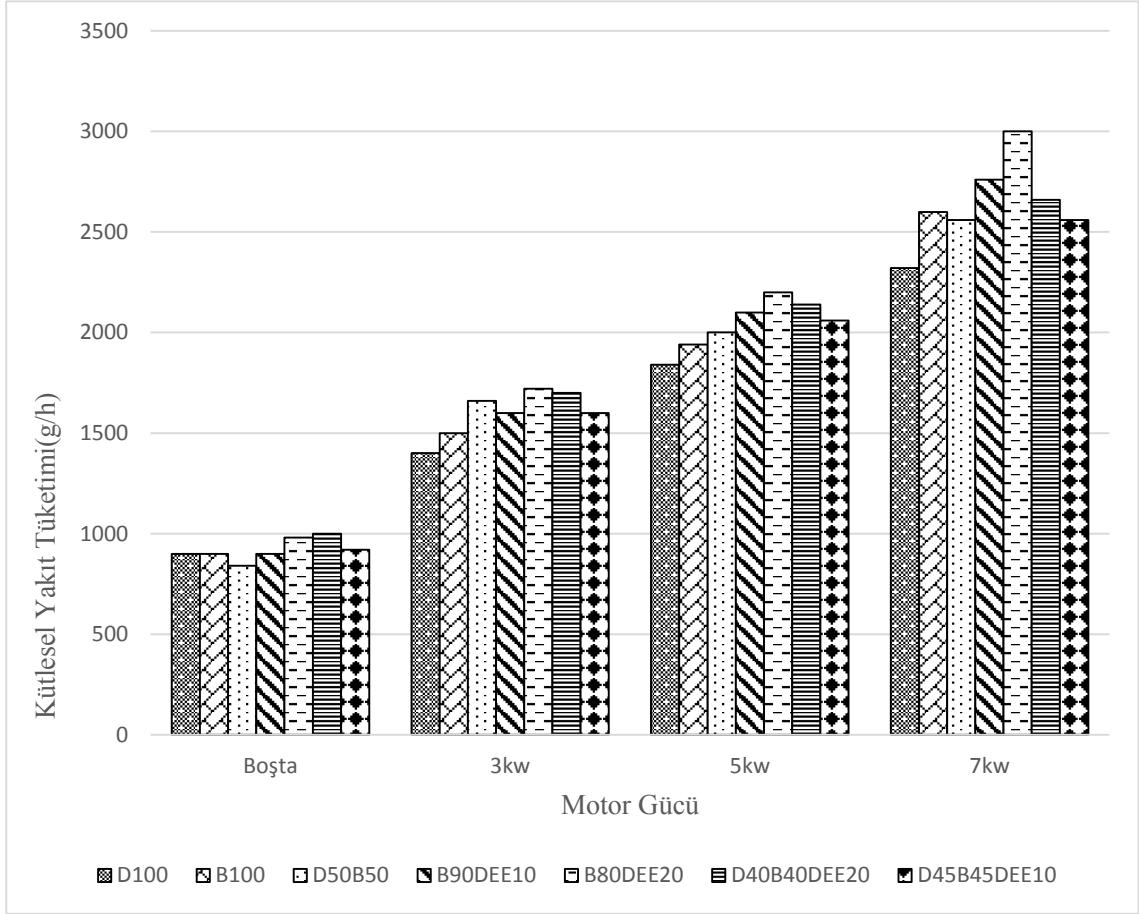


Şekil 6.3. Egzoz manifold Sıcaklığının değişimi

Grafikler incelendiğinde dizel yakıtının egzoz sıcaklık değerinin en yüksek olduğu görülmektedir. Hint yağı biyodizelinin diğer yakıtlara göre dizelden sonra ikinci en yüksek egzoz sıcaklığına sahiptir. Bu sonuç yakıtların ısıl değerleriyle alakalıdır. DEE'nin dizel yakıtına kıyasla daha düşük ısıl değere ve daha yüksek buharlaşma gizli ısısına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Karışımlara dietil eter eklenmesiyle egzoz sıcaklığında düşüşler gerçekleşmiştir. B80DEE20 ve D40B40DEE20 yakıtlarının B90DEE10 ve D45B45DEE10 yakıtına göre egzoz sıcaklıkları fazladır.

Grafik incelendiğinde en düşük egzoz sıcaklığı D45B45DEE10 yakıtı olmuştur. İkili ve üçlü yakıtlarda egzoz sıcaklığı açısından en uygun yakıtın D45B45DEE10 yakıtı olduğu görülmüştür.

6.1.4. Kütlesel Yakıt Tüketimi



Şekil 6.4. Kütlesel yakıt tüketiminin değişimi

Şekilde 7 farklı yakıtın boşta, 3kw, 5kw ve 7kw yüklerde saate harcadıkları yakıt miktarları gram cinsinden gösterilmiştir.

Deney motoru boşta çalışırken B100, D100 ve B90DEE10 aynı miktarda yakıt tüketmişlerdir. D50B50 yakıt tüketiminde ULSD yakıtına göre %6,6'lık bir düşüş gerçekleşmiştir. ULSD yakıtına göre B80DEE20 %9, D40B40DEE20 %11 ve D45B45DEE10 %2 yakıt tüketimi artmıştır.

Deney motoru 3kw'lık yükte çalışırken ULSD yakıtına göre tüm yakıt türlerinde artış olmuştur. Bu artışlar; B100 %7, D50B50 %18,5-B90DEE10 %14, B80DEE20 %23-D40B40DEE20 %21,4 – D45B45DEE10 %14 şeklinde gerçekleşmiştir.

3kw'lık yükte yüzdeler olarak ULSD yakıtına göre bütün yakıt türlerinde artış olmuştur. En az artış B100 yakıt türünde %7 en yüksek artış B80DEE20 %23 olarak gerçekleşmiştir. B90DEE10 ikili yakıtı ve D45B45DEE10 üçlü karışım yakıtı aynı miktarda yakıt tüketmiştir.

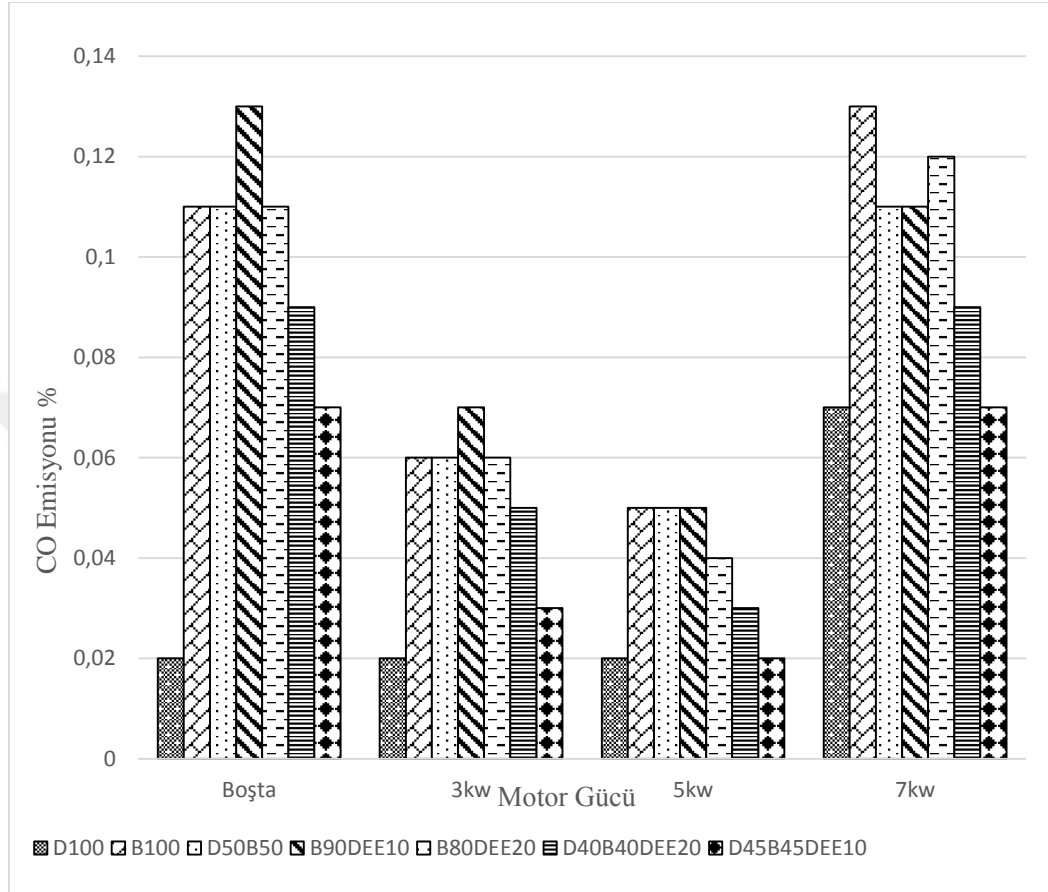
Deney motoru 5kw'lık yükte çalışırken ULSD yakıtına göre tüm yakıt türlerinde artış olmuştur. Bu artışlar; B100 %5,4- D50B50 %8,7 – B90DEE10 %14– B80DEE20 %19,5- D40B40DEE20 %16,3 – D45B45DEE10 %12 şeklinde gerçekleşmiştir.

Deney motoru 7kw'lık yükte çalışırken ULSD yakıtına göre tüm yakıt türlerinde artış olmuştur. Bu artışlar; B100 %12- D50B50 %10,3 – B90DEE10 %19 – B80DEE20 29,3- D40B40DEE20 %14,6 – D45B45DEE10 %10,3 şeklinde gerçekleşmiştir.

Motor yük altındayken bütün yüklerde, kütleli yakıt tüketimi en düşük olduğu yakıt ULSD yakıtı olmuştur. Kütleli yakıt tüketiminin maksimum olduğu nokta B80DEE20 yakıtıdır. Bunun sebebi hem hint yağı biyodizelin hem de dietil eterin ısı değerlerinin ULSD yakıtından düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Motor aynı gücü elde etmek için silindir içine daha fazla yakıt göndermek zorunda kaldığından kütleli yakıt tüketimi yüksek olmaktadır. İkili veya üçlü karışımlarda alt ısı değerleri düşük yakıtların, karışım içindeki oranları düşürülmesiyle kütleli yakıt tüketiminde düşüşler gerçekleşmiştir. 7kw yük altında ULSD yakıtı ile kıyaslandığında B80DEE20 yakıtı %29,3 artış gerçekleştirirken D50B50 ve D45B45DEE10 %10,3 artış gerçekleştirmişlerdir.

6.2. Motor Emisyon Değerleri

6.2.1. Karbonmonoksit (CO) emisyonunun değişimi



Şekil 6.5. CO emisyonunun değişimi

CO emisyonunun oluşma nedeni yanma sırasında oksijenin yetersiz kalmasıdır. 5kw'lık yüke kadar ULSD yakıtı hariç düşüş gerçekleşmiştir. 7kw'lık yükte azalan CO emisyonu tüm yakıt türlerinde tekrar yukarı yönlü seyretmiştir. ULSD yakıtı dışındaki yakıtların tutuşma gecikmesi, setan sayısı, oksijen içeriği, yoğunluk, tutuşma sıcaklıkları, viskozitesi vb. kriterlerin ULSD ile tam uyuşmadığı için CO emisyonlarında da tam yanmanın gerçekleşmemesinden dolayı CO emisyonları yüksek çıkmaktadır.

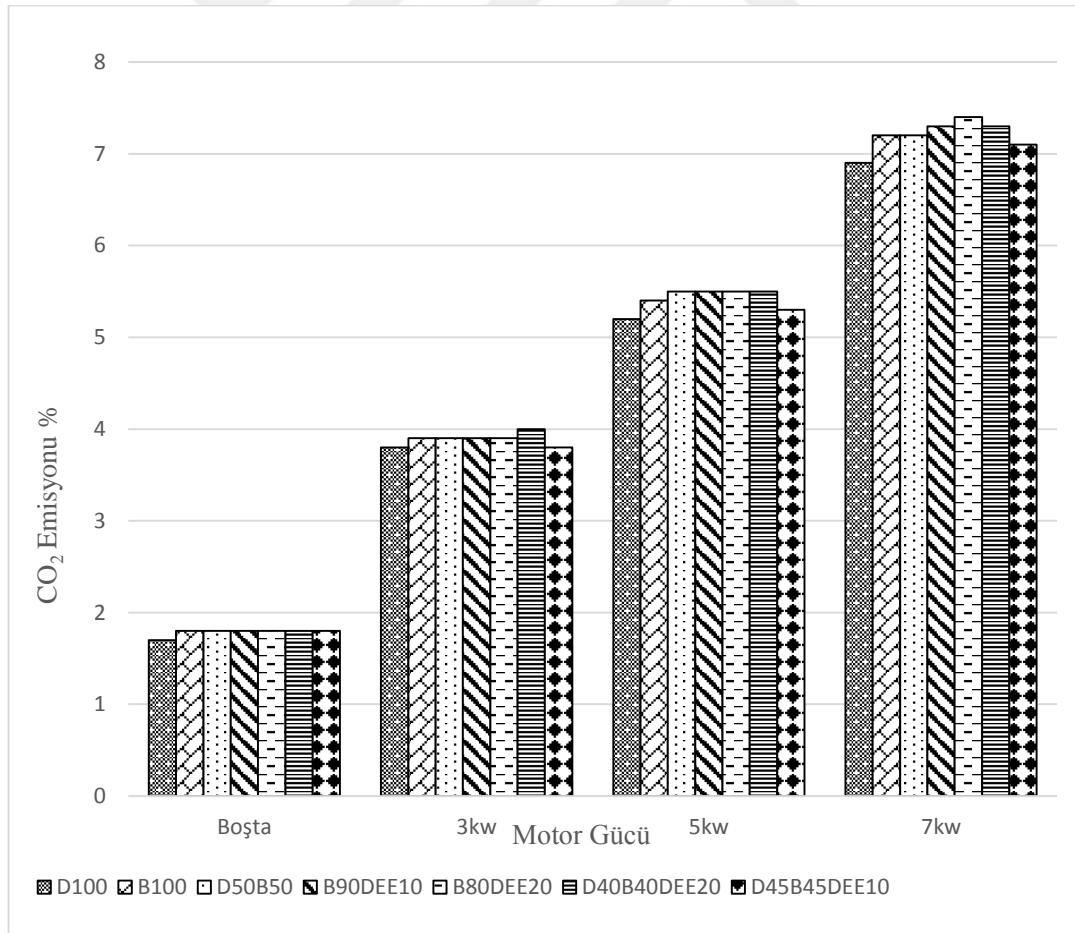
Hint yağı biyodizeli karışımlarında yük arttıkça azalan CO emisyonu (5kw'ya kadar) silindir içerisine püskürtülen yakıtın ve ateşleme avansının artmasıyla yanmada iyileşmeler gerçekleşiyor. Buradan şu sonuç çıkar 5kw'ya kadar silindir içerisinde hint yağı biyodizeli açısından yakıtça fakir olan karışımın idealleşmeye başladığı. 7 kw'lık

yükte azalan hava/yakıt oranlarından bu ideal yanmadan tekrar uzaklaştığı sonucunu çıkarıyoruz.

DEE karışımların CO emisyonlarında yüksek setan sayısı, tutuşma gecikmesinin kısa olması ve içeriğindeki oksijen bulundurulmasından dolayı motor performansını ve emisyonları etkilemektedir.

Yük artıkça silindir içerisinde hava/yakıt oranı düşmesiyle havaca fakirleşen dolgumuzun DEE'nin bünyesinde bulunan oksijenle dengede tutulmasıyla CO emisyonlarında düşüş gerçekleşmiştir. Bu düşüşler 5kw yüke kadar sürmüştür. Karışım içerisinde DEE oranı arttıkça CO emisyonunda artma meydana gelmiştir. ULSD'ye göre 5kw ve 7 kw'lık yükte D45B45DEE10 yakıtı aynı emisyon değerlerine sahiptir.

6.2.2. Karbondioksit (CO₂) emisyonunun değişimi

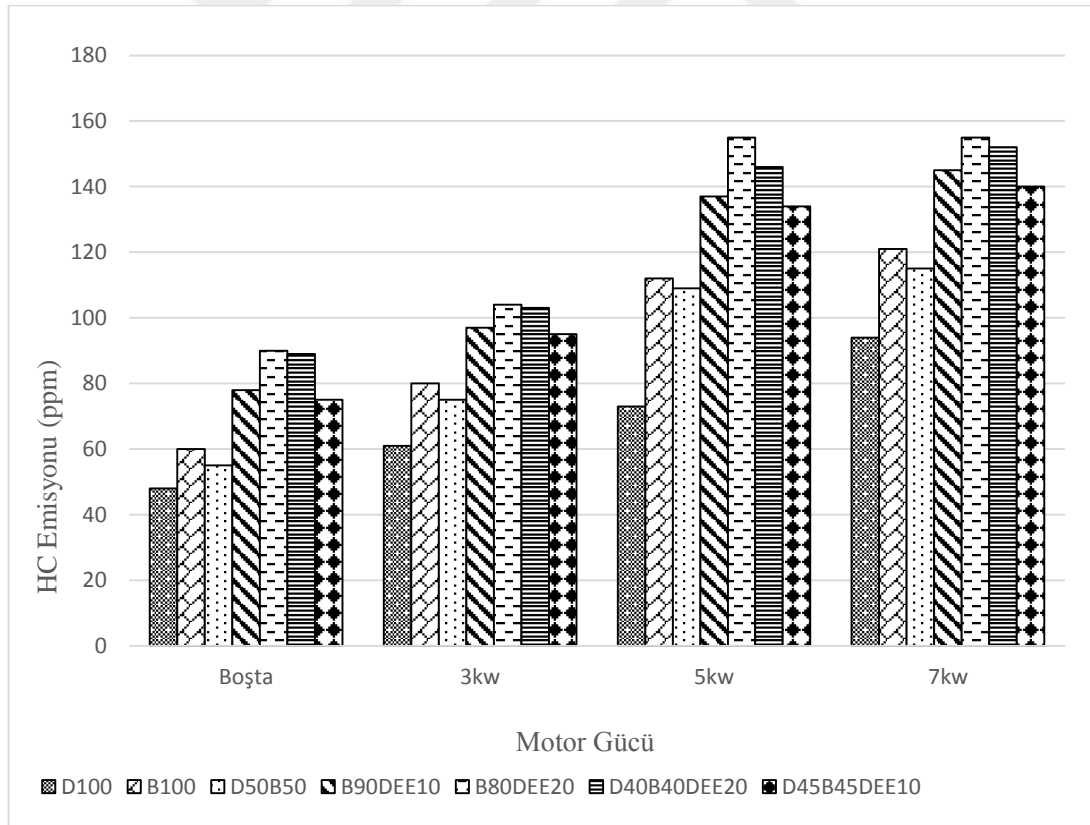


Şekil 6.6. CO₂ emisyonunun değişimi

Yanma meydana gelirken oksijenin az olması CO emisyonunu etkiler. CO₂ emisyonu tam yanmayı ifade eder. CO₂ emisyonun değerin yüksek olması ideal yanmanın oluştuğuna dair bilgi vermektedir. ULSD tüm yakıt karışımları içerisinde en düşük CO₂ emisyonuna sahip yakıt olmuştur. ULSD ve D45B45DEE10 yakıtı dışındaki yakıt türlerinde birbirlerine yakın CO₂ emisyon değerlerine sahiptirler. Aradaki farkları %0,1 ve %0,5 arasında değişmektedir.

ULSD ve D45B45DEE10 yakıtları birbirine çok yakın değerler vermiştir. 7 kw'lık yükte B80DEE20 yakıtı en yüksek CO₂ emisyonuna sahiptir. Nedeni DEE bünyesinde bulunan oksijenin tam yanmanın gerçekleşmesini sağlamasıdır. DEE oranının artığı karışımlarda CO₂ emisyonunda artışlar gözlemlenmiştir.

6.2.3. Hidrokarbon (HC) emisyonunun değişimi



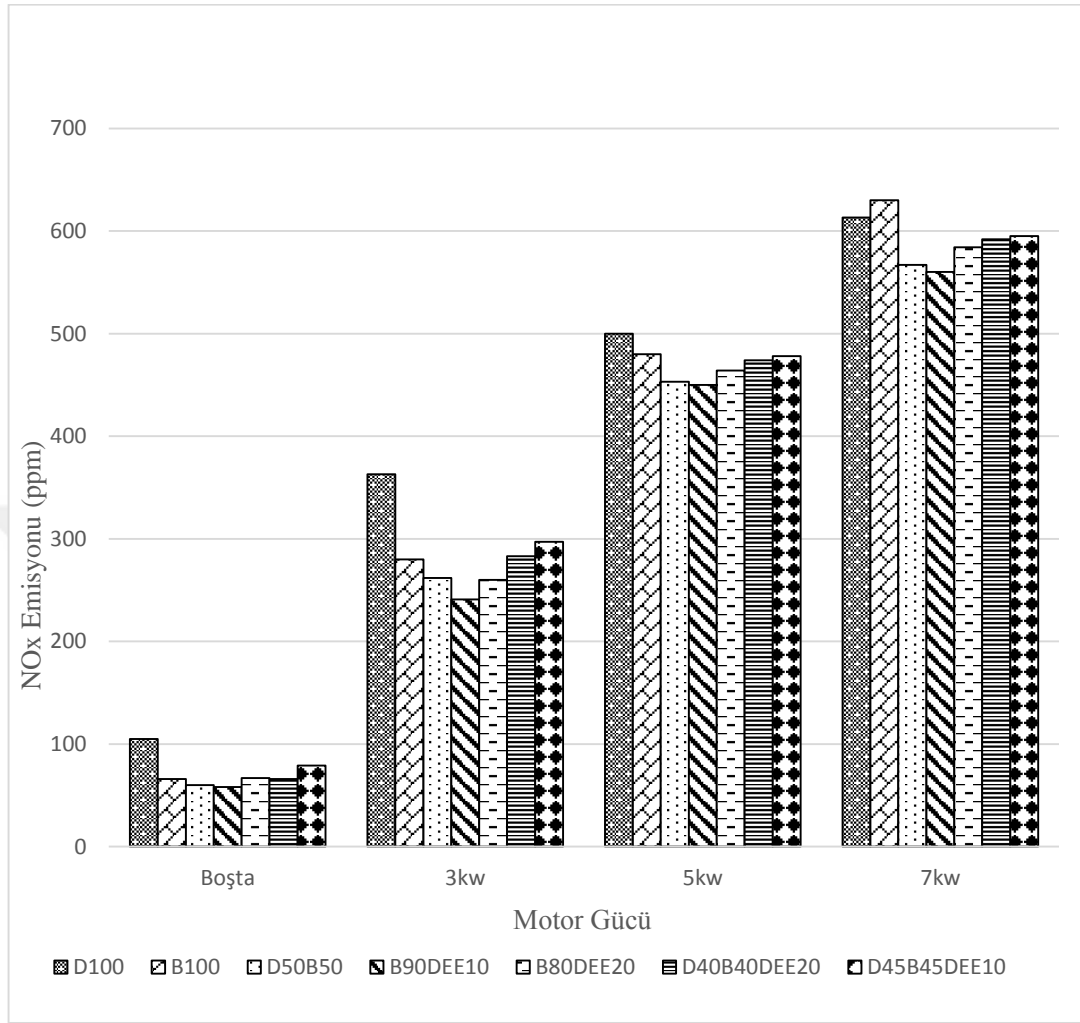
Şekil 6.7. HC emisyonunun değişimi

Egzoz gazları içerisinde HC emisyonunun bulunması yakıtın kısmen ya da büyük ölçülerde yanmamasından kaynaklanmaktadır. HC emisyonları silindir içerisindeki bazı bölgelerde hava/yakıt oranının çok zengin ya da çok fakir olması sonucu eksik yanmanın oluşmasıyla meydana gelen yakıt moleküllerinden oluşur ve sıcaklığın bir fonksiyonudur. HC emisyonu CO emisyonu gibi tam yanmanın gerçekleşmediği durumlarda egzozdan salınır.

Grafik incelendiğinde DEE'nin HC emisyonu üzerindeki negatif etkisi görülmektedir. HC emisyonu CO ve egzoz sıcaklıklarıyla uyum içerisindedir. DEE buharlaşma gizli ısı ULSD ye göre daha yüksek olmasından silindir içerisinde soğutucu etki yaratıp egzoz gazlarında düşüşe neden olur. Düşük sıcaklıktaki egzoz gazlarına sahip yakıtların HC emisyon değerleri şekildeki gibi yüksek çıkmaktadır.

HC emisyonlarının 4 farklı çalışma durumundaki verileri incelediğimizde en düşük HC emisyonuna sahip yakıt ULSD yakıtı olmuştur. DEE'nin karışım içerisindeki oranının artmasıyla HC emisyonlarda artışlar meydana gelmiştir. En yüksek artış 7kw yükte %65 artışla B80DEE20 yakıtı, en düşük artış %22 ile D50B50 yakıtı olmuştur.

6.2.4. Azot Oksit (NO_x) emisyonunun değişimi



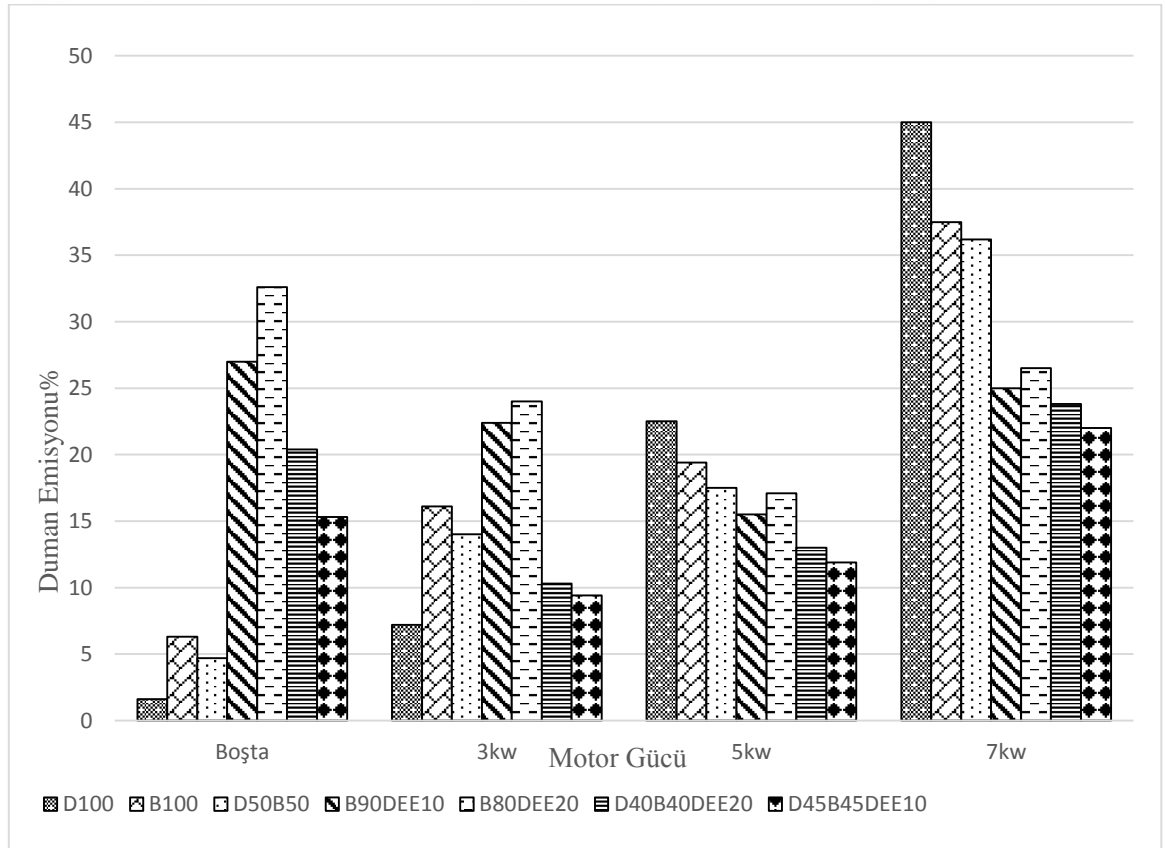
şekil 6.8. NO_x emisyonunun değişimi

NO_x emisyonu: Havada %79 oranında bulunan azot, NO_x emisyonlarının kaynağıdır. NO_x emisyonlarının %95'i NO şeklinindedir. NO_x emisyonları silindir içerisinde yüksek basınç ve sıcaklık noktalarında oluşur. Biyodizelin NO_x emisyonu dizele göre daha yüksektir. Bunun sebebi, içerisinde %10 oranında O₂ bulundurmasıdır. Yakıt içerisinde O₂ miktarı arttıa NO_x emisyonları da artar. Yakıt içerisindeki O₂ zengin karışım bölgesinde yakıtın daha iyi yanmasını sağlayacağından sıcaklık artışına ve buna bağlı olarak NO_x emisyonlarının artmasına neden olur.

Grafik incelendiğinde 5kw'lık yüke kadar D100 yakıtı en yüksek NO_x emisyonuna sahipken 7 kw'lık yükte B100 hint yağı biyodizeli NO_x emisyonu en yüksektir. DEE'nin

içerisinde bulunduğu karışımların NO_x emisyon değerlerinin D100 ve B100 yakıtlarına göre daha düşük olmasının sebebi DEE'nin buharlaşma gizli ısısının yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Silindir içerisine püskürtülen yakıt soğutucu etki oluşturarak NO_x emisyonunun azalmasında olumlu katkı sağlamıştır. Dizel ve hint yağı biyodizeli oranlarının arttığı karışımlarda NO_x emisyonlarında artışlar meydana gelmiştir. DEE'nin karışım içindeki oranları %10'dan fazlası NO_x emisyonları açısından olumsuzluk göstermektedir. Bütün yüklerde en düşük NO_x emisyon değeri B90DEE10 yakıtı olmuştur.

6.2.5. Duman Emisyonu



Şekil 6.9. Duman (is) emisyonunun değişimi

Grafik incelendiğinde; D100-B100-D50B50 yakıtları (DEE olmadığı yakıt çeşitleri) motor yükü arttıkça hava/yakıt oranı azaldığı için is emisyonları da artmaktadır.

Dietil eterin olduğu yakıt türlerinde, DEE'nin tutuşma gecikmesi daha kısa ve yapısında oksijen bulunması, hava/yakıt karışımının homojen olamadan tutuşmasından

silindir içerisinde bölgesel zengin ve fakir karışım meydana gelmektedir. Bunun sonucunda is emisyonları ve yanmamış hidrokarbonlar oluşmaktadır. DEE'nin yapısındaki oksijen ile yük arttıkça azalan hava-yakıt oranını dengelemesiyle is emisyonunda azalmalar meydana gelmiştir. Bu azalmalar motor 7 kw'lık yükte çalışırken ULSD'ye göre B90DEE10 %20, B80DEE20 %41, D40B40DEE20 %44 ve D45B45DEE10 %51 şeklinde gerçekleşmiştir.

D45B45DEE10 yakıtı is emisyonlarında %51 düşüş gerçekleştirmiştir. Karışımın DEE oranının artmasıyla is emisyonlarında artış meydana gelmektedir.



7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Sunulan çalışmada 3 silindirli dizel jeneratörlü bir motorda dizel yakıtı, hint yağı biyodizeli ve dietil eter yakıtlarının değişik oranlarda kullanılmasının farklı motor yüklerinde motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

Deneyle; değişik motor yüklerinde (boşta, 3kw, 5kw, 7kw), sabit bir hızda (1500rpm) gerçekleştirilmiştir. Deneylede yakıt olarak D100, B100, D50B50, B90DEE10, B80DEE20, D45B45DEE10 ve D40B40DEE20 yakıtları kullanılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen önemli sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Her üç yük altında verileri incelediğimizde en düşük (özgül yakıt tüketimi) ÖYT'nin ULSD yakıtı olduğu, en yüksek ÖYT'nin B80DEE20 yakıtı olduğu gözlenmektedir. B100 yakıtı D100 yakıtına en yakın ÖYT gerçekleştirmiştir. Karışımlardaki dietil eter oranının artmasıyla ÖYT'nin arttığını gözlemlenmiştir. Üçlü karışımlarda yük arttıkça ÖYT'nin düştüğü gözlemlenmiştir. (D40B40DEE20 %21,5-%16,3-%15 – D45B45DEE10 %13,4-%12-%10,3) Yaşanan bu düşüşler yük arttıkça yanmanın iyileşmesini göstermektedir. DEE ve hint yağı biyodizeli bünyesindeki yüksek setan sayısı ve içeriklerindeki O₂ miktarının dizele göre fazla olmasından Silindir içerisine gönderilen yakıt miktarındaki artışla yanmanın verimi artmıştır.
- Hint yağı biyodizeli tüm yüklerde termal verimi en yüksek yakıt olmuştur. 7 kw yük altında dizel ve hint yağı biyodizelinin termal verimleri birbirine çok yakındır. Yük arttıkça dietil eter oranının arttığı yakıtlarda termal verimin düştüğü görülmüştür. Temel sebebi dietil eter yakıtının ısı değerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Setan sayısı yüksek olan yakıtlarda tutuşma gecikmesi süresi çok kısadır. Bunun sonucunda hava ile yakıt etkin şekilde karışmadığı için verimde düşüşler meydana gelmektedir. Diğer bir sebebi ise dietil eterin bünyesindeki oksijenin, karışım içinde oranının artması yakıtın fakirleşmesine neden olmaktadır. 7kw yük altında verileri incelediğimizde B80DEE20 yakıtı en

düşük termal verime sahiptir. Üçlü karışımlarda D45B45DEE10 yakıtı %10 dietil eter ilavesinin yanma verimine olumlu katkı sağladığı görülmüştür.

- En yüksek egzoz gazı sıcaklığı dizel yakıtı olmuştur. Hint yağı biyodizelinin diğer yakıtlara göre dizelden sonra ikinci en yüksek egzoz sıcaklığına sahiptir. Bu sonuç yakıtların ısı değerleriyle alakalıdır. DEE'nin dizel yakıtına kıyasla daha düşük ısı değere ve daha yüksek buharlaşma gizli ısısına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Karışımlara dietil eter eklenmesiyle egzoz sıcaklığında düşüşler gerçekleşmiştir. Egzoz sıcaklığının %10 DEE oranında azaldığı görülmektedir. Bu orandan sonra tekrar artış göstermesinin sebebi motor performansının önemli ölçüde azalmasından kaynaklanmaktadır. B80DEE20 ve D40B40DEE20 yakıtlarının B90DEE10 ve D45B45DEE10 yakıtına göre egzoz sıcaklıkları fazladır. Grafik incelendiğinde en düşük egzoz sıcaklığı D45B45DEE10 yakıtı olmuştur. İkili ve üçlü yakıtlarda egzoz sıcaklığı açısından en uygun yakıtın D45B45DEE10 yakıtı olduğu görülmüştür.
- Motor yük altındayken bütün yüklerde, kütleli yakıt tüketimi en düşük olduğu yakıt ULSD yakıtı olmuştur. Kütleli yakıt tüketiminin maksimum olduğu nokta B80DEE20 yakıtıdır. Bunun sebebi hem hint yağı biyodizelin hem de dietil eterin ısı değerlerinin ULSD yakıtından düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Dizel yakıtının enerji içeriği hint yağı biyodizeline göre %11,7 dietil eter göre %20,3 oranında daha fazladır. Bu sebep ile dizel yakıtının ısı değerinin diğer yakıtlara göre daha yüksek olmasından dolayı motorun aynı gücü elde etmesi için silindir içine daha fazla yakıt göndermesi gerekmektedir. İkili veya üçlü karışımlarda alt ısı değerleri düşük yakıtların, karışım içindeki oranları düşürülmesiyle kütleli yakıt tüketiminde düşüşler gerçekleşmiştir.
- ULSD yakıtı dışındaki yakıtların tutuşma gecikmesi, setan sayısı, oksijen içeriği, yoğunluk, tutuşma sıcaklıkları, viskozitesi ULSD ile tam uyuşmadığı için CO emisyonunda tam yanmanın gerçekleşmemesinden dolayı CO emisyonları yüksek çıkmıştır. Hint yağı biyodizeli karışımlarında yük arttıkça azalan CO emisyonu (5kw'ya kadar) silindir içerisine püskürtülen yakıtın ve ateşleme avansının artmasıyla yanmada iyileşmeler gerçekleşmiştir. DEE karışımların CO

emisyonlarında, yüksek setan sayısı, tutuşma gecikmesinin kısa olması ve içeriğindeki oksijen bulundurulmasından dolayı motor performansını ve emisyonları etkilemiştir. Yük artıkça silindir içerisinde hava/yakıt oranı düşmesiyle havaca fakirleşen dolgumuzun DEE'nin bünyesinde bulunan oksijenle dengede tutulmasıyla CO emisyonlarında düşüş gerçekleşmiştir. Bu düşüşler 5kw yüke kadar sürmüştür.

- ULSD tüm yakıt karışımları içerisinde en düşük CO₂ emisyonuna sahip yakıt olmuştur. ULSD ve D45B45DEE10 yakıtı dışındaki yakıt türlerinde birbirlerine yakın CO₂ emisyon değerlerine sahiptirler. Aradaki farkları %0,1 ve %0,5 arasında değişmektedir. ULSD ve D45B45DEE10 yakıtları birbirine çok yakın değerler vermiştir. DEE oranının arttığı karışımlarda CO₂ emisyonunda artışlar gözlemlenmiştir.
- DEE'nin HC emisyonu üzerindeki negatif etki oluşturmuştur. HC emisyonu CO ve egzoz sıcaklıklarıyla uyum içerisindedir. En düşük HC emisyonuna sahip yakıt ULSD yakıtı olmuştur. DEE'nin karışım içerisindeki oranın artmasıyla HC emisyonlarda artışlar meydana gelmiştir. En yüksek artış tüm yüklerde %100'lere varan artışlarla B80DEE20 yakıtı olmuştur. B100 hint yağı biyodizeli tüm yakıt türlerinde D100 göre daha yüksek HC emisyonuna sahiptir. Hint yağı biyodizelinin yüksek viskozitesi ve bağıl yoğunluk değerlerinden ötürü B100 formunda emisyon değerleri üzerinde olumsuz etki oluşturmuştur.
- 5kw'lık yüke kadar D100 yakıtı en yüksek NO_x emisyonuna sahipken 7 kw'lık yükte B100 hint yağı biyodizeli NO_x emisyonu en yüksektir. DEE'nin içerisinde bulunduğu karışımların NO_x emisyon değerlerinin D100 ve B100 yakıtlarına göre daha düşük çıkmıştır. DEE'nin buharlaşma gizli ısısının yüksek olmasından yakıt soğutucu etki oluşturarak NO_x emisyonunun azalmasında olumlu katkı sağlamıştır. Dizel ve hint yağı biyodizeli oranlarının arttığı karışımlarda NO_x emisyonlarında artışlar meydana gelmiştir. Bütün yüklerde en düşük NO_x emisyon değeri B90DEE10 yakıtı olmuştur.

- D100-B100-D50B50 yakıtları (DEE olmadığı yakıt çeşitleri) motor yükü artıkça hava/yakıt oranı azaldığı için is emisyonları da artmaktadır. Dietil eterin olduğu yakıt türlerinde yük artıkça is emisyonlarında düşüşler gerçekleşmiştir. D45B45DEE10 yakıtı is emisyonlarında %51 düşüş gerçekleştirmiştir. Karışımın DEE oranının artmasıyla is emisyonlarında artış meydana gelmiştir.

Bu çalışma konusuna göre şu öneriler yapılabilir:

- ULSD yakıtı, biyodizel ve alkol türevleriyle hazırlanan karışımlarla çalışan bir dizel motorda püskürtme avansı ve enjeksiyon basıncı değişiminin performansa ve emisyonlara etkisi incelenebilir.
- Hint yağı biyodizelinin yüksek viskozitesi ve bağıl yoğunluğundan ötürü B100 formunda kullanılamayacağı, bununla birlikte dizele katkı maddesi olarak daha düşük oranlarda kullanılabilir.
- DEE'nin karışım içindeki oranın %10'un üzerinde motor performans ve emisyonlar üzerinde negatif etki oluşturduğundan daha düşük formlarda kullanılması gerektiği önerilmektedir.
- D45B45DEE10 yakıtının performans ve emisyon değerleri ikili ve üçlü yakıt karışımlarına göre daha iyi sonuçlar vermiştir, bu sonuçtan hareketle daha farklı formlarda deneysel çalışmalar incelenebilir.

8. KAYNAKLAR

1. Zhang, Z.H., Cheung, C.S., Chan, T.L. and Yao, C.D., (2010) “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.
2. Shaid E. M. and Jamal Y., (2008) “A Review of biodiesel as vehicular fuel”, *Renewable&Sustainable Energy Reviews*, 12 (9): 2484-2494.
3. Sezer, İ. ve Bilgin, A., (2012) “Farklı Çalışma Koşullarında Dietil Eter- Dizel Yakıt Karışımlarının Motor Performansına Etkilerinin İncelenmesi”, *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, 53 (631): 42-49.
4. Ogunniyi D. S., (2006) Castor oil: A vital industrial raw material, *Bioresource Technology*, 97, 1086-1091.
5. Ayşe, A., (2009) “Hint yağından biyodizel eldesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-5.
6. Borat O., Balcı M. ve Sürmen A., (1995) İçten Yanmalı Motorlar, *G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Matbası*, Ankara.
7. Ickes, A. M., (2009) "Fuel property impact on a premixed diesel combustion mode", PhD. Thesis, *University of Michigan, Department of Mechanical Engineering*, USA, 1-148.
8. Dogan, O., (2012) “Atık taşıt lastiğinden üretilen pirolitik yakıtın bir dizel motorda kullanımının deneysel olarak araştırılması”, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 35-36.
9. Nuzkowski, J., Tinchler, R. R., and Thompson, G. J., (2009) “Evaluation of NO_x emissions from heavy-duty diesel engines with the addition of cetane improvers”, *Journal of Automobile Engineering*, 223 (8): 1049-1060.
10. Vural, E., (2009) “Küçük hacimli direkt püskürtmeli bir dizel motorunda püskürtme avansının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 49-50.
11. Gerpen, J. V., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D., and Knothe, G., (2004) “Biodiesel production technology August 2002–January 2004 subcontractor report”, *NREL National Renewable Energy Laboratory*, NREL/SR-]0-36244, Colarado, 2227
12. Topgül, T., (2000) “Tek Silindirli Direkt Püskürtmeli Bir Dizel Motorunda Püskürtme Avansı Ve Püskürtme Basıncının Motor Performansına ve Egzoz

- Emisyonlarına Etkisinin Deneysel Olarak Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara 1-60.
13. Özer, S., (2010) “Butanol kullanımının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, 1-87.
 14. Safgönül B., (2008) “İçten yanmalı motorlar”, **Birsen Yayınevi**, İstanbul 65-80.
 15. Karakuş N., (2000). “Yakıt özelliklerinin dizel motor performansına ve emisyonlara etkisi”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 11-23.
 16. Ulusoy Y., (1999) “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.
 17. URL: Motorin Yakıtlarının Özellikleri, Gazi Obitet Topluluğu Resmi Web Sitesi [online], Türkiye, http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/yakitlar_yaglar/motorin.html [Ziyaret Tarihi: 22 Mart 2017].
 18. Heywood J. B., (2004) Internal combustion engine fundamentals, McGraw-Hill Serias in Mechanical Engineering, Newyork, 491-681.
 19. Kayan A., (2003) “Dizel motorlar”, **Yüce**, İstanbul.
 20. Heywood J. B., (1988) “Internal combustion engine fundamentals”, **Mc Graw-Hill Book Company**, Singapore, 930.
 21. Challen B. and Baranescu R., (1999) “Diesel Engine Referance Book Second Edition”, **Butterworth-Heinemann**, Oxford, 686.
 22. Gonzales, M. E., Howart, R., Hildige, J. J., and Ta, O., (1999) “Emission and performance characteristics of a 2 litre toyata diesel van operating on esterified waste cooking oil and mineral diesel fuel”, Ph. D. Thesis, **University of Limerick**, Irlande, 1-11.
 23. Orak, E., (2011) “Tek silindirli dizel motorlarda emme portuna su püskürtmenin, performans ve emisyonu etkilerinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 30-35.
 24. Ayhan, V., (2009) “Bir dizel motoruna buhar enjeksiyonunun NO_x ve is emisyonlarına etkisinin araştırılması”, Doktora Tezi, **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 55-63.
 25. İlkılıç C., (1999) “Çeşitli alternatif yakıtların dizel motoru emisyonlarına etkilerinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi”, Doktora Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, 38-42.

26. Ren21, RENEWABLES (2016), **GLOBAL STATUS REPORT**, Fransa.
27. Eryilmaz T., Yesilyurt M. K., Cesur C. ve Gokdogan O., (2016) Biodiesel production potential from oil seeds in Turkey.
28. Sirtioğlu I., (2015) Oilseeds and Products Annual, **Turkey Oilseeds Annual**.
29. URL: **EPDK,TC Enerji ve Tabii Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü** [online], Türkiye, <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyodizel.aspx> [Ziyaret Tarihi: 22 Mart 2017].
30. **EPA., Assessment and Standards Division** (Office of Transportation and Air Quality of the US Environmental Protection Agency). A comprehensive analysis of biodiesel impacts on exhaust emissions, EPA, 420-P-02-001 (2002).
31. URL: **Biyomotorin** [online], Türkiye, <http://www.biyomotorin-biodiesel.com> [Ziyaret Tarihi: 24 Mart 2017].
32. Zhang Y., (2002) Design and Economic Assesment of Biodiesel Production from Waste Cooking Oil, **Ottawa**, Canada.
33. Alpgiray B. ve Gürhan R., (2007) Kanola Yağının Dizel Motorunun Performansına ve Emisyon Karakteristiklerine Etkilerinin Belirlenmesi, **Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Bilimleri Dergisi**, 13 (3), 231-239.
34. Taşyürek M., (2005) Palm ve Aspir Biyomotorininde Depolama Süresi ve İartlarının Yakıt Özellikleri Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 14-22.
35. Acaroğlu M., (2003) Alternatif Enerji Kaynakları, **Atlas Yayın Dağıtım**, İstanbul, 229256
36. URL: **Egebiyoteknoloji** [online], <http://www.egebiyoteknoloji.com> [Ziyaret Tarihi: 22 Mart 2017].
37. Heywood J. B., (1988) Internal combustion engines fundamentals. **McGraw Hill Publications**.
38. Karahan Ş., (2006) Biyodizel Kalitesi ve Biyodizel Kalitesinin Dizel Motorlara Etkisi, **Ulusal Biyodizel Sunuştayı**, Ankara.
39. Akyarlı A., (2004) Biyodizelin yakıtın uluslar arası standartlarda üretimi, **Bioenerji Sempozyumu**, İzmir.
40. **TÜBİTAK**, (2007) Türkiye taksonomik tür veritabanı, <http://biow.tubitak.gov.tr/present/taxonForm1.jsp?taxon=4450>.
41. Scarpa, A. ve Guerci, A. (1982) “Various uses of castor oil plant (Ricinus Communis L.) a review”, **Journal of Ethnopharmacology**, 5, 117–137.
42. Gaginella, T. S., Capasso, F., Mascolo, N. ve Perilli, S., (1998) “Castor oil: new lessons from an ancient oil”, **Phytotherapy Research**, 12, 128-130.

43. Klemczynska, B., Kuster, R. ve Schmitt, M., (1997) Castor oil. <http://www.wsu.edu/~gmhyde/433webpages/433Oilwebpages/castor/castoroi2.html>.
44. Baytop T., (1980) Farmakognazi, *Dilek Matbaası*, İstanbul, 183-185.
45. Tyler, V. E., Brady, L. R. ve Robbers, J. E., (1976) Pharmacognosy, Lea& Febiger, Philadelphia, A.B.D., 116-118.
46. Baytop, T., (1984) Türkiye’de Bitkiler ile Tedavi, *Nobel Tıp Kitabevi*, İstanbul, 228.
47. Evans, W. C., (2002) Pharmacognosy, *Elsevier Publications*, Londra, İngiltere, 185–186.
48. Cherry, N. A., (2000) “Spilling the beans about castor oil and its derivatives”, *NLGI Spokesman*, 64,18–24.
49. Kirk-Othmer, (1979) Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology, *Cilt 5, John&Wiley Sons*, New York, A.B.D., 1–15.
50. Lakshminarayana, G., Paulose, M.M. ve Kumari, B. N., (1984) “Characteristics and composition of newer varieties of indian castor seed and oil”, *J. Amer. Oil Chem. Soc.*, 61, 1871-1872.
51. Aydın H., İşcan B., (2016)“The Effects of DME Addition to Biodiesel on Combustion Performance and Emissions of a Diesel Engine at Idle and Medium Loads”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 13(4) 19-30.
52. Akpan, U. G., Jimoh, A. ve Mohammed, A. D., (2006) “Extraction, characterization and modification of castor seed oil”, *Leonardo Journal of Sciences*, 8, 43-52.
53. Keys, J. D., (1976) Chinese herbs, their botany, chemistry and pharmacodynamics, Tokyo, Japonya, 105.
54. *T.U.İ.K*, (2007) “*Türkiye İstatistik Kurumu*”, Hint yağı ve sebasik asidin son 10 yıllık ithalat ve ihracat değerleri.
55. Austin, G.T., (1984) Shreve’s chemical process industries, *Mc Graw Hill*, New York, A.B.D., 508-512.
56. Swern, D., (1979) Bailey’s industrial oil and fat products, John&Wiley Sons, *Cilt I*, New York, A.B.D., 233-238.
57. Johnson, R. W. ve Fritz, E., (1989) Fatty acids in industry processes properties derivates applications, *Marcel-Dekker Inc.*, New York, A.B.D., 13-14.
58. Scarpa, A. ve Guerci, A., (1982) “Various uses of castor oil plant (*Ricinus Communis L.*) a review”, *Journal of Ethnopharmacology*, 5, 117–137.

59. Vasishtha, A. K. Trivedi, R. K. ve Das, G., (1990) “Sebacic acid and 2-octanol from castor oil”, J. Amer. *Oil Chem. Soc.*, 67, 333-337.
60. Erciyes, A. T., Dandik, L. ve Erkal, F. S., (1991) “The decomposition of secondary esters of castor oil with fatty acids”, J. Amer. *Oil Chem. Soc.*, 68, 642-645.
61. Wyk, B. E. V., Oudtshoorn, B. V. ve Gericke, N., (1977) Medicinal plants of South Africa, *Briza Publications*, Güney Afrika, 216-217.
62. Ceviz M.A., Koncuk F., Yüksel F., Küçük Ö. ve Gören A.C., (2009) Beş Farklı Bitkisel Yağdan Üretilen Biyodizeller İle Dizel Yakıtının Motor Performansı ve Emisyon Karakteristiklerinin Karşılaştırmalı Analizi, *Mühendis ve Makine Dergisi*, Cilt:50 No:588.
63. Pugazhvadivu1 M. and Rajagopan S., (2009) “Investigations on a diesel engine fuelled with biodiesel blends and diethyl ether as an additive”, *Indian Journal of Science and Technology*, 2 (5):166-173.
64. M. H. Shojaeefard, M. M. Etghani, M. Akbari, A. Khalkhali and B. Ghobadian, (2012) ‘Artificial neural networks based prediction of performance and exhaust emissions in direct injection engine using castor oil biodiesel-diesel blends’ *School of Automotive Engineering, Iran University of Science and Technology*, Tahrán, İran.
65. Kanwar R., Kumar S. P., Sharma H., Singh A., (2014) ‘Emission Characteristics of a Diesel Engine Operating on Percentage of Blending of Castor Oil Biodiesel-Diesel’, *International Journal of Engineering, Management & Sciences (IJEMS)* ISSN:2348–3733, Volume-1, Issue-9.
66. G. Hincapic, F. Mondragn, and D. Lopez, (2011) *Fuel* 90, 1618.
67. K. Ramezani, S. Rowshanzamir, and M. H. Eikani, (2010) *Energy* 35, 4142.
68. P. Berman, S. Nizri, and Z. Wiesman, (2011) *Biomass Bioenergy* 35, 2861.
69. N. L. Panwar, H. Y. Shrirame, N. S. Rathore, S. Jindal, and A. K. Kurchania, (2010) *Appl. Therm. Eng.* 30, 245.
70. O. S. Valente, M. J. da Silva, V. M. Duarte Pasa, C. R. Pereira Belchior, and J. R. Sodre, (2010) *Fuel* 89, 3637.
71. Sezer, İ. ve Bilgin, A., (2012) “Farklı Çalışma Koşullarında Dietil Eter- Dizel Yakıt Karışımlarının Motor Performansına Etkilerinin İncelenmesi”, *TMMOB MMO Mühendis ve Makina Dergisi*, 53 (631): 42-49.
72. Dimitros, C.R., Constantine D.R., Evangelos G.G. and Athanasios M.D., (2012) “Characteristics of performance and emissions in high-speed direct injection diesel engine fuelled with diethyl ether/diesel fuel blends”, *Energy*, 43 (1): 214224.

73. Sivalakshmi and S., Balusamy, T., (2013) “ Effect of biodiesel and its blends with diethyl ether on the combustion, performance and emissions from a diesel engine”, *Fuel*, 106: 106-110.
74. Hariharan, S., Murugan, S., Nagarajan, G., (2013) “Effect of diethyl ether on Tyre pyrolysis oil fueled diesel engine”, *Fuel*, 104: 109-115.
75. Abhishek, P., Probir, K.B., Rajsekhar, P. and Durbadal, D., (2014) “ Study of performance and emission characteristics of a single cylinder CI engine using diethyl ether and ethanol blends”, *Journal of the Energy Institute*, 88 (1): 1-10.
76. Rakopoulos D.C., (2013) “Combustion and emissions of cottonseed oil and its biodiesel in blends with either n-butanol or diethyl ether in HSDI diesel engine”, *Fuel*, 105: 603–613.
77. Sachuthanathan B. and Jeyachandran K., (2007) “Combustion, performance and emission characteristics of water-biodiesel emulsion as fuel with DEE as ignition improver in a DI diesel engine”, *Journal of Environmental Research And Development*, 2 (2): 165-172.
78. Qi D.H., Chen H., Geng L.M. and Bian Y.Z., (2011) “Effect of diethyl ether and ethanol additives on the combustion and emission characteristics of biodieseldiesel blended fuel engine”, *Renewable Energy*, 36 (4): 1252-1258.
79. Cinar C., Can O., Sahin F. and Yucesu H.S., (2010) “Effects of premixed diethyl ether (DEE) on combustion and exhaust emissions in a HCCI-DI diesel engine”, *Applied Thermal Engineering*, 30 (4): 360–365.
80. Nagdeote D.D. and Deshmukh M.M., (2012) “Experimental study of diethyl ether and ethanol additives with biodiesel-diesel blend fuel engine”, *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2 (3): 22502459.
81. Rakopoulos D.C., Constantine D.R., Giakoumis E.G., Papagiannakis R.G. and Kyritsis D.C., (2014) “Influence of properties of various common bio-fuels on the combustion and emission characteristics of high-speed DI (direct injection) diesel engine: Vegetable oil, bio-diesel, ethanol, n-butanol, diethyl ether”, *Energy*, 73: 354-366.
82. Pugazhivadivul M. and Rajagopan S., (2009) “Investigations on a diesel engine fuelled with biodiesel blends and diethyl ether as an additive”, *Indian Journal of Science and Technology*, 2 (5):166-173.

9. ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	Hüseyin AZİ
Doğum Yeri ve Tarihi	Bismil / 1987
E-mail	h.azi@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	Yahya Kemal Beyatlı Lisesi / Batman	2004
MYO	Batman Meslek Yüksek Okulu/Makine Programı	2011
Üniversite	Batman Üniversitesi / Makine Mühendisliği	2014
Yüksek Lisans	Batman Üniversitesi / Makine Mühendisliği	2017

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2012- Halen çalışmaktayım	T.P. (Üretim Müdürlüğü)	Üretim Operatörü

YABANCI DİLLER

İngilizce (Temel)