



**ETANOL KATKILI KANOLA BİYODİZELİNİN
BİR DİZEL MOTORUNDA KULLANILABİLİRLİĞİNİN
DENEYSEL ARAŞTIRILMASI**

Yunus GÜRKAN

Yüksek Lisans Tezi

**Makine Eğitimi Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Cumali İLKILIÇ**

TEMMUZ-2019

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETANOL KATKILI KANOLA BİYODİZELİNİN BİR DİZEL MOTORUNDA
KULLANILABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yunus GÜRKAN

(072119101)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 19 Temmuz 2019

Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Temmuz 2019

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Cumali İLKILIÇ (F.Ü)

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Cenk SAYIN (M.Ü.)

Prof. Dr. Hanbey HAZAR (F.Ü)



TEMMUZ-2019

ÖNSÖZ

Günümüzde refah seviyesinin artışıyla birlikte insanların alım gücü yükselmiş ve buna bağlı olarak eskiden lüks olarak görülen şahsi binek araçlar mecburi bir ihtiyaç haline gelmiştir. Bu ihtiyaca binaen araç fabrikaları üretimlerini artırmış ve buna paralel olarak yakıt tüketimi de artmıştır. Bu da yeryüzünde bulunan mevcut petrol kaynaklarının hızla tüketilmesine ve yeni enerji kaynakları arayışlarına zemin hazırlamıştır. Bu enerji kaynağı arayışlarından biri de bitkisel yağlardan transesterifikasyon yöntemiyle üretilen, bitkisel yağın viskozitesinin düşürüldüğü ve direkt olarak dizel motorlarında kullanılabilirliğinin araştırıldığı biyodizelle ilgili çalışmalar üzerinedir.

Biyodizel, bitkisel yağlardan elde edildiği için temiz ve çevreci bir yakıt türü olarak görülmektedir. Ayrıca ısı değerleri dizel yakıtına yakın olduğu için, motorda çok fazla güç kaybına uğramadan ve dizel motorlarında revizyona ihtiyaç duyulmaksızın kullanılabilirler. Emisyonlarının temiz olması ve doğada çok çabuk sürede bozunabilme özelliğinden dolayı geleceğin çevreci yakıtı olarak görülmektedir.

Literatürde motor performansı ve egzoz emisyonlarını geliştirmek üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışma ile kanola yağından biyodizel üretip, içine belirli oranlarda etanol katılması suretiyle bir dizel motorunda denenerek motor performansını ve egzoz emisyonlarını ne yönde etkilediğini incelemek amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasında Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünde bulunan motor test laboratuvarını kullanımına sunan ve aynı zamanda motor test ve egzoz emisyon ölçümlerinde yardımcı olan Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Dr. İlker Turgut YILMAZ ve Öğretim Üyesi Prof.Dr. Cenk SAYIN'a teşekkürlerimi sunarım. Yine ürettiğim yakıt numunelerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini tespit eden Ege Üniversitesi Kimya Bölümü EGEPAL laboratuvarı çalışanları ve Öğretim Üyesi Prof.Dr. Jale YANIK'a ve yine danışmanım olan ve tez çalışmamı yöneten Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Prof.Dr. Cumali İLKILIÇ'a teşekkürlerimi bir borç bilirim. Aynı zamanda benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve tez yazımda bana yardımcı olan eşim Hediye DAYGUÇ GÜRKAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Yunus GÜRKAN
ELAĞIĞ-2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	V
SUMMARY	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VII
TABLOLAR LİSTESİ	IX
KISALTMALAR LİSTESİ	XI
SİMGELER LİSTESİ	XIII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Yağ Üretilen Bitkiler ve Önemi	4
1.2. Türkiye ve Dünyada Yağlı Tohum Bitkisi ve Ham Yağ Üretimi	4
1.3. Ülkemizin Arazi Potansiyelinin Yıllara Göre Değişimi.....	8
1.4. Kanola (Kolza) Bitkisi ve Özellikleri.....	9
1.5. Literatür Araştırmaları.....	12
1.6. Tez Çalışmasının Amacı.....	17
2. DİZEL YAKITLAR, BİYODİZEL ve ALKOLLER.....	19
2.1. Dizel Yakıtlar	19
2.1.1. Dizel Yakıtında Bulunması Gereken Özellikler	20
2.1.2. Dizel Yakıt Sınıfları.....	31
2.2. Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel.....	32
2.2.1. Bitkisel ve Hayvansal Yağların Kimyasal Yapısı	34
2.2.2. Biyodizelin Tanımı, Yapısı ve Özellikleri.....	36
2.2.3. Biyodizel Üretimi, Kimyasal Yapıları ve Üretim Yöntemleri.....	43
2.3. Biyodizel Üretiminde ve Yakıt Karışımlarında Kullanılan Etanol ve Metanol	49
3. DİZEL MOTORLARDA YANMA ve EGZOZ EMİSYONLARI	51
3.1. Dizel Motorlarında Yanma Olayının Aşamaları	52
3.1.1. Tutuşma Gecikmesi Aşaması	52
3.1.2. Ani Yanma Aşaması	53
3.1.3. Kumandalı (Kontrollü) Yanma Aşaması	54
3.1.4. Art Yanma Aşaması.....	55

3.2. Dizel Motorlarında Emisyonlar	55
3.2.1. Azot Oksit (NO_x) Emisyonları.....	56
3.2.2. İS (Duman) Emisyonları	56
3.2.3. Kükürt Oksit (SO_x) Emisyonları.....	56
3.2.4. Karbonmonoksit (CO) Emisyonları.....	57
3.2.5. Yanmamış Hidrokarbon (HC) Emisyonları.....	57
3.2.6. Dizel Motorlarında Egzoz Emisyon Standartları.....	58
3.2.7. Biyodizel Emisyonları	59
4. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA MOTOR PERFORMANS	
PARAMETRELERİ VE DİNAMOMETRELER	61
4.1. İndike Güç (P_i).....	61
4.2. Efektif (Motor Çıkış) Gücü (P_e)	63
4.2.1. Prony Freni ile Güç Ölçümü.....	63
4.2.2. Elektrikli Dinamometre ile Güç Ölçümü.....	63
4.2.3. Hidrolik (Su) Sistemi ile Efektif Güç Ölçümü	64
4.3. Motorlarda Moment Oluşumu.....	65
4.4. Ortalama Efektif Basınç (P_{me})	67
4.5. İndike Yakıt Tüketimi (b_i).....	68
4.6. Efektif Yakıt Tüketimi (b_e).....	69
4.7. Efektif Verim (Isıl Verim)(η_e)	69
4.8. İndike Verim (η_i)	69
4.9. Mekanik Verim (η_m).....	70
5. MATERYAL ve METOT	71
5.1. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Materyaller.....	71
5.1.1. Biyodizel Reaktör Ünitesi.....	71
5.1.2. Dijital Termometre	73
5.1.3. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Kanola Yağı, Metil Alkol ve Sodyum	
Hidroksit (NaOH)	73
5.1.4. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Yardımcı Materyaller.....	74
5.2. Motor Performans Parametreleri ve Egzoz Emisyon Ölçümünde Kullanılan	
Materyaller.....	74
5.2.1. Deney Motoru.....	75
5.2.2. Hidrolik Dinamometre.....	76

5.2.3. Egzoz Emisyon ve Duman Koyuluğu Ölçüm Cihazı	78
5.2.4. Hassas Terazi, Kronometre ve Yakıt Ölçüm Deposu	79
5.2.5. Veri Toplama ve Bilgisayar Ünitesi	79
5.3. Deney Düzeneği	80
5.4. Kanola Yağından Biyodizel Üretimi	82
5.5. Motor Performans Testleri ve Egzoz Emisyon Ölçümlerinin Yapılması.....	85
5.6. Motor Performans Parametrelerinin Hesaplanması	85
6. DENEYSEL BULGULAR ve TARTIŞMA.....	86
6.1. Biyodizel Yakıt Numunelerinin Özelliklerinin Değerlendirmesi.....	86
6.2. Motor Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi	87
6.2.1. Efektif Motor Momenti.....	88
6.2.2. Efektif Motor Gücü.....	90
6.2.3. Özgül Yakıt Tüketimi	91
6.2.4. Efektif Verim	93
6.3. Egzoz Emisyonlarının Değerlendirilmesi	94
6.3.1. İS Emisyonları	95
6.3.2. HC Emisyonları	96
6.3.3. CO ₂ Emisyonları	97
6.3.4. O ₂ Emisyonları.....	98
7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	100
KAYNAKLAR.....	101
EKLER	108
ÖZGEÇMİŞ	111

ÖZET

Bu tez çalışmasında ilk olarak bitkisel yağların yüksek olan viskozitelerini düşüren transesterifikasyon yöntemiyle kanola yağı metil esteri üretilmiş ve etil alkol ile %5, %10 ve %15 oranlarında harmanlanmıştır. Harmanlama ile birlikte B100, BDE5, BDE10 ve BDE15 yakıt numuneleri elde edilmiş ve yakıt özelliklerinin tespit edilmesi amacıyla petrol analiz laboratuvarında incelenmiştir.

İkinci aşamada ise B100, BDE5, BDE10, BDE15 yakıt numuneleri standart dizel yakıtıyla karşılaştırılması bakımından dört silindri, dört zamanlı, su soğutmalı, common rail enjeksiyon sistemli, turboşarjlı Renault 1.5 DCI marka bir dizel motorunda motor performans ve egzoz emisyon testlerine tabi tutulmuştur. Motor deneyleri sabit 1750 d/d'da %25-%30-%35-%40-%45-%50-%55 gaz kelebek açıklığında motor momenti, efektif motor gücü, özgül yakıt tüketimi ve egzoz emisyonlarından CO₂, HC, PM ve O₂ verileri alınarak yapılmıştır. Alınan veriler grafiklere dönüştürülerek değerlendirilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda kanola yağının 31 mm²/s olan yüksek viskozitesi 4,7 mm²/s' ye düşürülmüştür. B100 yakıtının yoğunluğu 0,88 g/cm³ olarak ölçülmüştür. Biyodizel içine etanol karıştırılması ile kinematik viskozite, yoğunluk, setan sayısı ve ısıl değer gibi özelliklerinde azalmalar görülmüştür. Özgül yakıt tüketiminde minimum azalmanın meydana geldiği %45 gaz kelebek açıklığında B100, BDE5, BDE10 ve BDE15 yakıt numuneleri sırasıyla %8-%12-%17-%25'lik artışlar göstermiştir. Maksimum motor momenti %55 gaz kelebek açıklığında 103 Nm ile dizel yakıtından elde edilmiştir. Biyodizel içindeki etanol oranı arttırıldığında motor momenti, efektif motor gücü ve efektif verim değerlerinde azalmalara yol açtığı gözlemlenmiştir. Egzoz emisyonlarında ise en yüksek is emisyonları, standart dizel yakıtında gerçekleşmiştir. Biyodizel içindeki etanol oranı artışının is ve HC emisyonlarını azalttığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyodizel, Etanol, EgzozEmisyonları, Kanola Yağı, Motor Performansı

SUMMARY

Experimental Investigation of The Usability of Ethanol Doped Canola Biodiesel in a Diesel Engine

In this thesis, firstly, canola oil methyl ester was produced by transesterification method which reduces the high viscosities of vegetable oils and blended with ethyl alcohol at %5, %10 and %15 ratios. In addition to the blending, B100 (Biodiesel 100), BDE5 (biodiesel 95- ethyl alcohol 5), BDE10 and BDE15 fuel samples were obtained and investigated in a petroleum analysis lab in order to determine the fuel properties.

In the second stage, B100, BDE5, BDE10 and BDE15 fuel samples, with regard to compared with standard diesel fuel, were subject to the tests of engine performance and exhaust emissions in a four-cylinders, four-strokes, turbocharger, water cooled and common rail injection Renault brand diesel engine. The engine experiments were made in the ranges of %25-%30-%35-%40-%45-%50-%55 throttle and in the range of constant 1750 min^{-1} , by taking engine torque, engine effective power and fuel consumption data. On the other hand, engine exhaust emissions CO_2 , HC, PM and O_2 data was also taken. The graphics of the variables measured was drawn and interpreted.

As a result of experimental studies, high viscosity of canola oil at $31 \text{ mm}^2/\text{s}$ was reduced to $4,7 \text{ mm}^2/\text{s}$. The density of B100 fuel was measured as $0,88 \text{ g/cm}^3$. As the ethanol content in biodiesel increased, kinematic viscosity, density, cetane number and thermal values of fuel samples decreased. At 45% throttle opening with minimum reduction in specific fuel consumption, B100, BDE5, BDE10 and BDE15 fuel samples showed an increase of %8-%12-%17-%25, respectively. Maximum engine torque was obtained at %45 throttle opening from standard diesel fuel with 103 Nm. As the proportion of ethanol in biodiesel increased, compared to standard diesel fuel, decreases in engine torque, engine effective power and effective efficiency values was observed. In the cases of exhaust emissions, the highest soot emission value occurred in standard diesel fuel. Increased ethanol content in biodiesel reduced soot and HC emissions.

Key Words : Biodiesel, Ethanol, Canola oil, Exhaust Emissions, Engine Performance

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Türkiye’de tarım alanlarının yıllara göre değişimi	8
Şekil 1.2. Kanola bitkisi	10
Şekil 1.3. 1976-2018 yıllar arası Türkiye’nin kanola üretimi ve ekim alanlarının değişimi	11
Şekil 2.1. Anilin noktası test cihazı	25
Şekil 2.2. Trigliserit	34
Şekil 2.3. Yağ asidi	34
Şekil 2.4. Bitkisel yağlardan biyodizel üretim yöntemleri	44
Şekil 2.5. Bitkisel yağlardan transesterifikasyon yöntemi ile yağ esterleri elde edilmesi ..	46
Şekil 2.6. Transesterifikasyon kimyasal denklemi	46
Şekil 2.7. Etanol üretim aşamaları	49
Şekil 3.1. Bir dizel motorunun yanma ile değişen basınç-krank açısı değişimi	53
Şekil 4.1. Elektrikli tip indikatör sistemi	62
Şekil 4.2. Dinamometredeki moment ölçüm mekanizmasının çalışması	65
Şekil 4.3. Piston-biyel-krank mekanizmasına etki eden kuvvetler.	66
Şekil 4.4. Bir motora ait motor performans karakteristikleri	67
Şekil 5.1. Biyodizel üretim tankı ve elektrik panosu	72
Şekil 5.2. Dijital termometre	73
Şekil 5.3. Transesterifikasyon işleminde kullanılan esas bileşenler	74
Şekil 5.4. Deney motoru	76
Şekil 5.5. Hidrolik dinamometre	77
Şekil 5.6. Bosch BEA 460 marka egzoz emisyon ve duman koyuluk cihazı	78
Şekil 5.7. Yakıt tüketimi ölçümünde kullanılan materyaller	79
Şekil 5.8. Motor verilerini kayıt materyalleri	80
Şekil 5.9. Deney düzeneği şematik resmi	81
Şekil 5.10. Deney düzeneği resmi	82
Şekil 5.11. Transesterifikasyon işlemi ve elde edilen ürünler	84
Şekil 6.1. Efektif motor momentinin gaz kelebek açıklığına göre değişimi	89
Şekil 6.2. Yakıt numunelerden elde edilen efektif motor gücü değişimlerinin karşılaştırılması	91

Şekil 6.3. Yakıt numunelerinin özgül yakıt tüketimi değişimleri	92
Şekil 6.4. Yakıt numunelerinin efektif verim değişimleri.....	94
Şekil 6.5. Yakıt numunelerinin is emisyonları değişimlerinin karşılaştırılması	96
Şekil 6.6. Yakıt numunelerinin HC emisyonlarının değişimleri	97
Şekil 6.7. Yakıt numunelerinin CO ₂ emisyonlarının değişimi	98
Şekil 6.8. Yakıt numunelerinin O ₂ emisyonlarının değişimi.....	99



TABLolar LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Biyodizelin üretilebileceği tarımsal ürünler ve yağ verimleri.....	2
Tablo 1.2. 1965 ile 2016 yılları arasında dünyada yağlı tohum bitkileri toplam üretim miktarları (milyon ton) ve % artış oranı ile bu bitkilerin toplam içindeki payları (%).	5
Tablo 1.3. 2012-2016 yılları arasında dünyada bazı bitki türlerinden elde edilen ortalama ham yağ üretim miktarları (mil. ton) ve yüzdesel değişimleri.....	6
Tablo 1.4. 1965 ile 2016 yılları arasında Türkiye’de bazı yağ bitkilerinin üretim miktarları (1000 ton), yüzdesel oranı ve toplam içindeki yüzdesel oranları	6
Tablo 1.5. 2012-2016 yılları arasında Türkiye’nin ham yağ üretim miktarları, ortalama ve toplam üretim miktarları.	7
Tablo 1.6. Türkiye’de tarım alanlarının yıllara göre değişimi.....	8
Tablo 1.7. 1976 ile 2018 yılları arasında Türkiye’de kanola ekim alanları ve üretim miktarları.....	11
Tablo 2.1. DIN- 51601’e göre dizel yakıt özellikleri.....	19
Tablo 2.2. Dizel indekslerine karşılık gelen setan sayıları.	23
Tablo 2.3. Ülkemizde çıkarılan petrolün yerlerine göre API gravitesi.	25
Tablo 2.4. Dizel yakıt türlerinin bazı özellikleri	31
Tablo 2.5. Biyodizel (B100) standartları.	33
Tablo 2.7. Bazı yağ türlerinin özellikleri.	37
Tablo 2.8. Bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel yakıtların yakıt özellikleri	37
Tablo 2.9. Standart dizel yakıtı ile biyodizelin özelliklerinin karşılaştırılması.	38
Tablo 2.10. Seyreltme yöntemiyle oluşturulan dizel yakıtı-yağ karışımlarının bazı özellikleri.....	45
Tablo 2.11. Bitkisel yağların viskozitelerini azaltma yöntemlerinin karşılaştırılması.	47
Tablo 2.12. Biyodizel standartları.....	48
Tablo 2.13. Etanol, metanol ve dizel yakıt özelliklerinin karşılaştırılması.	50
Tablo 3.1. Hafif ticari araçlar (1305-1760 kg) için AB emisyon standartları (g/km).....	58
Tablo 3.2. Ağır hizmet dizel motorları için AB emisyon standartları (g/km)	58
Tablo 3.3. Dizel yolcu araçları için AB emisyon standartları (g/km).....	59
Tablo 3.4. Biyodizel ve B20 yakıtlarının egzoz emisyonları yönünden karşılaştırılması ...	59

Tablo 4.1. Dinamometrede kuvvet kolu uzunluğuna göre g lme formülleri.....	65
Tablo 5.1. Deney motoru teknik zellikleri	75
Tablo 6.1. Yakıt numunelerinin bazı özelliklerinin karşılaştırılması	86
Ek Tablo 1.1. Yakıt numunelerinin özgül yakıt tüketimi verileri	108
Ek Tablo 1.2. Yakıt numunelerinin efektif mototor momenti verileri	108
Ek Tablo 1.3. Yakıt numunelerinin efektif motor gücü verileri.....	108
Ek Tablo 1.4. Yakıt numunelerinin efektif motor verimi verileri	109
Ek Tablo 1.5. Yakıt numunelerinin is emisyonları verileri	109
Ek Tablo 1.6. HC emisyon verileri.....	109
Ek Tablo 1.7. CO ₂ emisyon verileri	110
Ek Tablo 1.8. O ₂ emisyon verileri	110

KISALTMALAR LİSTESİ

API	: American Petroleum Institution (Amerikan Petrol Enstitüsü)
AÖN	: Alt Ölü Nokta
B100	: %100biyodizel yakıtı
BDE	: Biyodizel-Etanol Yakıt Karışımı
CO	: Karbonmonoksit
CO₂	: Karbondioksit
C₂H₅OH	: Etil Alkol
CH₃OH	: Metil Alkol
COOH	: Karboksil Asit
cSt	: Centistokes(Viskozite Birimi)
D2	: Standart Dizel Yakıtı
da	: Dekar (Alan Ölçü Birimi)
d/d	: Devir/Dakika (Motor Dönme Hızı)
DI	: Dizel İndeks
EGEPAL	: Ege Üniversitesi Petrol Analiz Laboratuvarı
EMA	: Engine Manufactures Association (Motor İmalatçılar Birliği)
F	: Fahrenheit (Sıcaklık Ölçü Birimi)
HC	: Hidrokarbon
JF	: Jet Fuel (Jet Yakıtı)
KOH	: Potasyum Hidroksit
kW	: Kilowatt (Güç Ölçü Birimi)
LPY	: Lastik Prolitik Yakıtı
LPG	: Liquid Petroleum Gas (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı)
MF	: Marine Fuel (Gemi Yakıtı)
MTBE	: Metil Tersiyer Bütil Ester
NaOH	: Sodyum Hidroksit
nm	: nano metre
Nm	: Newton Metre (Tork Ölçü Birimi)
NO_x	: Azot Oksit Bileşiklerinin GenelKısaltması
NPG	: Natural Petroleum Gas (Doğal Petrol Gazı)

NiCrAl	: Nikel-Krom-Alüminyum
OD	: Oransal Değer
ÖYT	: Özgül Yakıt Tüketimi
PAH	: Poli Aromatik Hidrokarbon
PM	: Partikül Madde
ppm	: Per Particul Material
PYME	: Pamuk Yağı Metil Esteri
SG	: Specific Gravity (Spesifik Gravite)
SI	: Setan İndisi
SME	: Soya Yağı Metil Esteri
SO_x	: Kükürt Oksit Bileşiklerinin Genel Kısaltması
T50	: Bir Yakıtın %50'sinin Buharlaştığı Distilasyon Sıcaklığı
TG	: Tutuşma Gecikmesi
TE60	: Tall Yağı Metil Esteri
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
ÜÖN	: Üst Ölü Nokta
Y₂O₃ZrO₂	: İtiryumlu Stabilize Zirkonya

SİMGELER LİSTESİ

b_e	: Efektif Yakıt Tüketimi
b_i	: İndike Yakıt Tüketimi
f, F	: Kuvvet
H_u	: Yakıt Alt Isıl Değeri
i	: Motor Çevrim Sabiti
l	: Uzunluk
M_d	: Motor Momenti yada Torku
n	: Devir Sayısı
\ddot{O}_x	: Hacim Ölçeği
\ddot{O}_y	: Basınç Ölçeği
P_e	: Efektif Motor Gücü
P_{me}	: Ortalama Efektif Basınç
P_m	: Sürtünmelere Harcanan Güç
P_i	: İndike Motor Gücü
r	: Yarıçap
V_H	: Toplam Silindir Hacmi
W_f	: Kuvvetin Yaptığı İş
W_i	: İndike İş
z	: Silindir Sayısı
π	: 3,14'lük Sabit Sayı
ρ_y	: Yakıt Yoğunluğu
η_e	: Efektif Verim
η_i	: İndike Verim
η_m	: Mekanik Verim

1. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı, ileri seviyede sanayileşme, artan araç sayısı ve petrolün aşırı derecede kullanımı zaman içinde çevresel sorunlara yol açarak bölgesel sorun olmaktan çıkmış ve tüm dünyayı ilgilendiren küresel bir sorun haline gelmiştir. Enerji kaynakları sınırlı ve petrolde dışa bağımlı olan ülkeler, petrol kökenli yakıtlardan da kaynaklanan sorunlar nedeniyle farklı enerji arayışlarına yönelmişlerdir. Özellikle ihtiyaç duyduğu petrol ve doğalgazı ithal yoluyla sağlayan ülkeler yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Böylece hem maliyet avantajı sağlamayı hem de bu yakıtları ülkelerinin gelişmesinde itici güç olarak kullanmayı amaçlamışlardır.

Dizel motorları benzinli motorlara nazaran daha güçlü ve daha ekonomik motorlardır. Bu nedenle günümüzde kara, demiryolu ve deniz yolu taşıtlarında daha fazla tercih edilirler. Bununla birlikte bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar; gürültülü ve sesli çalışmaları, ivmelenme ve hızlanma kabiliyetlerinin düşük olması, ilk alım maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Ancak günümüzde teknolojinin hızla gelişmesi ve Common Rail gibi sistemlerin bulunması bu tip motorların otomobillerde de kullanılmasını yaygın hale getirmiştir. Hal böyle olunca dizel yakıtlara olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Fakat bilinen bir gerçek vardır ki; o da petrolün ömrünün önümüzdeki 30-40 yıl ile sınırlı olmasıdır. Bu da alternatif yakıt arayışlarının artmasına yol açmıştır.

Alternatif yakıt arayışlarının başka bir nedeni de içten yanmalı motorların çevreye yaydığı kirletici emisyonlardır. Bu emisyonlar günden güne hava kirliliğinin artmasına yol açmakta ve küresel ısınmanın en önemli nedenlerinden biri olarak görülmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarla yakıtların kükürt içeriğini azaltarak kükürt emisyonlarını düşürmek hedeflenmiştir ve bu konuda başarılı olunmuştur. Ancak NO_x ve is emisyonlarını azaltmada istenilen sonuçlar alınamamıştır. Bu nedenle biyodizel yakıtlarının araştırılıp geliştirilmesi giderek önem kazanmıştır. Böylece bu yakıtların viskozite, yoğunluk, akma noktası, parlama noktası ve setan sayısı gibi bazı özellikleri üzerinde çalışmalar yapılarak egzoz emisyonlarını iyileştirme yolları aranmaktadır [1].

Bitkisel yağlardan motor yakıtı olarak yararlanma fikri ilk olarak 1900 yılında Rudolph Diesel tarafından Paris'te tanıtılan ve fıstık yağıyla çalışan ilk dizel motoruna kadar uzanır.

Ayrıca 2. Dünya Savaşı sırasında petrol yokluğundan dolayı Fransa'nın araçlarında bitkisel yağ kullanması da buna başka bir örnektir.

Anadolu'da aspir ve kanola (kolza) gibi yağ kaynağı olan bitkiler kıraç arazilerde yetişebilme ve uygun piyasa fiyatlarını bulabilme potansiyeline sahiptirler. Tablo1.1'de biyodizelin üretildiği yağ bitkileri ve bu bitkilerin içerdiği yağ oranları verilmiştir. Tablodan da anlaşılacağı üzere bitkilerin yapısında bulunan yağ oranları, bu yağların dizel yakıtı yerine alternatif yakıt olarak kullanılma potansiyelini taşıdığını açıkça göstermektedir. Tabloda görülen bitkilerden palm ve jajoba dışındaki tüm bitkilerin ülkemizde yetişmesi için gereken iklim ve toprak koşulları mevcuttur. Dolayısıyla bu alana yapılacak olan yatırımların hem istihdam sağlayacağı hem de petrole bir alternatif olarak petrol için ödenen dövizin ülke içinde kalmasını sağlayacağı aşikârdır.

Tablo 1.1. Biyodizelin üretilebileceği tarımsal ürünler ve yağ verimleri [2].

Yağ Bitkisi	Latince adı	kg yağ/ha	Yağ içeriği %
Acı Bakla, Termiye	<i>Lupinus albus</i>	195	6-9
Aspir	<i>Carthamus tinctorius</i>	655	25-37
Ayçiçeği	<i>Helianthus annus</i>	800	35-40
Badem	<i>Prunus dulcis</i>	1125	25-50
Bal Kabağı	<i>Cucurbita pepo</i>	449	24-30
Bezir Yağı	<i>Perilla frutescens</i>	442	49-51
Ceviz	<i>Juglans nigra</i>	4500	60
Fındık	<i>Corylus avellana</i>	405	65-75
Hardal	<i>Brassica alba</i>	481	27-35
Haşhaş	<i>Papaver somniferum</i>	978	40-50
Jajoba	<i>Simmondsia chinensis</i>	1528	48-52
Jatropha	<i>Jatropha curcas</i>	1590	50
Kakao	<i>Theobroma cacao</i>	863	50
Kenevir	<i>Cannabis sativa</i>	305	30-35
Keten	<i>Linum usitatissimum</i>	402	38
Kolza	<i>Brassica napus</i>	1000	33-40
Mahun Cevizi	<i>Anacardium occidentale</i>	148	38-46
Mısır	<i>Zea mays</i>	145	5-6
Palm	<i>Erythea salvadorensis</i>	189	50
Pamuk	<i>Gossypium spp.</i>	273	20
Soya	<i>Glycine max</i>	375	17-26
Susam	<i>Sesamun indicum</i>	585	50
Yer Fıstığı	<i>Arachis hypogaea</i>	890	36-50
Zencibar	<i>Telfairia pedeta</i>	1119	35-38
Zeytin	<i>Olea europaea</i>	1019	35-70

Ülkemizde ve dünyada biyodizel araştırmaları çok hızlı bir şekilde ilerlemektedir. Bu konuda yapılan çalışmaların olumlu sonuçlar vermesi, biyodizel üretiminin bitkisel yağlardan karşılanması, bu yağları elde etmenin kolay olması, kaynağının sürekli olması ve maliyetinin düşük olması gibi nedenlerle gelecekte bu yakıt kaynaklarının petrol kökenli yakıtların yerine geçmesi muhtemel olarak görölmektedir.

İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtlar petrolden elde edilmektedir. Petrolün de yakın gelecekte tükenme ihtimalinin bulunması, araştırmacıları alternatif enerji kaynaklarını araştırmaya yönlendirmiştir. Bu araştırmalar benzin motorları için etil alkol, hidrojen, LPG, doğalgaz ve biyogaz gibi alanlarda yapılmaktadır. Hatta günümüzde birçok buji ile ateşlemeli motorda LPG ve doğalgaz kullanımı uzun süreden beri hayata geçmiştir.

Dizel motorlarda dizel yakıtıyla, LPG, NPG, biyogaz, hidrojen gibi gaz yakıtların kullanılmasını mümkün kılan örnekler mevcuttur. Ayrıca farklı türde yağlardan elde edilen metil ve etil esterleri de dizel motorlarında test edilip araştırılmaktadır. Ayçiçeği yağı, kanola, aspir, soya yağı gibi yağların yemeklik olanları dışındaki ham veya kullanılmış atık yağları birtakım kimyasal işlemden geçirildikten sonra dizel yakıtıyla belirli oranlarda karıştırılarak içten yanmalı dizel motorlarında kullanılabilir.

Bitkisel ve hayvansal yağların, metil ya da etil alkol gibi bir alkol ve NaOH ya da KOH gibi bir katalizör eşliğinde reaksiyona sokularak reaksiyon sonunda elde edilen ester türüne biyodizel denilmektedir. Bu yakıtın yapısında oksijen bulunur ve yapılan birçok çalışmada yanmayı olumlu yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Bu yeni yakıt türü dizel yakıtına olan bağımlılığı azaltacağından, gelecekte de yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak görölmektedir.

Biyodizel yakıtların birçok önemli avantajı bulunmaktadır. Bunlar; motorda yağlamaya fayda sağlaması, doğada kısa sürede bozunabilir olması, zehirleyici olmaması, emisyonlarının temiz olması ve yenilenebilir olması gibi avantajlardır. Biyodizel klasik dizel motorlarında direkt olarak kullanılabilir gibi dizel yakıtı ve değişik alkollerle belirli oranlarda karıştırılarak da kullanılabilir. Yapısında bulunan oksijen HC, CO ve is emisyonlarının azalmasına yardımcı olur. Ancak NO_x emisyonlarında kısmen de olsa bir artışa neden olduğu yapılan çalışmalardan anlaşılmaktadır [3].

1.1. Yağ Üretilen Bitkiler ve Önemi

Yeryüzünde yetişen bitkilerden pek çoğu zengin yağ içeriğine sahiptir. Bu bitkiler tek ve çok yıllık, yabani ve kültür bitkileri olarak sınıflandırılabilirler. Tek yıllık yağ bitkilerine; ayçiçeği, çigit, soya, yarfıstığı, susam, kanola (kolza), aspir, haşhaş ve hintyağı, çok yıllık bitkilere ise; zeytin, hindistan cevizi ve hurma (palm) örnek olarak verilebilir.

Bu bitkilerin tohumlarından ve etli yada meyveli kısımlarından çeşitli yöntemlerle sıkılarak yağları alınır, hem insan ve hayvan beslenmesinde hem de sanayi üretiminde bir girdi kaynağı olarak kullanılırlar. Ayrıca bu bitkiler sahip oldukları içerikler bakımından çok çeşitli alanlarda kullanılabilirler. Bu alanlar Arıoğlu [4] tarafından başlıklar halinde sayılmıştır;

1. Yağ üretiminde
2. Yem üretiminde
3. Toprağın üretkenliğini attırmada
4. Yeşil yem olarak hayvanların beslenmesinde
5. Ekim nöbetinde
6. Arıcılık faaliyetlerinde
7. Sanayide hammadde
8. Biyodizel üretiminde kullanılırlar.

1.2. Türkiye ve Dünyada Yağlı Tohum Bitkisi ve Ham Yağ Üretimi

1965-2016 yılları arasında dünyada son 50 yılda beşer yıllık aralıklarla üretilen yağlı tohum bitkisi toplam ürün miktarı ve yağlı tohum üretiminde meydana gelen yüzdesel artış oranları Tablo 1.2’de verilmiştir. Tablo incelendiğinde 1965 yılı dünya yağlı tohum bitkisi toplam üretim miktarı 98,6 milyon ton iken (zeytin, hurma ve hindistan cevizi hariç) 2016 yılında bu miktar %462’lik artışla 554 milyon tona yükselmiştir. Bu yağlı tohum bitkileri içinde en fazla artışı %1.208 ile kanola (kolza) bitkisi yapmış ve hemen ardından %963 ile soya bitkisi gelmiştir. 2016 verilerine göre bu bitkilerin %22,9’unu ABD, %19,3’ünü Brezilya, %10,8’ini Arjantin, %10,1’ini Çin, %6,7’sini Hindistan ve geri kalan %30,1’ini diğer ülkeler üretmiştir.

Tablo 1.2. 1965 ile 2016 yılları arasında dünyada yağlı tohum bitkileri toplam üretim miktarları (milyon ton) ve % artış oranı ile bu bitkilerin toplam içindeki payları (%) [6].

Yıllar	Ayçiçeği	Çiğit	Soya	Kolza	Yerfıstığı	Aspir	Susam	Toplam
1965	8,0	35,7	31,7	5,2	15,8	0,5	1,7	98,6
1970	10,0	35,4	43,7	6,7	18,0	0,7	2,0	116,5
1975	9,9	36,0	64,2	8,8	19,1	1,0	1,7	140,7
1980	13,7	41,2	81,0	10,7	16,9	0,9	1,7	166,1
1985	18,9	50,7	101,2	19,2	21,0	0,9	2,3	224,2
1990	22,7	54,3	108,5	24,4	23,3	0,8	2,4	236,4
1995	26,3	56,7	127,0	34,2	28,8	0,8	2,5	276,3
2000	26,4	53,1	161,4	39,5	35,0	0,6	2,9	318,9
2005	30,7	66,7	209,7	45,3	36,5	0,6	3,3	392,8
2010	34,0	44,0	264,0	61,0	42,1	0,6	4,4	450,1
2016	45,0	40,0	337,0	68,0	43,9	0,7	6,2	554,0
Artış oranı (%)	462	12,0	963	1208	178	40	264	462
Oransal değer (%)*	8,1	7,2	60,8	12,3	7,9	0,1	1,1	100,0

*%2.5 (13.2 milyon ton)'ini de diğer yağlı tohumlar (zeytin, hurma ve coco hariç) oluşturmaktadır.

Yağlı tohumlu bitkilerin yağı alındıktan sonra geri kalan kısmı hayvan beslenmesinde önemli bir yeri olan karma yem yapımında kullanılmaktadır. Dünyada yıllık olarak yaklaşık 1 milyar tonu aşan miktarda hayvan yemi yapıldığı tahmin edilmektedir. Bunun 350 milyon tonu yağlı tohum bitkisi küspesinden karşılanmaktadır [5]. Bu nedenle dünya tarım ve hayvancılığı açısından bu bitkilerin ekimi son derece önemlidir. Türkiye'de ekilebilir alanların %4'ünde yağ tohumu bitkileri yetiştirilirken, ABD'de tarım alanlarının %21'inde, Çin'de %19,3'ünde, Brezilya'da %28,5'inde, Hindistan'da %30'unda ve Arjantin'de %22'sinde ekilmektedir. AB ülkelerinde ise toplam tarım alanlarının %30'una yağlı tohum bitkisi ekilmektedir.

Tablo1.3'de 2012-2016 yılları arasında dünyada ürün çeşitlerine göre üretilen ham yağ ortalama üretim miktarları ve ürün çeşitlerinden elde edilen ham yağların toplam içindeki yüzdesel oranları verilmiştir. Veriler incelendiğinde dünya ham yağ üretimi son beş yıllık ortalama göre 175 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Bunun 48,6 milyon tonu soya, 5 milyon tonu çiiğit, 15,6 milyon tonu ayçiçeği, 27 milyon tonu kanola (kolza), 58,2 milyon tonu palm ve 20,6 milyon tonu diğer bitkilerden sağlanmıştır. Yine bu dönemde ortalama ham yağ üretiminde 15,4'lük artış olmuştur.

Tablo 1.3. 2012-2016 yılları arasında dünyada bazı bitki türlerinden elde edilen ortalama ham yağ üretim miktarları (mil. ton) ve yüzdesel değişimleri [6].

Ürün cinsi	Yıllara göre ham yağ üretimi (milyon ton/yıl)					Ortalama (mil. ton)	O.D (%)*
	2012	2013	2014	2015	2016		
Soya	43	45	49	52	54	48,6	27,8
Çiğit**	5	5	5	5	5	5,0	2,9
Ayçiçeği	14	16	15	16	17	15,6	8,9
Kolza	25	27	28	28	27	27,0	15,4
Palm	56	59	52	59	65	58,2	33,2
Diğerleri	19	20	28	17	19	20,6	11,8
Toplam	162	172	177	177	187	175,0	100

*O.D: Oransal değer (%); **Çiğit: Pamuk tohumu

Tablo 1.4. 1965 ile 2016 yılları arasında Türkiye’de bazı yağ bitkilerinin üretim miktarları (1000 ton), yüzdesel oranı ve toplamındaki yüzdesel oranları [6].

Yıllar	Ayçiçeği	Çiğit	Soya	Kolza	Yer fıstığı	Aspir	Susam	Toplam
1965	160	527,0	5,0	7,5	30,0	-	34,0	7635
1970	375	640,0	12,0	3,1	37,0	-	36,0	1103,1
1975	488	768,0	6,8	0,5	40,0	-	33,0	1336,3
1980	750	800,0	2,3	11,5	41,0	-	26,0	1630,8
1985	800	828,0	25,0	0,5	59,0	-	45,0	1757,5
1990	860	1047,4	162,0	2,1	63,0	0,14	39,0	2173,6
1995	900	1262,6	5,0	-	70,0	0,13	30,0	2267,7
2000	800	1295,1	44,5	0,2	78,0	0,02	23,0	2240,7
2005	930	930,0	45,0	2,0	80,0	0,22	26,0	2013,2
2010	1000	1000,0	55,0	110,0	97,3	26,0	23,4	2311,7
2014	1200	1200,0	53,0	112,0	123,6	76,0	17,7	2882,3
2015	1200	1000,0	161,0	120,0	147,5	70,0	18,5	2717,0
2016	1250	1100,0	165,0	125,0	164,2	58,0	19,5	2881,7
Artış oranı (%)	618,2	108,7	3200	1566,7	447,3	-	(-)42,6	277,4
Oransal değer (%)	43,4	38,2	5,7	4,3	5,7	2,0	0,7	100

Türkiye yağlı tohum üretimi bakımından önemli bir potansiyele sahiptir. Jojoba, palm ve hindistan cevizi dışındaki tüm yağ bitkilerinin yetişmesi için gereken iklim ve toprak koşullarını taşımaktadır [9]. 1965-2016 yılları arasında Türkiye’de son 50 yıllık dönemde bazı yağ bitkilerinin üretim miktarları ile yüzdesel artış oranları Tablo 1.4’de verilmiştir. Tablo incelendiğinde 1965 yılında Türkiye’de yağlı tohum üretimi 763.500 ton iken 2016’da bu rakam %277,4’lük artışla 2.881.700 tona yükselmiştir. En büyük artışlar %3200 ile soya ve %1.566,7’lik artışla kanola da olmuştur. Susam bitkisinde ise yıldan yıla azalmalar görülmektedir. Türkiye’de yağlı tohum bitkilerine ayrılan ekim alanı %4’dür. Bu

oran gelişmiş ülkelere göre çok azdır. Gelişmiş dünyanın yakalanması için hükümetlerin bu alanda daha fazla çiftçiyi teşvik etmesi gerekmektedir. Ülkemizdeki yağlı tohum üreticiliğinin sınırlı olması nedeniyle ham yağ talebini karşılamak için yurtdışından yağlı tohum ithal edilerek yağ üretimi gerçekleştirilmektedir. Bunun yanı sıra yurtdışından ham yağ ithal edilerek bu talep karşılanmaktadır. Tablo 1.5’de yurtdışı ve yurtiçinden ham yağ talebini karşılama oranları verilmiştir.

Tablo 1.5. 2012-2016 yılları arasında Türkiye’nin ham yağ üretim miktarları, ortalama ve toplam üretim miktarları [6].

Yıllar	Yerli Tohumdan Üretim (1000 ton)	Oransal değer (%)	İthal ham yağ üretimi (1000 ton)			Oransal Değer (%)	Toplam Yağ üretimi (yerli + ithal)
			İthal tohumdan yağ üretimi	Doğrudan ham yağ ithalatı	Toplam ithal yağ üretimi		
2012	680	27,4	483	1.323	1.806	72,6	2.486
2013	811	30,3	474	1.388	1.862	69,7	2.673
2014	771	25,4	700	1.562	2.262	74,6	3.033
2015	753	26,4	559	1.543	2.102	73,6	2.855
2016	786	27,2	620	1.482	2.102	72,8	2.888
Ortalama	760	27,3	567	1.460	2.027	72,7	2.787

Tablo incelendiğinde son beş yıllık dönemde ülkemizde 2.787.000 ton ham yağ üretilmiş, bunun 760.000 tonu yurtiçi kaynaklarla, 2.027.000 tonu ise ithal yoluyla karşılanmıştır. Türkiye’de yağlı tohum üretiminin yetersiz olması ve eksik kalan talebin büyük kısmının yurtdışından karşılanması ülkemizin büyük miktarda petrolden sonra en fazla döviz kaybettiği alan olmuştur. 2007-2016 yılları arasında yurtdışına yıllık ortalama 1,295 milyar \$ yağlı tohum ithalatı, 1,356 milyar \$ ham yağ ithalatı ve 435 milyon \$ küspe ithalatı için döviz ödenmiştir.

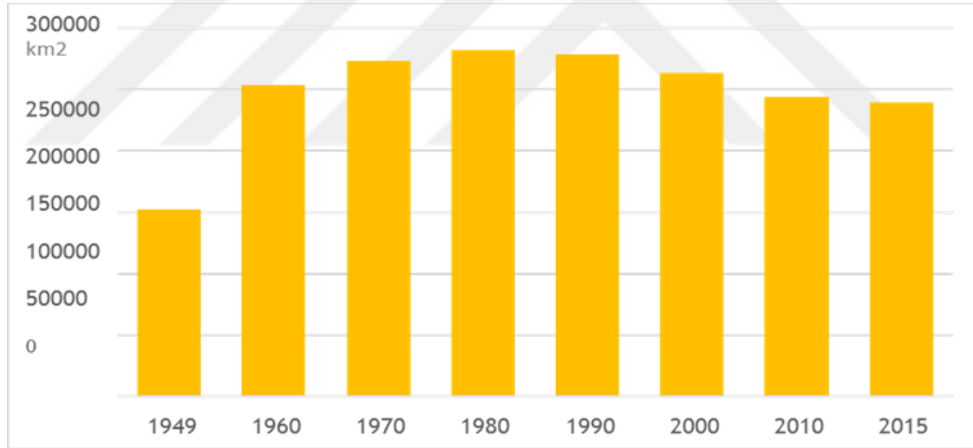
Bu veriler ışığında ülkemizde var olan tarım potansiyelinden dolayı yağlı tohum alanında daha fazla ekim yapılması teşvik edilmelidir. Böylece hem kendi üretimimizi yapıp iç talebimizi karşılamak hem de biyodizel üretimi için hammadde kaynağı sağlamak suretiyle ulusal gelirimizin ülke içinde kalmasına olanak sağlanmış olunacaktır. Ayrıca ülkemizde bulunan 2,5 milyon ton tohum işleme kapasitesinin atıl duruma geçmesinin önüne geçilmiş olacaktır. Bunların yanı sıra hem tarım sektöründe hem de yağ işleme sektöründe istihdam sağlama olanakları artmış olacaktır.

1.3. Ülkemizin Arazi Potansiyelinin Yıllara Göre Değişimi

Günümüzde ülkemizin tarım alanlarının bugünkü şeklini alması Osmanlı dönemine kadar uzanmaktadır. Osmanlının ekonomisi büyük ölçüde tarıma dayalıydı. Cumhuriyetin kurulmasıyla birlikte ülkemizin ekonomisi büyük ölçüde tarıma dayalı olarak devam etti. Bu dönemle birlikte tarımı geliştirmek için çeşitli önlemler alınmış, ama üretim konusunda köklü değişiklikler yapılamadığı için üretim miktarı ve yetiştirilen tarımsal ürünlerin kalitesi geri kalmıştır [7].

Tablo 1.6. Türkiye’de tarım alanlarının yıllara göre değişimi [9].

Yıllar	1949	1960	1970	1980	1990	2000	2010	2015
Tarım Alanı (km ²)	152.721	253.240	273.390	281.820	278.560	263.790	243.942	239.336



Şekil 1.1. Türkiye’de tarım alanlarının yıllara göre değişimi [9].

1960’larla birlikte traktörün tarım alanlarına girmesi ilerleyen yıllarda tarım alanlarının genişlemesine sebep olmuş ve özellikle 1980’lerde sulama teknolojisi ve gübreleme imkânlarının artışıyla [8] tarımsal alanların kendi içinde dönüşümüne ve yeni tarım alanlarının açılmasına zemin hazırlamıştır. Tablo 1.6 ve Şekil 1.1’de görüldüğü gibi toplam tarım alanlarının yüzölçümü içindeki payı %36 olmuştur. 1980’lerden sonra bu oran tekrar düşmeye başlamıştır. Bu düşüşün temel nedeni 1950’lerle birlikte başlayan kırdan kentlere göç olayı olmuştur. Kentleşme ile birlikte şehirlerin büyümesi, kentlerin etrafındaki tarım arazilerinin yerleşim alanlarına dönmesine yol açmıştır.

Tablo 1.6 ve Şekil 1.1 incelendiğinde beşer yıllık dilimlerde 1949 ile 1990 yılları arasında tarım alanlarının sürekli bir artış göstermiş olduğu, 1990'dan sonra ise kentleşmenin getirdiği genişleme ile birlikte azalma eğilimine girmiş olduğu görülmektedir. Bu durum tarım arazileri yönünden zengin olan ülkemizin kalkınmasının önündeki en büyük engellerden biri olmuştur. Gerek tarım teknolojilerinin geliştirilmesi gerekse tarım alanlarını korumak ve bu alanlara yapılacak olan teşvik programları ile kendi ihtiyaçlarımızı karşılamak hem ülkemizde yıllardan beri bir sorun olarak görülen işsizliğin azaltılmasını sağlayacak hem de ekonomimizin canlanmasına yardımcı olacaktır.

1.4. Kanola (Kolza) Bitkisi ve Özellikleri

Son yıllarda Türkiye ve dünyada yağlı tohum yetiştiriciliği büyük önem kazanmıştır. Yağlı tohum bitkilerinin yağ içeriği % 30-50 arasında değişmektedir [10]. Bu bitkilerden üretilen yağlar hem yemeklik olarak hem de sanayide hammadde ve yakıt ihtiyacını karşılamak amacıyla biyodizel üretiminde kullanılmaktadır.

Biyodizel üretiminde kullanılan bitkilerden biri de kanola (kolza) bitkisidir. Bu bitki 1960'lı yıllarda Balkanlar'dan Türkiye'ye gelen göçmenler tarafından Trakya'da ekilmeye başlamıştır. Ancak yapısında bulunan erusik asitten dolayı yetiştirilmesi 1979 yılında yasaklanmıştır [11]. Daha sonra ıslah çalışmalarıyla erusik asit içermeyen türler Kanada'da geliştirildiği için kanola adı ile kullanılmaya başlanmıştır. Türkiye'de kolza adıyla bilinir ve hem yazlık hem kışlık olarak yetiştirilirler. Tohumunda %30-55 arası yağ ve %12-26 arası protein ihtiva eder [12]. TÜİK 2018 verilerine göre Türkiye'de 2018 yılında 240000 da'lık ekim alanında 60000 ton üretim yapılmıştır.

Kanola yağı zeytinyağı ve fıstıktan elde edilen yağ kalitesinde bir yağ çeşididir [13]. Bu bitkinin yağı alındıktan sonra geri kalan kısmı hayvan küspesi olarak değerlendirilmektedir. Ayrıca sarı renkte çiçekler içerdikleri için arıcılık faaliyetlerinde de kullanılmaktadır. Bu bitki zengin bir organik içeriğe sahiptir ve dolayısıyla toprağın organik yapısına çok fayda sağlamaktadır. Üretim masrafları oldukça azdır ve yetiştigi topraklarda yabancı ot yetişmesine izin vermez. Şekil 1.2'de kanola bitkisi görülmektedir.



Şekil 1.2. Kanola bitkisi

Dünyada yıllık yaklaşık olarak 30 milyon ton kanola üretimi yapılmaktadır. Bu üretimin 5 milyon tonunu Çin, 4,4 milyon tonunu Hindistan ve 3 milyon tonunu ise Kanada yapmaktadır. Avrupa’da ise 500.000 da ile Polonya ve 400.000 da ile Almanya en fazla ekimi yapmaktadır.

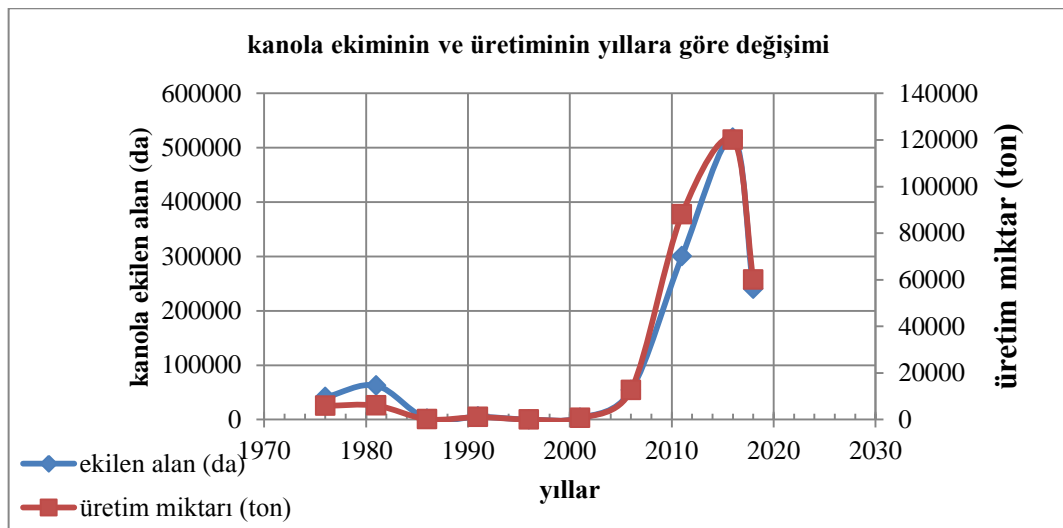
Ülkemizde 17800 da ile Adana, ardından 7581 da alan ile Tekirdağ ve 5500 da ekim alanı ile Balıkesir gelmiştir. Adana’da 2006 verilerine göre üretim toplamı 4197 ton olarak gerçekleşmiştir. Bu bitki ülkemizde yılda iki kez ekilebilmekte, yaz ekimini Ege ve Akdeniz Bölgesi, kış ekimini ise İç Anadolu ve Marmara Bölgesi yapmaktadır. Kanola bitkisi iki yıl ardı ardına ekildiğinde toprağın kalitesini azaltacağı için toprağın verimliliğini korumak ve yüksek verimlilik sağlamak amacıyla münavebe uygulamasına gidilir.

TÜİK 2018 verilerine göre Tablo 1.7 ve Şekil 1.3’de Türkiye’de 1976 ile 2018 yılları arasında ekilen kanola ekim alanları ile üretim miktarları verilmiştir. Tabloda kanola ekim alanları ve üretim miktarları yıldan yıla farklılık göstermektedir. 1976 yılında ekim alanı 41000 da iken, 1977’de 93500 da çıkmış ve bu değer 1979’da 275000 dekara yükselmiştir. O yıldaki artışın temel nedeni kanola yağında bulunan erusik asit oranının sıfır indirilmiş olması ile birlikte bu türün ekiminin serbest bırakılması olmuştur. 1980 ile 2007 yılları arasında önemli ölçüde ekim alanlarında azalma olmuş ve 2007’de tekrardan artış göstermeye başlamıştır. Bu bitkinin yağ içeriğinin yüksek olması ve alternatif bir yakıt

kaynağı olan biyodizel üretiminde kullanılmaya uygun olması nedeniyle daha fazla oranda ekilmesinin üzerinde durulmalıdır.

Tablo 1.7. 1976 ile 2018 yılları arasında Türkiye’de kanola ekim alanları ve üretim miktarları [14].

Yıllar	Ekilen Alan (da)	Üretim (ton)	Yıllar	Ekilen Alan (da)	Üretim (ton)
1976	41000	5900	1999	1870	330
1977	93500	13800	2000	820	187
1978	90000	12500	2001	2900	650
1979	275000	43000	2002	5500	1500
1980	100000	11500	2003	28000	6500
1981	62500	6000	2004	17000	4500
1982	17000	2000	2005	7000	1200
1983	2530	400	2006	53898	12641
1984	2900	450	2007	119300	28000
1985	1350	450	2008	328000	82000
1986	1010	121	2009	448000	112000
1987	2500	340	2010	420000	110000
1988	12300	1400	2011	300000	88000
1989	32000	3000	2012	275000	100000
1990	20170	2100	2013	278543	102000
1991	5210	1046	2014	444545	112000
1992	5000	1000	2015	432765	110000
1993	50	9	2016	518000	120000
1994	60	10	2017	520000	125000
1995	70	9	2018	240000	60000
1996	20	5			
1997	100	10			
1998	1150	300			



Şekil 1.3. 1976-2018 yılları arasında Türkiye’nin kanola üretimi ve ekim alanlarının değişimi

1.5. Literatür Araştırmaları

Biyodizel konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde özellikle 2000’li yıllardan sonra hızlı bir şekilde gelişen bitkisel yağlardan biyodizel üretimi ile ilgili olarak üretilen biyodizelin çeşitli oranlarda dizel yakıtı ya da etanol, metanol, bütanol gibi değişik alkollerle harmanlar yapılarak motor performansı ve egzoz emisyonlarını geliştirmek üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Bunların yanı sıra yanma odasını seramik kaplayıp motorda ısı kayıplarının minimuma indirilmesi suretiyle motor verimini artırmak ve enjektör püskürtme basıncı ile pompa avans değerlerini değiştirip motor performans ve yanma verimliliğini arttırmak üzerine çalışmalar da yapılmıştır. Aşağıda biyodizel üzerine yapılan literatürdeki bu çalışmalardan bazıları aktarılmaya çalışılmıştır.

Örs [15] tarafından yapılan çalışmada tek silindirli bir dizel motorda yakıt olarak farklı oranlarda dizel yakıtı-bütanol karışımları kullanılarak motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla dizel yakıtına %5, %10 ve %15 oranlarında bütanol katılmıştır. Dizel yakıtı, biyodizel ve biyodizel-bütanol karışımları sabit hız ve farklı yüklerde test edilmiştir. Biyodizel yakıtına %15 bütanol eklendiğinde özgül yakıt tüketiminde %10 artış, efektif verimde dizel yakıtına göre %3 azalma, NO_x, is ve CO emisyonlarında sırasıyla %16, %24 ve %49’luk azalma olduğu tespit edilmiştir.

Huang ve ark. [16] tarafından yapılan çalışmada etanol- dizel yakıt karışımlarının motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Karışımda %10, %20, %25 ve %30 oranlarında etanol kullanıldığında özgül yakıt tüketimi ve HC emisyonlarında artış, CO ve NO_x emisyonlarında ise azalma olduğu gözlemlenmiştir.

Eliçin [2] tarafından tek silindirli bir dizel motorda yapılan deneylerde biyodizel yakıtı %5, %10, %20, %50 ve %75 oranlarında dizel yakıtıyla karıştırılmış ve motor performans ve egzoz emisyon değerleri incelenmiştir. İnceleme sonucunda motor moment ve güç değerlerinin azaldığı ve egzoz emisyon değerlerinde iyileşme olduğu görülmüştür.

Özsezen [17] tarafından dört zamanlı, dört silindirli 1,8 VD Dizel BMC marka bir test motorunda atık palmiye yağından palmiye yağı metil esteri elde edilerek standart dizel yakıtıyla harmanlanmış ve B100, B50, B20 ve B5 yakıtları elde edilerek test edilmiştir. Bu numuneler 1000 d/d’den başlayan ve 500 d/d aralıklarla 3000 d/d’ya kadar değişik devirlerde ve dört farklı yükte (tam yük, 60, 40 ve 20 Nm) test edilerek motor performans, yanma, püskürtme ve emisyon karakteristikleri incelenmiştir. Yapılan

inceleme sonucunda tam yükte biyodizel ve biyodizel-dizel yakıtı harmanları kullanıldığında moment değerinde az miktarda bir azalma tespit edilmiştir. B100, B50, B20 ve B5 yakıtları kullanıldığında moment değerlerindeki azalmanın sırasıyla %7,16, %5,6, %4,28 ve %2,01 olarak hesaplanmıştır. Minimum özgül yakıt tüketimi ise tüm test yakıtlarında 2000 d/d'da elde edilmiştir. Tüm biyodizel harmanlarında özgül yakıt tüketiminde bir miktar artma, efektif motor gücünde ise bir miktar azalma gözlemlenmiştir.

Keskin [18] tarafından kâğıt fabrikalarında üretim prosesi esnasında yan ürün olarak elde edilen tall yağından biyodizel, tall yağı reçine asitlerinden ise katkı maddesi üretilmiştir. Elde edilen tall yağı biyodizeli standart dizel yakıtıyla karıştırılarak bir dizel motorunda performans testlerine tabi tutulmuştur. Yapılan gözlemlerde %80 ve %90 tall yağı metil esterleri ile dizel yakıtı karışımlarının dizel motorlarında kullanımının uygun olmadığı, %60'lık karışım oranının daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir ve çalışmalar bu yakıt numunesi üzerinden yürütülmüştür. Biyodizel yakıt numunelerinin özgül yakıt tüketimi üzerinde artarak etki gösterdiği tespit edilmiştir. En düşük özgül yakıt tüketimi değerine TE60-12 yakıtı ile 1800 d/d'da ve dizel yakıtına göre %3,08 artışla elde edilmiştir.

Gökalp [19] tarafından yapılan doktora çalışmasında Deniz Kuvvetleri Komutanlığı bünyesindeki motorlarda kullanılan jet yakıtı (JF), gemi yakıtı (MF), kara taşıtları yakıtı (D2) ve soya yağı metil esteri (SME) ile %5, %20, %50 oranlarında karışımlar yapılarak dört silindirli, doğal emişli ve direkt püskürtmeli bir dizel motorunda motor performans ve egzoz emisyonları test edilmiştir. Yapılan testler motorun tam yük ve değişken devir oranlarında gerçekleştirilmiştir. Deneyle sonucunda yakıt içindeki SME oranı arttıkça özgül yakıt tüketiminin arttığı, motor performanslarında ise JF, MF ve D2 yakıtlarına göre az miktarda bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. Egzoz emisyonları açısından SME'nin CO ve ışık absorpsiyon katsayısı değerlerinde azalma, NO_x emisyonlarında ise artma etkisi gösterdiği vurgulanmıştır.

Demir [20] tarafından Türkiye'de Ege ve Akdeniz Bölgesinde bol miktarda üretilen pamuk çekirdeğinden (çiğit) elde edilen ham yağla transesterifikasyon yöntemi kullanılarak pamuk yağı metil esteri (PYME) elde edilmiş ve bir dizel motorda performans testleri yapılmıştır. Elde edilen saf PYME, B20, B50 ve dizel yakıtı 6 silindirli, 8,2 litre hacimli ve direkt püskürtmeli bir dizel motorunda tam yükte performans testlerine tabi tutulmuştur. Testler 1000-2200 d/d arasında 6 farklı devirde gerçekleştirilmiştir. Dizel yakıtı kullanıldığında 2200 d/d'da maksimum güç (196,09 kW) ve 1500 d/d'da maksimum

tork (954,1 Nm) değerleri elde edilmiştir. PYME testinde ise maksimum gc değeri 2200 d/d'da 185,28 kW ve tork değeri ise 1500 d/d'da 904,6 Nm olarak lclmştir. CO ve HC emisyonlarının maksimum tork ve maksimum gc değerlerinde ise sırasıyla %73,2 ve %49 azalma olduğu tespit edilmiştir.

Haşimoğlu [21] tarafından ayçiçeği yağından elde edilen biyodizel ve motorin direkt püskürtmeli, dört silindirli ve aşırı doldurmalı bir dizel motorunda karşılaştırmalı olarak denenmiştir. Daha sonra motorun silindir kapağı ve supapları plazma spre yöntemiyle 0,15 mm nikel-krom-alüminyum (NiCrAl) astar tabaka ve 0,35 mm itriyumlustabilize zirkona ($Y_2O_3ZrO_2$) ile kaplanarak deney motoru düşük ısı kayıplı vaziyete getirilmiş ve deney yakıtları yeniden test edilmiştir. Deney sonuçlarına göre seramik kaplamalı deney motorunda her iki yakıt için özgül yakıt tüketimi ve efektif verimde iyileşmeler tespit edilmiştir. Egzoz gazı sıcaklığı, CO_2 , NO_x değerleri artarken duman emisyonlarında azalma olduğu gözlemlenmiştir.

şimşek [22] tarafından dört zamanlı, tek silindirli, direkt püskürtmeli bir dizel motorda, elde edilensoya yağı metil esteri (SME) ve dizel yakıtıyla karışımları B25, B50, B75 ve B100 yakıtları performans ve emisyon yönünden karşılaştırılması için test edilmiştir. Testler ilk aşamada tam yük ve sabit hızda yapılmış ve en iyi sonuç B25 yakıtından elde edilmiştir. İkinci aşamada ise yakıt örnekleri orijinal püskürtme basıncı ve değişken püskürtme basınçlarında (160, 180, 200, 220, 240 bar) ve değişik yüklerde test edilmiştir. B25 ile yapılan çalışmalarda en iyi sonuç 220 barlık püskürtme basıncıyla elde edilmiştir. Ayrıca CO, HC ve is emisyonlarında önemli azalmalar gözlemlenirken, NO_x emisyonunda ise %12'lik bir artış gözlemlenmiştir.

Alptekin [23] tarafından atık tavuk ve deri yağlarının serbest yağ asit değerleri laboratuar şartlarında düşürüldükten sonra transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretilmiştir. Daha sonra biyoetanol ve motorinle belirli oranlarda harmanlanarak sabit devir (1400 d/d) dört farklı motor yükünde (150, 300, 450 ve 600 Nm) test edilmiştir. Elde edilen ölüm verilerine bağlı olarak performans ve emisyon karakteristikleri incelenmiştir. Dene ylerin sonucunda biyodizel ve biyoetanol karışımlarının YT değerlerinin petrol kökenli dizel yakıtına göre arttığı, efektif motor gücünün ise düşük devirlerde bir miktar azaldığı ve yüksek devirlerde ise bir miktar arttığı sonucuna varılmıştır. Emisyon sonuçlarına göre karışım yakıtları kullanıldığında HC ve CO emisyonlarının azaldığı, CO_2 ve NO_x emisyonlarının ise arttığı tespit edilmiştir.

Yaşar [24] tarafından yosun yağından transesterifikasyon yöntemiyle üretilen biyodizel %20 oranında dizel yakıtıyla karıştırılarak dört zamanlı ve direkt püskürtmeli dizel motorunda sabit devir ve değişken motor yüklerinde test edilmiştir. Sonuç olarak biyodizel karışımın özgül yakıt tüketiminde artış, efektif verimde düşüş, silindir basıncı ve ısı salınımında dizel yakıtına göre artış gözlemlenmiştir. Ayrıca HC ve is emisyonlarında azalma görülürken, NO_x emisyonlarında artış olduğu gözlemlenmiştir.

Afşar [25] tarafından yapılan çalışmada atık yağı biyodizel- dizel yakıt karışımlarının yanma, performans ve emisyon karakteristikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Deneylerde dört zamanlı, tek silindirli ve direkt püskürtmeli bir dizel motoru kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre biyodizel kullanımıyla silindir içi basınç artış hızı, ısı açığa çıkma oranı ve ortalama yanma sıcaklığının azaldığı, toplam yanma süresinin uzadığı tespit edilmiştir. Özgül yakıt tüketimi ise dizel yakıtına kıyasla %3 oranında artış göstermiştir. Yine B100 yakıtı dizel yakıtıyla karşılaştırıldığında NO_x, CO ve is emisyonlarında azalma, HC emisyonlarında ise artma gözlemlenmiştir.

Çıtak [26] tarafından soya yağından metil esteri elde edilerek yakıt yoğunluğunu azaltmak amacıyla hacimsel olarak %10 ve %20 oranlarında metil tersiyer bütül ester (MTBE) ile karıştırılmıştır. Elde edilen karışımlar bir dizel motorunda test edilmiş ve sonuçlar dizel yakıt kullanımıyla kıyaslanmıştır. Farklı motor devirlerinde yapılan bu testlerde karışımdaki biyodizel oranındaki artış ile CO emisyonlarında azalma görülürken, NO_x emisyonlarında artış olduğu belirlenmiştir. Ayrıca biyodizel katkısı ile termik verim ve özgül yakıt tüketiminde iyileşmeler gözlemlenmiştir. Aynı zamanda MTBE kullanımı ile efektif motor gücü, tork ve özgül enerji tüketiminde azalmalar, termik verim ile NO_x değerlerinde artışlar gözlemlenmiştir.

Doğan [27] tarafından kullanım ömrünü tamamlamış lastiklerden pirolitik yakıt üretilmiş ve bu ürünün alternatif bir yakıt olarak kullanılabilirliğinin araştırılması için tek silindirli bir dizel motorunda denenmiştir. Oluşturulan numuneler LPY20 (%20 lastik pirolitik yakıtı + %80 standart dizel yakıtı), LPY40, LPY60, LPY80 ve LPY100'dür. Bu numuneler farklı yük (%25, %50, %75 ve %100), dört farklı hız (1400, 2000, 2600, 3200 d/d) ve yine dört farklı püskürtme basınçlarında (185, 205, 225, 245 bar) incelenmiştir. Standart dizel yakıtına %40 LPY ilavesiyle motor egzoz emisyonları ve motor performans değerleri incelenmiştir. Deneylerin sonuçlarına göre standart dizel yakıtına %40'dan daha fazla LPY ilavesinin motor performans ve emisyon parametrelerini olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir.

Özer [28] tarafından zeytinyağı küspesinden elde edilen pirina yağıyla atık bir alkol karışımı olan fuzel yağı eşliğinde biyodizel üretilmesi ve dizel motorunda kullanılmasının etkileri incelenmiştir. Zeytin küspesinden ekstraksiyon yöntemiyle elde edilen ikincil yağa pirina yağı, şeker pancarından arta kalan küspeden etil alkol üretilmesi ile oluşan etil alkol karışımına fuzel yağı denir. Fakat biyodizel üretilmesi için bu iki maddenin ayrımsal damıtma yöntemiyle fuzel yağındaki suyun uzaklaştırılarak saflaştırılması gerekir. Motor hem tam yük değişik motor devirlerinde (1600, 2000, 2400 ve 2400 d/d) hem de sabit devir değişik motor yüklerinde (4,05, 7,9 ve 10,3 Nm) %100 dizel, B5, B10, B25, B50 ve B100 yakıtları kullanılarak test edilmiş ve bu verilere bağlı olarak da performans ve emisyon karakteristikleri incelenmiştir. Dizel yakıtına biyodizel eklendikçe motor gücü ve momentinde azalma, HC, CO ve is emisyonlarında ise bir miktar artış gözlemlenmiştir.

Aydın [29] tarafından insan sağlığı ve çevre için zararlı olan pamuk yağı kökenli atık kızartma yağlarından transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretilerek B5, B20, B50 ve B100 karışımları elde edilmiştir. Daha sonra bu numuneler 3LD 510 Lombardini marka dizel motorunda tam yükte ve 1200, 1500, 1800, 2100 ve 2400 d/d devirlerinde test edilmiştir. Ardından pistonun yanma odasına bakan yüzeyi ile silindir kapağı yanma odası yüzeyi ile supap yüzeylerini plazma sprey yöntemiyle 0,01 mm NiCrAl ile astar tabaka ve bu tabakanın üzerine 0,04 mm olmak üzere %88 ZrO₂, %4 MgO ve %8 Al₂O₃ ile kaplanmış ve testler aynı yakıtlarla tekrarlanmıştır. Kaplama işlemi yapılmadan önce ve kaplama yapıldıktan sonraki motorda yapılan test sonuçlarına göre moment, güç, efektif verim ve egzoz gazı sıcaklıklarında kısmi artışlar, özgül yakıt tüketimi ve motor gürültüsünde ise kısmi azalmalar gözlemlenmiştir.

Coşgun [30] tarafından yapılan çalışmada biyoyakıtlardan salınan NO_x emisyonunu kontrol altına almak amacıyla farklı yakıtlarla çalışan tek silindirli, doğal emişli bir dizel motorunda emme manifolduna farklı oranlarda su buharı püskürtülmüştür. Tam yük şartlarında gerçekleştirilen bu çalışmada üç tipte metil ester ve %10, %20 ve %30 yakıt oranında su buharı püskürtülmek suretiyle motorun performans ve emisyon değerleri ölçülmüştür.

Uludağ [31] tarafından biyodizel-dizel yakıtı kullanılan dört zamanlı, tek silindirli, direkt püskürtmeli ve standart püskürtme açısı 20° krank açısı olan bir dizel motorda püskürtme avansının motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Motor testlerinde B5, B50 ve B100 yakıt karışımları kullanılmıştır. Her yakıt sabit motor devrinde (2200 d/d) ve farklı püskürtme avanslarında ve farklı motor yüklerinde (5, 10, 15,

20 Nm) test edilmiştir. Test sonuçlarına göre karışım içindeki biyodizel oranı arttıkça özgül yakıt tüketimi, özgül enerji tüketimi, sıcaklık, NO_x ve CO₂ emisyonlarında artış, CO, HC ve is emisyonları ile efektif verimde düşüş tespit edilmiştir.

Şahin [32] tarafından kanola yağından transesterifikasyon yöntemi ile kanola yağı metil esteri elde edilerek %5, %10 oranlarında biyoetanol ilavesiyle ve dizel yakıtıyla ters oranlarda karıştırılması suretiyle E10B10D80, E5B5D90, E10B5D85, E5B10D85 ve B100formunda yakıtlar elde edilmiştir. Elde edilen bu yakıt karışımları tek silindirli dört zamanlı ve su soğutmalı bir dizel motorunda test edilmiştir. Deney sonuçlarına göre en yüksek tork 1300 d/d'da E5B10D85 yakıtından 53,111 Nm olarak elde edilmiştir. Yine en yüksek efektif güç değeri 2000 d/d'da 9,155 kW ile dizel yakıtından ve özgül yakıt tüketimi ise 1600 d/d'da 377,620 g/kWh olarak dizel yakıtından elde edilmiştir.

Alakel [33] tarafından soya yağı metil esterinden elde edilmiş biyodizel %5, %10, %15 ve %20 oranlarında etanol ile harmanlanarak bir dizel motorunda test edilmiştir. Yakıt karışımları %5, %10 ve %15 etanol içeren karışımların tork değişimleri motorine çok yakın çıkmış, fakat karışımdaki etanol oranı arttıkça tork değerinin düşmeye başladığı vurgulanmıştır. Buna karşılık motor efektif verimlerinin dizel yakıtına göre ihmal edilebilecek derecede düşük olduğu belirtilmiştir.

Literatür incelendiğinde dört silindirli bir dizel motorunda kanola yağından üretilen biyodizelin, %5,%10 ve %15 oranlarında etil alkol ile karıştırılarak yakıt numunelerinin motor performans ve emisyonları üzerine etkilerinin araştırılması ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan çalışma ile literatürdeki bu eksikliğin giderilmesi amaçlanmıştır.

1.6. Tez Çalışmasının Amacı

Bu tez çalışmasının ilk kısmında dizel motorlarda kullanılan dizel yakıtı, biyodizel yakıtlar ve dizel yakıtı ve biyodizelle harman yapılabilen etil ve metil alkollerin daha önce yapılmış çalışmaları ve teorileri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Akabinde dizel motorlarında yanma periyotları, egzoz emisyonları ve motor performans parametreleri ve dinamometreler ile ilgili teorik bilgiler sunularak tez çalışmasının literatür kısmı hakkında bilgi verilmeye çalışılmıştır.

İkinci kısımda ise öncelikle piyasadan temin edilen kanola yağından sanayide yapılan bir biyodizel reaktörüyle kanola yağı metil esteri üretmek ve üretilen biyodizel yakıtını

%5-%10-%15 oranlarında saf etil alkol ile harmanladıktan sonra yakıt özelliklerini tespit etmek amaçlanmıştır.

Son aşamada ise dört silindirli bir dizel motorunda dizel yakıtı ve biyodizel-etanol karışımlarından oluşan yakıt numunelerinin motor performans ve egzozemisyona üzerine etkilerini deneysel olarak incelenmek amaçlanmıştır. Bulgular ve tartışma kısmında elde edilen veriler grafiksel olarak da sunulmuştur.

Literatür incelendiğinde dört silindirli bir dizel motorunda kanola yağından üretilen biyodizele %5, %10 ve %15 oranlarında etil alkol karıştırılması suretiyle elde edilen yakıt numunelerinin motor performans ve emisyonları üzerine etkilerinin araştırılması ile ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan çalışma ile literatürdeki bu eksikliğin giderilmesi amaçlanmıştır.

2. DİZEL YAKITLAR, BİYODİZEL ve ALKOLLER

2.1. Dizel Yakıtlar

Fraksiyon kulesinde rafineri işlemi esnasında 160 °C ile 391°C arasında ham petrolün tamamen buharlaşmasıyla ortaya çıkan ve dizel motorlarda kullanılan yakıt dizel yakıtı ya da motorin adı verilir. 8 ile 16 arasında karbon atomu içerir ve sıvı halde bulunan HC bileşikleri ihtiva eder. İçinde çok az miktarda kükürt, azot ve su bulundurabilen bu yakıt türüne Türkiye’de halk dilinde mazot da denilir. Bu yakıtın kimyasal formülü $C_{12,226} H_{23,29} S_{0,575}$ ‘dir. Formülünden de anlaşılacağı gibi içinde çok az miktarda kükürt bulunur. Bu formüle göre 1 kg dizel yakıtında 0,8538 kg karbon, 0,1355 kg hidrojen ve 0,01071 kg kükürt bulunur. Tablo 2.1’de DIN-51601 standartlarında belirtilen dizel yakıtının bazı özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.1. DIN- 51601’e göre dizel yakıt özellikleri [34].

Yakıt özellikleri	Değerler	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	Yaz- 0°C Kış -12°C	DIN 51770
Kükürt’ün 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

2.1.1. Dizel Yakıtında Bulunması Gereken Özellikler

Dizel motorlar kullandıkları alan bakımından düşük, orta ve yüksek devirli dizel motorlar olarak katagorize edilirler. Yüksek devirli dizel motorları genelde otomobillerde, orta devirli yük taşıyan araçlarda, düşük devirli motorlar ise gemi, iş makineleri gibi yüksek tork düşük devir gerektiren araçlarda kullanılırlar. Dolayısıyla bu motorları çalıştıran yakıtların da bir takım özelliklere sahip olması gerekir. Bunların bazıları aşağıda başlıklar halinde açıklanmaya çalışılmıştır.

- **Yakıt Püskürtme ve Viskozite Özelliği**

Yakıtın uygun viskozitede olması sadece pompa ve enjektörler açısından değil aynı zamanda yanmanın mükemmel olması için de son derece önemlidir. Mükemmel bir yanma elde etmek için en önemli faktör atomizasyon ve yakıtın silindir içinde uygun bir şekilde dağılmasıdır. Bunu sağlayan yakıt viskozitesidir. Çünkü viskozite yükseldikçe yakıt zerrecikleri daha da büyümekte ve bu da yanma açısından istenmeyen bir durum ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca çok viskoz olan yakıtlar püskürtüldüğünde silindir duvarlarına çarpmadıkları takdirde zerreciklere ayrılamazlar. Bu da yanmanın dumanlı olmasına sebep olur. Öte yandan yakıt viskozitesinin çok düşük olması durumunda da yakıt mükemmel bir yakıt-hava karışımı oluşturacak şekilde silindir içinde nüfuz etmez.

Büyük makinelerde viskozitesi yüksek yakıtlar nispeten daha iyi sonuçlar vermektedir. Ön yanma odalı dizel motorlarda enjektörün püskürttüğü yakıt huzme boyunun kısa olması nedeniyle viskozitesi düşük yakıtlar kullanılmalıdır. Hava ile püskürtme yapılan sistemlerde daha ağır yakıtlar kullanılabilir. Çünkü bu tip motorlarda hava, püskürtülen yakıtı daha fazla basınçla püskürtür ve daha iyi atomize olmasını sağlar. Çok delikli nozullarda ise tek delikli nozullara nispeten daha ağır yakıtlar kullanılabilir. Deliklerin küçük olması yakıtın daha iyi atomize olmasına yardımcı olmaktadır.

Yakıtın tazyikini arttırmak yakıtın karışma kabiliyetini arttıracığı için yüksek basınçlı püskürtme sistemleri bulunan motorlarda düşük viskoziteli yakıtları kullanmak fayda sağlayabilir. Mükemmel bir dağılma için yakıtların önceden ısıtılması gerekir. Yakıtın püskürtülmeden önce viskozitenin 100 cSt' den daha az olmasını sağlayan sıcaklık 121 °C'nin üzerinde olursa mükemmel bir dağılma sağlanabilir.

- **Dizel Vuruntusu**

Sıkıştırma ile birlikte silindir içinde sıkışan hava yüksek basınç ve sıcaklığa ulaşır ve bu sıkışan havanın üzerine yakıt püskürtülür. Püskürtülen yakıtın hemen tutuşmaması istenir. Yakıtın püskürtülmeye başladığı andan itibaren tutuşmaya kadar geçen sürede yakıtın tutuşma süresi uzarsa bu sürede içeride bulunan yakıtın tamamı birden yanar ve bu durumda ani basınç artışları meydana gelir. Bu duruma dizel vuruntusu denir ve motorun gürültülü çalışmasına ve piston-biyel-krank mekanizmasına aşırı yük binmesine neden olur. Bunu mümkün mertebe ortadan kaldırmak gerekir. Bu sürenin uzun olması vuruntu olayının çok şiddetli olmasına neden olacağı için bu süreyi mümkün olduğu kadar kısa tutmak vuruntuyu ortadan kaldıracaktır. Ancak bu sürenin gereğinden fazla kısaltılmasının da bazı sakıncaları vardır. Yani yakıt enjektörden püskürtüldüğü an aniden tutuşursa bu kez de enjektörler aşırı ısınır ve sonuçta yakıtın kraking yapmasına ve enjektörlerin karbonlaşmasına, ayrıca kötü ve dumanlı yanmaya neden olur.

İyi bir yanma elde edebilmek için enjekte edilen yakıt miktarının basınç artışıyla orantılı olması gerekir. Yakıtın düşük viskoziteli, ince ve akıcı olması yakıtın enjektörden kolayca püskürtülmesini ve akabinde kolay dağılmasını sağlar. Böylece istenilen şekilde tutuşma gecikmesi sağlanmış olur.

- **Setan Sayısı**

Bu özellik, dizel motorunda yakıtın kendiliğinden tutuşma yeteneğini gösteren ölçüye verilen isimdir. Yani tutuşma gecikmesinin belli bir düzeyde olmasını gerektiren bir ölçüdür. Benzin motorlarındaki oktan sayısının tam tersidir. Setan sayısı ile oktan sayısı arasındaki fark şöyle anlatılabilir: benzin motorlarında yakıt hava karışımı ateşleme olduktan sonra yanmaya başlar. Alev merkezinden dışarıda kalan cephelerde kendiliğinden tutuşmalar olursa bu durumda içerdeki alev cephesiyle çarpışarak büyük gürültüler meydana gelir. Buna benzin motorları vuruntusu denir ve istenmeyen bir durumdur. Bunun önüne geçmek için benzin motorlarında kullanılan yakıtlar aromatiklerden seçilir. Aromatiklerin vuruntuya karşı dirençleri son derece yüksektir ve bu da oktan sayısı ile ifade edilir. Yine setan sayısı ile oktan sayısı ters çalışan iki özelliktir. Bir yakıtın setan sayısı yüksek ise oktan sayısı düşüktür. Tersine oktan sayısının yüksek olması ise setan sayısının düşük olduğu anlamına gelir. Setan sayısı iki farklı sıvı yakıtın birbiriyle çeşitli miktarlarda karıştırılması suretiyle standart test motorunda yakılmasıyla belirlenir. Numune yakıtı eşit derecede vuruntu yapan sayı setan yüzdesi olarak tespit edilir. Setan

sayısı kendiliğinden tutuşma hassasiyeti yaklaşık 100 olarak varsayılan bir sıvı, Alfa-Metil Naftalin ise kendi kendine tutuşma hassasiyeti 0 olarak kabul edilen bir sıvıdır. Örnek verilirse %45 setan ile %55 alfa-metil naftalinin karıştırılmasıyla elde edilen karışımın standart test motorundaki vuruntusu numune yakıtın vuruntusuna eşit olursa numunenin setan sayısı 45 olarak hesaplanmış olur. Yakıtın yoğunluğu ve aromatik içeriği setan sayısını belirler. Setan sayısı genellikle yakıtın aromatik içeriğinin ve yoğunluğunun düşmesiyle artar. Setan indisi ise yakıtın uçuculuk ve yoğunluğu ile ilgili bir terimdir. ASTM D976 testleri ile aşağıdaki formül setan indisini belirlemede kullanılır.

$$SI = 454,74 - (1641,416 \cdot \rho_Y) + (774,74 \cdot \rho_Y^2) - (0,554 \cdot T50) + 97,803 \cdot (\log T50)^2 \quad (2.1)$$

SI: Setan indisi

ρ_Y : Yakıt yoğunluğu (g/l, 15 °C)

T50: Distilasyonu yapılan yakıt numunesinin %50'sinin buharlaştığı sıcaklık (°C)

Setan sayısı ile setan indisi rafineri işlemlerine ve yakıt içeriklerine göre değişmektedir. Yakıtın içine kendi kendine tutuşmasını arttırıcı katkı maddeleri katılabilir ancak bu katkı maddeleri sadece setan sayısını arttırıcı etki gösterirler, setan indisi üzerinde bir etkileri olmaz. Yakıtın parafin içeriğinin arttırılması yakıtın setan sayısını arttırır [35]. Ancak yüksek parafinli yakıtların akma ve bulutlanma noktaları yüksek olur ve jelleşme gibi problemler ortaya çıkarabilir. Bu durumun önüne geçmek için yakıtın içine oksijence zengin katkı maddeleri katılabilir.

Setan sayısı büyük olan yakıtların tutuşma gecikmesi periyodu kısadır ve daha temiz ve gürültüsüz yanma sağlayarak emisyonları azaltırlar. Ayrıca soğuk havalarda motoru ilk harekete daha kolay geçirebilirler [36]. Setan sayısının yerine setan sayısı ile ilgili bilgi verebilecek olan 'Dizel İndeks' formülü de kullanılabilir. Çünkü setan sayısını belirlemek zahmetli bir iştir ve oldukça maliyetlidir.

- **Dizel İndeks**

Dizel yakıtının setan sayısını tayin etmek zor bir işlem olduğu için setan değeri yerine de kullanılabilen dizel indeks sayısı kullanılır. Dizel indeks sayısı aşağıdaki formül

yardımla hesaplanır. Bu hesabın yapılabilmesi için anilin noktası ile yakıtın API gravitesinin bilinmesi gereklidir.

$$DI = \frac{ANILINNOKTASI \times APIGRAVITE}{100} \quad (2.2)$$

DI: Dizel indeks

API: API gravite değeri

Bir başka dizel indeks belirleme yöntemi nomograf tablolarını kullanmaktır. Bu nomograflar API gravite ve yakıtın %50'sinin distile olduğu ortalama kaynama noktasına göre hazırlanmıştır. Normal dizel yakıtının setan sayısı 45'dir. Yakıtın dizel indeksi büyüdükçe kendi kendine tutuşma kabiliyeti de artar. Dizel indeksi ile setan sayısı arasında yakın bir ilişki vardır. Tablo 2.2'de dizel indekslere karşılık gelen setan sayıları verilmiştir.

Tablo 2.2. Dizel indekslerine karşılık gelen setan sayıları [37].

Dizel İndeks	Setan Sayısı	Dizel İndeks	Setan Sayısı
0	18	50	50
5	20	55	53
10	24	60	56
15	28	65	59
20	30	70	62
25	34	80	65
30	37	85	68
35	40	90	71
40	43	95	75
45	46	100	78

45 ile 50 arasındaki setan indeksi ile setan sayısı aşağı yukarı aynı eşdeğerliliklere sahiptir. 50'den küçük sayılarda dizel indeks setan sayısından küçük iken, 50'den büyük sayılarda ise dizel indeks setan sayısından büyüktür. Normal dizel yakıtının dizel indeksi minimum

45 olmalıdır. Hidrokarbon sayısı setan sayısı ile yakından ilişkilidir. Parafinik hidrokarbonlar setan sayısını artırırken, olefinik hidrokarbonlar ise setan sayısını ortalama değerlerde tutar. Fakat olefinlerin setan sayısı üzerindeki etkisi kesin olarak belirlenememiştir.

- **API Gravite**

Yeryüzünde çıkarılan ham petroler saf halde çıkmamaktadır. İçerisinde su, kükürt, çamur ve başka türden maddelerde bulunmaktadır. API gravite ham petrolün saflığını yani içinde bulunan yabancı madde miktarıyla beraber petrolün kalitesini gösteren bir ölçüdür. Petrolün kalite standardı tüm dünyada ortak standart olarak kabul edilen American Petroleum Institute (API) tarafından belirlenir. Yoğunluğu 1g/cc olan suyun API değeri 10 kabul edilip;

$$API = \frac{141,5}{SG} - 131,5 \quad (2.3)$$

Burada SG (spesifik gravite) ‘petrol yoğunluğu/su yoğunluğu’ anlamına gelir. Hafif petrolün API gravitesi daha büyükken, petrolün yoğunluğu yükseldikçe API gravite değeri düşecektir. API gravite değeri arttıkça petrolün piyasa değeri artar. Dünyada yaygın olarak 27-35 API değerinde petrolere rastlanır. IPE brent petrol 38 API değerindedir. Dünyada bulunan en ağır petrol 5-7 API ve en hafif petrol ise 57 API olarak kayıtlarda yer almaktadır.

Petrolün kalitesi API gravite değerinden anlaşılır. Gravite değeri ne kadar yüksek olursa o petrol o kadar değerlidir. Burada önemli olan petrolün özağırlığı, yani yoğunluğudur. Tablo 2.3’de Türkiye’de çıkarılan petrolerin çıkarıldıkları yerlere göre API gravite değerleri görülmektedir.

Tablo 2.3. Ülkemizde çıkarılan petrolün yerlerine göre API gravitesi [38].

Saha adı	API gravite
Kâhta	12
Batı Raman	14
Mağrip	19
Raman	21
Silvanka	24
Garzan	26
Batı Karaköy,Beykan,Kürhan	34
Çelikli	34
Şelmo	35
Kayaköy	38
Bulgurdağ	39

- **Anilin Noktası**

Anilin noktası eşit hacimdeki anilin ve yağ karışımının tek faz haline geçtiği, yani birbiri içinde tamamen çözüldüğü en düşük sıcaklıktır. Anilin noktası testi yağdaki parafinik hidrokarbonların miktarı hakkında bilgi verir ve sıcaklık yükseldikçe parafinik bileşiklerin arttığını gösterir. Anilin noktası dizel indeksini hesaplamada kullanılan bir testtir. Şekil 2.1’de anilin noktası test cihazı görülmektedir.



Şekil 2.1. Anilin noktası test cihazı

Anilin ile dizel yakıtı karıştırılarak ısıtılır ve anilin maddesi ısının etkisiyle hemen erir, fakat eriyik soğutulduğunda parafinik bileşikler yavaş yavaş ayrışmaya başlar. İşte bu ayrışmanın meydana geldiği sıcaklık noktasına anilin noktası denir. Bu deneyi yaparken kurutulmuş ya da taze distile edilmiş anilin maddesi kullanılır. Anilin noktası testi dizel yakıtında bulunan parafinik hidrokarbon miktarını gösterir ve bu noktanın yüksek olması yakıt içinde yüksek miktarda parafinik bileşik olduğunu gösterir. Anilin noktasının yüksek olması aynı zamanda dizel indeksin yüksek çıkacağı anlamına gelir. Parafinik hidrokarbonlar kolay tutuştuğu için dizel yakıtında tercih edilirler.

- **Kükürt İçeriği**

Ham petrol çıkarıldığında yapısında doğal olarak az da olsa kükürt bulunmaktadır. Rafineri işlemlerinde bu kükürt asgari düzeye çekilmeye çalışılır. Dizel yakıtlarında bulunan kükürt is emisyonlarının oluşmasını kolaylaştırır ve araçların emisyon kontrol sistemlerinin zarar görmesine neden olur. Bu nedenle kükürt aynı zamanda CO, NO_x ve HC emisyonlarını da etkilemektedir. Bir yakıtın kükürt içerdiğinden bahsedebilmek için kükürt içeriğinin 500 ppm düzeyinde olması gerekir. Eğer 50 ppm'den az kükürt içeriyorsa düşük kükürtlü yakıt olarak isimlendirilir. Kükürtsüz olması içinse 10 ppm'den az kükürt içermesi gerekir.

Dizel yakıtı içinde bulunan kükürt yakıtta yağlayıcılık özelliği kazandırır. Yakıtın içindeki kükürt miktarı gereğinden fazla azaltılırsa yakıtın yağlayıcılık özelliği azalır ve bu durumda motorda çeşitli problemlere neden olur [39]. Yakıtın kükürt muhtevasının yakıtın bulutlanma ve akma noktaları üzerinde bir etkisi yoktur. Bununla birlikte yakıtın içindeki kükürt miktarının fazla olması kükürdün SO_x oluşturmasından dolayı motor parçaları üzerinde korozif bir etkiye neden olmasına ve ayrıca dışarı atılan egzoz gazlarıyla birlikte asit oluşumuna ve asitlerin de doğaya ve canlılara zarar vermesine neden olur [40].

Düşük kükürtlü yakıt elde etmek için rafineride petrol yüksek sıcaklık ve yüksek basınca maruz bırakılarak hidrosülfürasyon denilen bir işlemde geçirilir. Bu yöntemde petrol çok yüksek basınçlarda hidrojenli ortamda ısıtılarak petrolün içindeki kükürdün hidrojenle birleşmesi sağlanır. Bu işlemle birlikte kükürt H₂S oluşumuyla yakıttan uzaklaştırılmış olur [39]. Ancak hidrosülfürasyon işlemi yakıtın yapısında bulunan olefinik bileşenleri azaltarak parafinik bileşenleri artırır. Bu da setan sayısının biraz artmasına neden olur. Dizel yakıtındaki kükürt miktarı is emisyonlarının oluşumu

üzerinde son derece etkilidir. Yakıttaki kükürtün bir kısmı oksitlenip sülfata dönüşür ve bu da is emisyonlarının oluşumunda bir etkiye sahiptir. Yakıttaki kükürt miktarının azaltılması aynı zamanda sülfürik asit oluşumunu da azaltarak motor yağının ömrünü uzamasına yardımcı olur.

Yakıtın kükürt içeriğinin is emisyonları üzerinde direkt bir etkiye sahip olduğu belirtilirken CO, HC ve NO_x emisyonlarını etkilemediği vurgulanmıştır [41]. Ancak bunun aksini vurgulayan başka çalışmalar da mevcuttur. Yani kükürt miktarının azalmasının CO, HC ve NO_x emisyonlarını azalttığını belirten çalışmalar da vardır [39]. Başka bir çalışmada ise düşük kükürt içerikli dizel yakıtının CO ve NO_x emisyonlarını azaltırken, HC emisyonunu ise bir miktar arttırdığı gözlemlenmiştir [42].

- **Distilasyon ve Aromatik İçerik Özellikleri**

Distilasyon özelliği yakıtın kaynama sıcaklıklarının hangi aralıklarda değiştiğini göstermektedir. Başka bir deyişle uçuculuk göstergesidir. Örneğin T90 değeri distilasyonu yapılan yakıtın hacimsel olarak %90'ının buharlaştığı sıcaklığı göstermektedir. Dizel yakıtlarda en önemli distilasyon özelliği, en uçta bulunan distilasyon sıcaklık aralığıdır (T85, T90, T95 gibi). Distilasyon sıcaklığının en üst sınırı, ağır hidrokarbonların ve aromatiklerin bulunduğunu gösteren bir değerdir. Distilasyon özellikleri yakıt bileşenleri, yoğunluk, viskozite ve setan sayısı gibi parametreleri de belirler. Bu nedenle yakıt kalitesi açısından bu damıtma karakteristikleri son derece önemlidir.

Yakıtta bulunan ağır hidrokarbonlar, yakıtın buharlaşmasının ve tutuşmasının zor gerçekleşeceğini göstermektedir. Aynı zamanda ağır hidrokarbonlar, is emisyonlarının oluşumunda da etkilidir. Ağır hidrokarbonları yakıt içinde azaltmanın ve yakıtın silindir içinde temiz bir şekilde yanmasını sağlamanın yolu, en yüksek distilasyon sıcaklığını aşağı çekmektir. Bu şekilde yoğunluk ve viskozite de düşürülmüş olacaktır. Bunun yanında T10 sıcaklığı motorun ilk harekete geçmesi üzerinde etkilidir.

Yakıtın distilasyon sıcaklığının en üst sınırı motor performans ve emisyonları açısından önemlidir. Başlangıç ve bitiş noktalarının yüksek olması NO, CO, HC ve is emisyonlarını artırırken, yakıt tüketiminde de artışa neden olduğu ifade edilmiştir [41]. Yapılan başka bir çalışmada, en yüksek distilasyon bitiş sıcaklığında ortaya çıkan ağır hidrokarbonların yakıldığında ortaya çıkardığı ısının yüksek olması, motor çıkış gücünde artışa neden olduğu ifade edilmiştir [39].

Çoklu benzen halkası bulunduran hidrokarbonlara Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH) denilmektedir. Tek halkalı aromatikler benzin ile çok halkalı aromatikler ise dizel yakıtıyla ilişkilidir. Rafineri işlemi esnasında, en üst distilasyon sıcaklığı düşürülerek PAH'lar azaltılır. PAH'ların azalması ile HC ve NO_x emisyonları azalır fakat CO üzerinde bir etkisi olmaz. PAH'lar, ayrıca is emisyonları üzerinde de etkilidir. Aromatik oranı, yakıttaki hidrojen ve karbon sayılarını gösterir. Aromatik oranı artarsa, yakıttaki hidrojen ve karbon sayısı da artacaktır.

- **Yakıt Yoğunluğu**

Yoğunluk maddenin birim hacmine düşen kütle miktarı demektir. Sıcaklığa bağlı olarak ölçülür ve genellikle 15 °C 'de ölçümler alınır. Yakıtın yoğunluğu ihtiva ettiği enerji miktarının da bir göstergesidir. Eğer yakıtın yoğunluğu büyükse enerji içeriği de büyük olur. Yakıtın yoğunluğu aynı zamanda özgül ağırlık ile de ilişkilidir ve aynı hacimdeki suyun ağırlığına oranı olarak da ifade edilebilir. API gravite ile özgül ağırlık ters orantılıdır. Dizel yakıtı çeşitli ağırlıklarda hidrokarbon moleküllerinden oluşan ve yakıt yoğunluğunun yakıt bileşenlerin bir fonksiyonu olduğu bir yakıt türüdür. Bu nedenle yoğunluk setan sayısı, aromatik bileşenler, viskozite ve distilasyon özellikleri ile yakından ilişkilidir. Örneğin üst distilasyon sıcaklık noktasının azalması ile yakıt içindeki ağır hidrokarbonların oranı azalır ve böylece yakıtın yoğunluğu düşer. Yakıt yoğunluğunun genellikle püskürtme zamanı, özgül yakıt tüketimi, yakıt/hava oranı ve is emisyonları üzerinde etkili olduğu yapılan çalışmalardan da anlaşılmaktadır. Yoğunluk bu parametrelerden en fazlais emisyonları üzerinde etkilidir [43].

Dizel motorlarda silindir içine püskürtülen yakıt miktarı genellikle hacimsel olarak ölçüm yapan pompalar tarafından ayarlanmaktadır. Eğer yakıt yoğunluğundaki değişim yanma odasına gönderilen yakıt miktarında değişime neden olursa yakıtın içerdiği enerji miktarında da değişim olur. Çünkü silindir içine gönderilen yakıtın enerji içeriği yakıt kütlesiyle doğru orantılıdır. Bu nedenle yakıtyoğunluğu yüksek olursa içerdiği enerji miktarı da fazla olacağı için silindir içindeki indike basınç da artar. Ayrıca yakıt yoğunluğunun yüksek olması püskürtülen yakıtın huzme uzunluğuna karşı bir direnç oluşturur ve bu nedenle yakıt tanecikleri silindir içinde yavaş ilerler ve bu da huzme uzunluğunun kısalmasına yol açar [44]. Bu durum püskürtülen yakıtın silindir içinde havayla homojen karışmasını ve buharlaşmasını zorlaştırır [45].

Dizel yakıt yoğunluğunun artması silindir içine enjekte edilen yakıt kütlesini de arttıracığı için silindir içinde yakıt hava karışımı zenginleşir ve bu da yanmanın isli olmasına neden olur. Ayrıca yakıt yoğunluğu is, CO ve CO₂ gibi bazı emisyonların da etkilenmesine neden olur. Motor çıkış gücü de yoğunluğun artmasıyla birlikte artar. Ancak sabit bir motor çıkış gücü için yakıt yoğunluğunun azalması daha fazla yakıtı ihtiyaç olacağı ve bunun da yakıt sarfiyatını arttıracığı anlamına gelir. Aynı zamanda düşük yoğunluklu yakıtlar motor gücünün düşmesine neden olur. Dizel motorlarda tam yük koşullarında is emisyonları daha fazladır. İs oluşumu zengin hava-yakıt karışımı ya da yakıt ile havanın homojen karışmamasından, yani eksik yanmadan kaynaklanır. Dizel motorlarda is sınırının pompa üzerinden ayarlanması motor çıkış gücünü de etkiler [46].

- **Isıl Değer**

Birim kütleye düşen enerji miktarına yakıtın alt ısıl değeri denmektedir ve birimi kJ/kg ya da kcal/kg'dır. İçten yanmalı motorlarda genel olarak sıvı yakıtlar kullanıldığı için yanma sonunda meydana gelen su buharından dolayı ısıl değer alt ısıl değer olarak verilmektedir. Hidrokarbonlarda yakıtın alt ısıl değeri;

$$H_u=9822,2+36,6 \text{ API (kcal/kg)'} \text{ dir.} \quad (2.4)$$

Benzin ve dizel yakıtlar için; $H_u= 42000-44000$ kJ/kg ya da $H_u=10200-10500$ kcal/kg değerleri arasında değişmektedir.

Dizel motorlarda kullanılan pek çok yakıt türünün içerdiği enerji miktarları birbirinden farklıdır. Bunun yanı sıra farklı firmaların ürettiği yakıtların rafinasyon işlemlerinin ve içine katılan katkı maddelerinin farklı olmasından dolayı bu, yakıtların birbirinden farklı ısıl değerlere sahip olmalarına neden olur. Örneğin kükürtlü bir yakıtın enerji içeriği kükürtsüz bir yakıttan daha azdır. Bunun nedeni yakıtın bünyesinde bulunan kükürdün oksijenle reaksiyona girdiğinde daha fazla enerjiyi absorbe etmesidir. İçinde fazla enerji barındıran yakıtlar daha ekonomiktir [47].

- **Akma Noktası ya da Soğuk Akış Özellikleri**

Dizel yakıtlarda yüksek oranlarda parafin bulunur. Eğer yakıt soğutulursa bu parafinler wax kristallerine dönüşmeye başlar. Yakıt içerisinde ilk wax kristallerinin görüldüğü

sıcaklık noktasına bulutlanma noktası denir. Yakıt daha fazla soğutulursa yakıtın son akmaya devam ettiği sıcaklık noktasına da akma noktası denir. Yakıtın son akma sıcaklığında yakıt jelleşmeye başlar ve bu da pompanın yakıt çekmesini zorlaştırır. Bu durum filtrelerin tıkanmasına yol açar. Düşük kükürtlü yakıtların bulutlanma ve akma noktaları daha yüksektir [48].

- **Alevlenme Noktası**

Sıvı bir yakıtın yanabilmesi için buharlaşan yakıtın hava ile belirli oranlarda karışması gerekir. Bir yakıt ne kadar kolay buharlaşırsa hava ile o oranda iyi karışır. Bir yakıtın alevlenme noktası o yakıtın havayla buharlaştığı en düşük sıcaklık noktasıdır. Alevlenme noktasının yanma olayında bir önemi yoktur. Ancak araçlarda güvenli depolama açısından önemli olduğunu göz ardı etmemek gerekir. Alevlenme noktası yakıtın ne tür petrolden yapıldığını ve kaynama noktası düşük olan bir yakıtla karıştırıldığında ne derecede seyreltiğini görmek açısından önemlidir [38].

- **Yağlayıcılık Özelliği ve Oksidasyon Kararlılığı**

İçten yanmalı motorlarda özellikle dizel motorlarda aşınma olmaması ve sürtünmelerin en az seviyelere indirilmesi için yağlama büyük öneme sahiptir. Kullanılan yakıtın yağlayıcılık özelliğinin bulunması da artı bir özelliktir. Dizel yakıtlarının yağlayıcılık özelliğini arttıran içindeki kükürt oranıdır. Kükürt oranının azalması yakıtın yağlayıcılık özelliğini de azaltır. Bununla birlikte yakıtların yağlayıcılık özelliğini arttırmak için içine katkı maddeleri de katılabilir.

Oksijen kararlılığı ise havayla temas eden yakıtın oksitlenmemesi için ya da bozulmaması için göstermesi gereken dirençtir. Okside olmuş yakıtlarda sakızlaşma ve tortu meydana gelir. Bu da yakıt filtresi ile yakıt bağlantı borularının tıkanmasına ve ayrıca yakıt renginin koyulaşmasına neden olur [45,48].

- **Korozyon ve Çinkoya Karşı Aktivite**

Yakıtın motor parçalarında korozyona neden olmaması için içerdiği kükürt miktarının düşük olması istenir. Ayrıca yakıtın içinde bulunabilecek tuzlu su da motor parçalarında korozyona neden olmaktadır. Dizel yakıtlar çinko depolara konulduğunda tepkimeye girme eğilimindedirler. Bu nedenle çinko depoların iyice yalıtılması gerekir.

- **Bakiye Karbon ve İs Miktarı**

Bakiye karbon yakıt deposu içinde bulunan yakıtın buharlaşması ile birlikte hava ile yer değiştirmesi sonucu yakıt içinde kalan kok miktarıdır. Bu, yüksek devirle çalışan hassas dizel motorları için büyük sorun teşkil eder. Yanmanın temiz olması için bu miktarın %0,25'den daha az olması gerekir. Dizel yakıtları benzine nazaran yanma esnasında daha fazla kül ve is bırakırlar. Bunun önüne geçmek için setan sayısının 40-70 arasında tutulması gerekir. Yani bu değerlerin altındaki ve üstündeki değerler yanmanın kötüleşmesine neden olarak kül ve is emisyonlarını artırırlar. Motorinin içinde hidrokarbonların temiz yandığı düşünülürse yakıt içinde bulunan fakat istenmeyen madeni tuzlar ve kükürt kül ve is bırakmada etkilidir.

2.1.2. Dizel Yakıt Sınıfları

Dizel yakıtlar kullanıldıkları alana ve fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre; No: 1-D, No: 2-D ve No:4-D olarak sınıflara ayrılır. Bu yakıt türlerinin bazı özellikleri Tablo 2.4'de verilmiştir. Yukarıda bahsedilen yakıtların kullanıldığı yerler ve özelliklerinden kısaca bahsedilecek olunursa;

No:1-D: Petrolün damıtılması yoluyla elde edilen ve değişik türlerdeki dizel motorları ile değişik yüklerde çalışan dizel motorlarında kullanılan ve oldukça uçucu olan bir yakıt türüdür.

No:2-D: Damıtık ve kraking ürünleri içeren No: 1-D' ye nazaran az buharlaşabilen ağır vasıta ve endüstri motorları yakıtıdır.

No:4-D: Damıtma ve bazı kraking ürünlerinden elde edilen ve bazı artık maddelerden oluşan, düşük ya da orta hızlı dizel motorlarda kullanılan bir yakıt türüdür.

Tablo 2.4. Dizel yakıt türlerinin bazı özellikleri [34].

Özellik	1-D	2-D	4-D
Setan Sayısı (minimum)	40	40	40
Parlama Noktası (°F)	100	125	130
Viskozite Saybolt (S), (100°F'de)	30-34	33-45	45-125
%Kül, (Kütlesel)	0,01	0,02	0,1
%Kükürt, (Kütlesel)	0,5	1	2

2.2. Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel

Bitkisel kaynaklı yağların sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda direkt olarak kullanılması enjektörlerin tıkanması, motor yağının kalınlaşması ve motor enjeksiyon sistemi parçaları üzerinde sakızlaşma oluşması gibi bazı problemleri de beraberinde getirmektedir. Bitkisel yağların viskozitelerinin oldukça yüksek olması, yani standart dizel yakıtından 10-20 kat daha fazla olması yakıtın püskürtme karakteristiklerinin ve verimli yanmanın önündeki en büyük engellerden biridir [49].

Bu sorunları ortadan kaldırmak için yapılan çalışmalar arasında motor parçaları veya motor dizaynında değişiklikler yapmak yerine üretilecek olan biyodizel yakıtların özelliklerini iyileştirmek gibi daha spesifik çalışmalar bulunmaktadır. Bunun için kullanılan yöntemler ısıl ve kimyasal yöntemler olmak üzere ikiye ayrılır. Bu işlemlerden kimyasal işlemler daha fazla tercih edilmektedir. Kimyasal işlemlerde kendi arasında; seyreltme (inceltme), mikro emülsiyon oluşturma, piroliz (ayrıştırma) ve transesterifikasyon (yeniden esterleştirme) reaksiyonları olmak üzere dört kısma ayrılır [50].

Seyreltme işlemi biyodizel yakıtı içine belirli oranlarda dizel yakıtı karıştırılarak viskozite azaltma işlemidir. Karışımda yakıt oranları dizel yakıtına yakın olacak şekilde ayarlanmalıdır. Mikro emülsiyon yöntemi metil ya da etil alkol gibi sıvılarla mikro emülsiyon oluşturarak viskoziteyi düşürme işlemidir. Pirolizde ise bitkisel yağ yüksek sıcaklık ve basınca maruz bırakarak alkanlar, aklenler, alkadienler ve karboksil asitler gibi bileşenlerine ayrıştırılmasıyla ortaya çıkan ağır hidrokarbonların dizel yakıtına yakın değerlerde bir yakıt olarak ortaya çıkması sağlanır [49]. Biyodizel içeriğinde 16-18 karbonlu yağ asidi içeren ya da etil ya da metil ester gibi isimlerle de adlandırılan çevreci bir yakıt türüdür ve aşağıdaki özellikleri taşır;

1. Çevreci ve temiz
2. Yenilenebilir
3. Stratejik önemi olan
4. Motor ömrünü uzatan
5. Sağlığa zararı olmayan
6. Kükürt içermeyen, kolay bozunabilen
7. Kara ve deniz taşıtlarında kullanılabilen

8. Isıtma sistemi ve jenaratörlerde kullanılabilen
9. İyi bir yağlayıcı
10. Dizel motorlarında hiçbir tasarım değişikliğine gerek duyulmadan kullanılabilen
11. Kolay depolama ve taşıma özelliği olan bir yakıt türüdür [51]. Tablo 2.5’de biyodizel (B100) standartları verilmiştir.

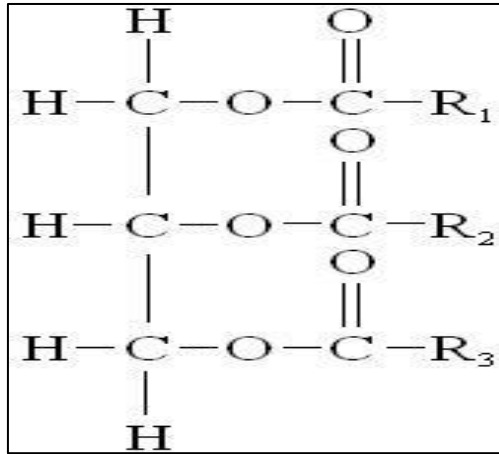
Tablo 2.5. Biyodizel (B100) standartları [52].

Özellik	Test metodu	Limitler	Birimler
Parlama noktası	D93	130 min	°C
Su ve tortu	D2709	0,05 max	% hacimsel
Kinematik viskozite	D445	1,9-6,0	mm ² /s
Kül	D874	0,020	%kütlesele
Sülfür	D5453	0,05	%kütlesele
Bakır şerit korozyon	D130	No:3 max	
Setan sayısı	D613	47 min	
Bulutlanma noktası	D2500	Rapor	°C
Karbon artık	D4530	0,050 max	%kütlesele
Asit numarası	D664	0,80 max	mg KOH/g
Serbest gliserin	D6584	0,020	%kütlesele
Toplam gliserin	D6584	0,240	%kütlesele
Fosfor içeriği	D4951	0,001 max	%kütlesele
Distilasyon sıcaklığı	D1160	360 max	°C

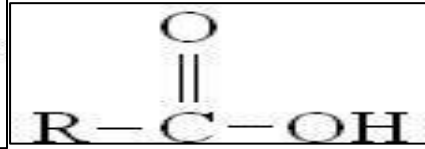
2.2.1. Bitkisel ve Hayvansal Yağların Kimyasal Yapısı

Biyodizel yapımında kullanılan bitkisel ve hayvansal yağların kimyasal yapısı üretilen biyodizelin özelliklerini belirlemektedir. Bu yağların birçoğunun kimyasal yapısı trigliseritlerden oluşmaktadır. Trigliserit üç yağ asidinin bir molekül gliserol ile birleşmiş haline denir. Yani bitkisel ve hayvansal yağları oluşturan yağ asitlerinin gliserol ile bağlanmış şekli yağın özelliğini belirlemektedir. Çift bağlı karbon yağ asidini oluşturuyorsa tekli doymamış yağ asidi iki veya daha fazla çift bağ içeriyorsa çoklu yağ asidi olarak isimlendirilir [53].

Bir trigliseritin kimyasal yapısı Şekil 2.2’de görülmektedir. Şekilde yağ asitlerini R harfi simgelemektedir. Yağ asitleri karbon ve hidrojen atomlarından oluşan ve karboksil içeren bir grup kimyasal bileşiğe verilen isimdir. Yağ asidinin sonunda bulunan COOH ise karboksil asit kimyasal grubudur. COO⁻ bir proton kaybedip bir alkol grubuyla birleşirse karboksil asit (COOH) ester oluşturur. Bunları birbirinden ayırt eden içerdiği karbon sayısı, çift bağ sayısı ve zincir üzerindeki yeridir. Eğer yağ asitleri diğer bileşiklerle bir bağ oluşturamazsa serbest yağ asiti olarak kalırlar [54]. Şekil 2.3’de bir yağ asidinin kimyasal yapısı görülmektedir.



Şekil 2.2. Trigliserit[54].



Şekil 2.3. Yağ asidi[54].

En çok bilinen yağ asitleri palmitik (16:0) ve stearik asit (18:0)’dir. Bütün yağ asitleri bu iki yağ asidinden en az birini içerir. Bilinen tekli doymamış yağ asidine oleik asit (18:1) örnek olarak verilebilir. Ayrıca bütün yağlar bir miktar linoleik asit (18:3) içerebilirler. Tablo 2.6’da yağ asitlerinin kimyasal yapıları verilmiştir. Yağ asitlerini gösteren parantez

içindeki ilk rakam yağ asitinin toplam karbon sayısını, ikinci rakam ise çift bağ karbon sayısını gösterir [56].

Tablo 2.6. Bazı yağ asitlerinin kimyasal yapıları [55].

Yağ asidi	Kimyasal yapı
Mirstik	14:0
Palmitik	16:0
Stearik	18:0
Oleik	18:1
Linoleik	18:2
Linolenik	18:3
Arakhidik	20:0
Behenik	22:0
Erukik	22:1

Yağ asitlerinin kimyasal yapısı üretilecek yakıtın birçok özelliğini belirler. Doymuşluk derecesi, zincir uzunluğu ve dallanma derecesi yakıtın soğuk akış özelliğini belirlemektedir. Örnek verilecek olunursa zincir uzunluğunun azalması veya karbon zincirindeki dallanmanın artması akma noktası, bulutlanma noktası ve soğuk filtre tıkanma noktası gibi yakıt özelliklerini olumlu yönde etkileyecektir. Yağın doymuşluk oranı yağın erime noktasını belirler. Örneğin doymuş bir yağın daha az doymuş bir yağa göre erime noktası daha yüksektir. Bununla birlikte zincir uzunluğunun artması da erime noktasını etkiler. Öte yandan doymuşluk oranı setan sayısını etkilemektedir [57].

Ester bir asit grubu ile bir alkol grubunun birlikte bulunduğu kimyasal bir zincir yapısıdır. Gliserin ise 3 karbon zincirinden oluşan ve her bir karbon zincirine bir alkol grubunun bağlandığı zincir yapısıdır. Bunlara monogliserit, digliserit ve trigliserit adları verilir [54].

2.2.2. Biyodizelin Tanımı, Yapısı ve Özellikleri

Alternatif yakıt arayışlarından biri de biyodizeldir. Biyodizel bitkisel yağlardan (kanola, aspir, zeytinyağı, hindistan cevizi yağı gibi), hayvansal yağlardan veya atık kızartma yağlarından biriyle kısa zincirli bir alkolü bir katalizör eşliğinde reaksiyona sokarak elde edilen ve içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabilen yağ asidi metil esterlerine verilen ortak isimdir. Biyodizel kavramı ilk olarak 1992 yılında Amerikan Ulusal Soy Dizel Geliştirme Kuruluşu tarafından kullanılmıştır. Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanıldığı ve daha ziyade bitkisel yağlardan yapıldığı için 'Biyodizel' denilmiştir [58].

Biyodizel orta uzunlukta C16-C18 yağ asidi zincirlerini içeren metil veya etil esteri olarak da adlandırılan bir yakıt türüdür. Bu esterler doğada çok çabuk bir şekilde bozunup 10.000 mg/dm^3 'e kadar olumsuz yan etkileri görünmez. Suya bırakıldığında %95 'lik gibi büyük bir kısmı 90 gün içinde bozunabilmektedir. Motorinde ise bu oran %40'dır. Biyodizelin doğada bozunma şekli dektroza (şekere) benzer.

Biyodizelin herhangi bir toksik etkisi bulunmamaktadır. Ağız yoluyla alınırsa öldürücü doz 17,4 g biyodizele karşılık 1 kg vücut ağırlığı şeklindedir. Bu oran sofraya tuzunda 1,75 g tuza karşılık 1 kg vücut ağırlığı olup tuzun biyodizelden daha öldürücü bir etkiye sahip olduğu söylenebilir. Cilde temas ettiğinde %4'lük bir sabun çözeltisinden daha az tahriş edici etkisi olduğu gözlemlenmiştir [58].

Depolama yönünden dizel yakıtıyla benzer özelliklere sahiptir. Temiz, kuru ve karanlık ortamlarda saklanmalı ve aşırı sıcaktan korunmalıdır. Depo malzemesi olarak yumuşak çelik, paslanmaz çelik, florlu polietilen ve florlu polipropilen kullanılabilir. Depolama, taşıma ve motor parçalarında bazı elestomerlerin doğal ve butil kauçukları kullanılmamalıdır, çünkü biyodizel bu malzemeleri zamanla tahrip edip parçalanmasına neden olmaktadır. Ancak Viton B tipi elestomerik malzemelerin kullanılmasında bir sakınca yoktur. Biyodizel ile motorin karışımları 4°C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda hazırlanmalıdır. Soğukta karışım hazırlarken biyodizel motorine eklenmelidir. Sıcakta ise oranı fazla olan yakıt, oranı az olan yakıtın üzerine eklenerek karışımların homojen olması sağlanabilir.

Dünya ülkeleri halen biyodizel için EN 14214 ve EN 14213 Avrupa Birliği Standartları ile ASTM D6751 Amerikan standartlarını kullanmaktadır. Ülkemizde ise TSE tarafından EN standartları temel alınarak biyodizel için TS EN 14214 standardı kabul edilmiştir.

Ayrıca TS 3082 EN590 Türk Standardı dizel yakıtlara en çok %5 biyodizel katılmasına izin vermiştir[59].

Tablo 2.7. Bazı yağ türlerinin özellikleri[61].

Bitkisel Yağ	Isıl Değer kJ/kg	Kinematik Viskozite mm ² /sn (40 °C)	Yoğunluk (15°C) (g/cm ³)	Parlama Noktası (°C)	Akma Noktası (°C)	Bulutlanma noktası (°C)	% Karbon
Yer fıstığı	39964	22,72	0,8880	198	-6	0	70,002
Pamuk	39173	27,02	0,8830	218	-17	-1	72,7005
Aspir	39772	28,33	0,9050	226	-14	-2	67,2242
Kanola	40123	31,23	0,9030	234	-30	-14	72,3939
Susam	39445	25,78	0,8990	245	-10	1	68,9628
Keten	39552	26,61	0,9180	226	-30	-6	67,2569
Soya	40115	28,08	0,9050	242	-18	-4	71,2397
Ayçiçeği	39827	31,52	0,9060	262	-18	-7	53,9418

Tablo 2.8. Bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel yakıtların yakıt özellikleri [61].

Biyodizel	Isıl değer (kJ/kg)	Yoğunluk (15°C'de) (g/cm ³)	Parlama noktası (°C)	Akma noktası (°C)	Bulutlanma noktası (°C)	Karbon %	Ester verimi %	Setan sayısı
Y. fıstığı	40099	0,8485	166	-8	0	62	79	54
Pamuk	40201	0,8558	127	-20	-9	60	91	52
Aspir	40258	0,8733	187	-24	-5	59	89	53
Kanola	39876	0,8652	208	-30	-13	63	96	56
Susam	40397	0,8672	170	-14	-6	62	69	50,5
Keten	39952	0,8832	136	-30	-11	70	84	45,5
Soya	40535	0,9633	174	-20	-9	66	87	47
Ayçiçeği	39649	0,8740	171	-19	-6	62	81	47
Dizel 2	42900	0,82-0,86	>55	-33	-16	-	-	49-55

Biyodizel yakıtların akma noktaları dizel yakıtlara göre daha yüksek olduğu için soğuk iklimlerde yakıtın içine akıcılığını arttıran katkı maddeleri katılır veya yakıt deposu içine bir ısıtıcı yerleştirilir. Aksi takdirde gresleşme problemleri ile karşılaşılabilir. Mevcut dizel yakıtına yakın değerlerde biyodizel yakıtları dizel motorlarda küçük revizyonlar ve ayarlamalar yapılarak kullanılabilir. Biyodizel yakıtlar dizel motorlarda direkt kullanılabilen gibi dizel yakıtına belirli oranlarda karıştırılarak da kullanılabilir [60]. Bazı bitkisel yağların fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 2.7’de verilmiştir. Tablo 2.8’de ise bazı bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel ile dizel yakıtının özellikleri verilmiştir. Biyodizel çevre dostu ve fosil kökenli yakıtlara nazaran daha temiz emisyonlar yayan yakıttır. Dizel yakıtlarında çok az kükürt bulunurken biyodizelde bu oran sıfırdır. Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda yakıt –hava karışımı yanma odası içinde gerçekleştiği için yanma verimi ve motor performans parametreleri bu karışım oranlarından olumlu ya da olumsuz yönde etkilenirler. Biyodizel yakıtlar ile dizel yakıt özelliklerinin bir kısmı Tablo 2.9’da verilmiştir. Ayrıca biyodizelin oksijen içerikli bir yakıt olması yanmayı olumlu yönde etkilediği ve egzoz emisyonlarında azalma sağladığı yapılan çalışmalardan anlaşılmaktadır [62].

Tablo 2.9. Standart dizel yakıtı ile biyodizelin özelliklerinin karşılaştırılması [62].

Özellikler	Dizel Yakıtı (ASTM D 975)	Biyodizel (ASTM PS 121)
Yoğunluk (g/m ³) (15°C’de)	0,85	0,88
Kinematik Viskozite (40 °C’de)	1,3-1,4	1,9-6,0
Alt ısı Değer (MJ/l)	36,6	32,6
Setan Sayısı	40-55	40-49
Parlama Noktası (°C)	60-80	100-170
Kaynama Noktası (°C)	188-343	182-338
Su (ppm)	161	max %5
Kükürt (%)	max 0,05	0-0,002

Üretilen biyodizelin nem ve su bulundurmaması, kükürt içermemesi ve TSE EN 14214 standartlarında belirtilen özellikleri karşılaması gerekmektedir. Bu özelliklerden aşağıda maddeler halinde bahsedilmiştir.

- **Yoğunluk**

Yoğunluk yakıtın birim hacmine düşen kütle miktarı olup yakıtın yapısı, karbon/hidrojen oranı, yakıtın dağılması ve tutuşma kabiliyeti ile ilgili bilgiler içerir. Yoğunluk partikül madde ve NO_x emisyonları üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahiptir [63]. Yoğunluk yakıtın önemli bir özelliğidir. Yağın içindeki gliserin yeterince ayrıştırılmazsa yoğunluk yüksek çıkar. Yakıtın yoğunluğunun yüksek çıkması olumsuz bir etkiye sahiptir. Yoğunluk değeri yağın cinsine ve tabii tutulan işleme bağlı olmakla birlikte dizel yakıtından biraz yüksek çıkmaktadır. Dizel yakıtının yoğunluk değeri 0,85 g/cm³ iken biyodizel yoğunluk değerleri 0,86-0,9 g/cm³ arasında değişmektedir. Ortalama yoğunluk değeri 0,88 g/cm³ olarak kabul edilmektedir [64].

- **Kinematik Viskozite**

Bu özellik bir akışkanın yerçekimi ivmesi etkisi altında akmaya karşı göstermiş olduğu dirençtir ve bütün sıvılarda ayırt edici bir özelliktir. Viskozite belirli bir hacimdeki sıvının akma süresi olan kinematik viskozite ile doğru orantılıdır. Viskozitenin yüksek çıkmasının bazı olumsuz sonuçları vardır. Yakıtın enjektörden kötü püskürtülmesine neden olarak atomizasyonun zayıf olmasına, kötü yanmaya, enjektörlerin tıkanmasına, silindir duvarları üst kapak ile segmanlarda karbon birikmesine ve yağlama yağının bozulmasına neden olur. Bununla birlikte pompalamanın zayıflamasına ve enjektörlerin yetersiz püskürtmesine neden olur. Sıcaklık viskoziteyi etkilemektedir. Biyodizelde viskozite değerleri 40°C'de 1,9-6 mm²/s arasında değişmektedir. Hidrokarbonların zincir uzunluğu ile doğrudan ilişkilidir ve çift bağ sayısındaki artış viskozitenin azalması anlamına gelir. Eğer biyodizelin viskozitesi yüksek çıkmışsa bu transesterifikasyon işleminde hata olduğunu ve işlemin başarılı sonuçlanmadığını göstermektedir [65].

İki türlü viskozite sorunu çözüm yolu vardır. Bunlar; ya motor parçalarını yakıt viskozitesine uygun olarak tasarlamak ya da doğrudan yakıtın viskozitesini azaltmaya yönelik çalışmalar yapmaktır. İkinci yapılan işlem birincisine göre daha uygun olduğu için çalışmalar genellikle yağın viskozitesini azaltmaya yönelik olarak yapılmaktadır.

- **Parlama Noktası**

Bu özellik biyodizel buharının hava ile yanıcı bir karışım oluşturduğunda yakıtın yanması için gereken en düşük sıcaklık noktasıdır. Biyodizelin parlama noktası dizel yakıtından daha yüksektir. Bu nedenle dizel yakıtına göre daha güvenilir bir şekilde depolanıp taşınabilir. ASTM D6751 standartlarına göre biyodizel için minimum parlama noktası değeri 120°C'dir [66].

- **Soğukta Akış Özelliği**

Biyodizel dizel yakıtına göre daha kötü soğuk akış özelliklerine sahiptir ve soğuk havalarda donma gibi sorunlar ortaya çıkarabilir. Bu özellik biyodizel yakıtlarının iyileştirilmesi gereken en önemli sorunlarından biridir. Doymuş yağ bileşenlerinin yüksek olmasından dolayı yüksek bulutlanma ve akma noktalarına sahiptirler. Soğuk havalarda biyodizelin donması kristalleşmeye ve bunun sonucunda yakıt hatları ve filtrelerin tıkanmasına neden olur [67].

- **Akma ve Bulutlanma Noktası**

Biyodizel yapımında kullanılan hayvansal yağlar ve atık kızartma yağlarının yapılarında çok yüksek miktarlarda doymuş yağ bulunması aşırı soğuk havalarda kristalleşmesine neden olur. Bu özellik soğuk havalarda depolama ve kullanım açısından olumsuz bir özelliktir. Kış şartları açısından en önemli özellikler akma ve bulutlanma noktasıdır [68].

Akma noktası yakıtın en düşük akma sıcaklığıdır. Başka bir deyişle kristalleşmenin ilk başladığı noktaya kadar yakıtın akıcılığını devam ettirdiği en düşük sıcaklığa denir. Bulutlanma noktası ise, yakıt soğutulduğunda parafin kristallerinden oluşan sis ve bulutun gözlemlendiği ilk sıcaklık noktasına denir. Bu sıcaklığın altında yakıt jelleşmeye başlar ve akış yavaş yavaş durur.

Bulutlanma noktası yağ kompozisyonundaki doymuş yağ asidi miktarından anlaşılır. Eğer kullanılan yağın doymuş yağ asidi miktarı fazlaysa bulutlanma noktası yüksek olur. Biyodizelin bulutlanma noktası dizel yakıtından 20-25 °C daha fazladır. Bu özellik soğuk hava koşullarında depolama ve taşıma esnasında problemlere yol açar. Yani çalışma şartları kötüleşir. Bu sorunu çözmek için yakıt içine katkı maddeleri katılabilir. Üretim sırasında doymuş yağ asidi fazla olan yakıtlara düşük asitli yağlar katılarak asit değeri düşürülebilir[67].

- **Setan Sayısı**

Sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda setan sayısı yakıtın tutuşma özelliğini gösterir. Tutuşma kalitesi setan sayısından belli olur. Eğer setan sayısı büyükse tutuşma gecikmesi süresi kısalmır, soğuk havalarda çalışma kolaylaşır ve gürültü ile aşıntı azalır [69]. Doymuşluk oranı yüksek olan yağların setan sayıları 70 dolaylarındadır. Soya ve ayçiçeği yağının doymamışlığı yüksek olduğu için setan sayıları küçüktür. Buna ilaveten dizel yakıtına belirli oranlarda biyodizel eklendiğinde egzoz emisyonlarından CO, HC ve partikül madde (PM)'lerde azalma görülürken, NO_x emisyonu ile özgül yakıt tüketiminde artışlar görülmüştür [72]. Biyodizelin setan sayısı kullanılan yağın türüne göre 40 ile 49 arasında değişir. Bitkisel yağların tutuşma gecikmesi dizel yakıtlarından daha uzun süre aldığından dolayı transesterifikasyon gibi bazı yollarla biyodizele dönüştürülerek bu süre dizel yakıtına yakın seviyelere çekilmeye çalışılır [62].

- **Isıl Değer**

Yakıtın birim kütlesi ya da birim hacminden sağlanan enerji miktarına ısıl değer denir. Isıl değeri belirleyen unsur öncelikle yakıtın yapısında bulunan C, H, O ve S gibi atomların sayısıdır. Bu değerler ağır olan yağlar için önemlidir. Doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğu ısıl değerini artırır azalacağını belirler. Doymuşluk arttıkça ısıl değer artar. Eğer yakıtın hidrojen içeriği düşükse ısıl değer de o oranda düşük olur. Biyodizelin yapısında bulunan oksijen nedeniyle ısıl değerleri dizel yakıtına nazaran düşüktür. Enjeksiyon süresi ve yakıt miktarı arttırılmak istenirse bu kez yakıt sarfiyatı artar ama dizel yakıtıyla aynı performans değerleri elde edilir [70].

- **Yağlayıcılık Özelliği**

İçten yanmalı motorlarda aşıntı ve sürtünmeleri azaltmak amacıyla yağlama sistemleri kullanılır. Günümüzde fosil kökenli yakıtların çevreyi kirletme özelliklerini düşürmek amacıyla içindeki kükürt miktarı azaltılır. Ancak bu yakıtın yağlayıcılık özelliğini azaltır. Bunun önüne geçmek için dizel yakıtına bazı katkı maddeleri katılır. Bu katkı maddeleri de yakıt enjeksiyon sisteminde tortu oluşmasına neden olur [73]. Biyodizelin yağlayıcılık özelliği ise dizel yakıtlarından daha iyidir. Yapılan bazı çalışmalarda kükürtsüz dizel yakıtına ilave edilen %1 oranındaki biyodizel aşınmayı 460 mikrometrenin altına düşürmüştür [66].

- **Karbon Artığı**

Karbon artığı yakıt enjeksiyon sistemleri ve yanma odası açısından büyük sorun teşkil eder. Bunun nedeni enjektör deliklerinde ve segmanlarda birikip tıkanmalara neden olmasıdır. Yapılan çalışmalarda biyodizelin karbon artığı çok az miktarda olup yakıt kütesinin sadece %0,02'si kadar olduğu gözlemlenmiştir [64].

- **İyot Sayısı**

Yakıtın doymamışlık derecesini iyot sayısı belirlemektedir. Doymamışlık depolama ve tortu oluşumunda sorunlar teşkil eder. Biyodizelin sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda kullanılması motor yağının incelmeye ve viskozitesinin azalmasına neden olmaktadır. Biyodizeldeki doymamış yağ asitlerinin fazla olması iyot sayısı ile bağlantılıdır ve motor yağında polimerleşmeye neden olur. Bu doymamışlık oksidasyon ve polimerizasyonu artırarak yakıtın incelmeye ve akabinde yağın bozulmasına yol açar. TSE EN 14214 standartlarına göre iyot sayısı biyodizelde en çok 120 değerinde olmalıdır. Ancak yapılan araştırmalarda iyot sayısının 115'den küçük olmasının da aşırı karbon kalıntısına neden olduğu gözlemlenmiştir [66].

- **Kükürt İçeriği**

Kükürt içeriği dizel yakıtlarında bulunan bir özelliktir ve bu özellik sayesinde dizel yakıtının yağlayıcılık özelliği arttırılmaya çalışılır. Ancak kükürt çevre ve insan sağlığı açısından zararlı bir katkı maddesidir. Biyodizelde ise kükürt bulunmaz. Dizel yakıtının biyodizel yakıtlarıyla harmanlanıp kullanılması kükürt emisyonlarının azalmasına katkı sağlar [71].

- **Su ve Tortu Miktarı**

Su ve tortu miktarı ilyakıtın ne kadar temiz olduğu anlaşılır. Su ve tortu miktarı yüksek olan yakıtlar kullanıldığında zamanla motor parçalarında olumsuzluklar görülürken, bu olumsuzluklar motorun ömrünü kısaltmaya ve motor performansında azalmaya yol açar. Yakıt içinde bulunan suyun enjeksiyon sistemlerinde aşınmaya ve paslanmaya ve bunun yanında motorun tekleyerek çalışmasına neden olacağı için yakıtın içinde bulunması istenmez. Tortu ise filtrelerin tıkanmasına ve enjeksiyon sistemlerinde birikintilere yol açarak motorun arızalanmasına yol açar [69]. Bitkisel yağların içinde su bulunmaz ama

transesterifikasyon işlemi ve akabinde yıkama işlemi nedeniyle yakıtın içinde su kalma ihtimali her zaman vardır. ASTM D 6751'e göre biyodizel içinde bulunan su miktarının hacimsel olarak en fazla %0,05 olması gerekir [66].

- **Oksidasyon Kararlılığı**

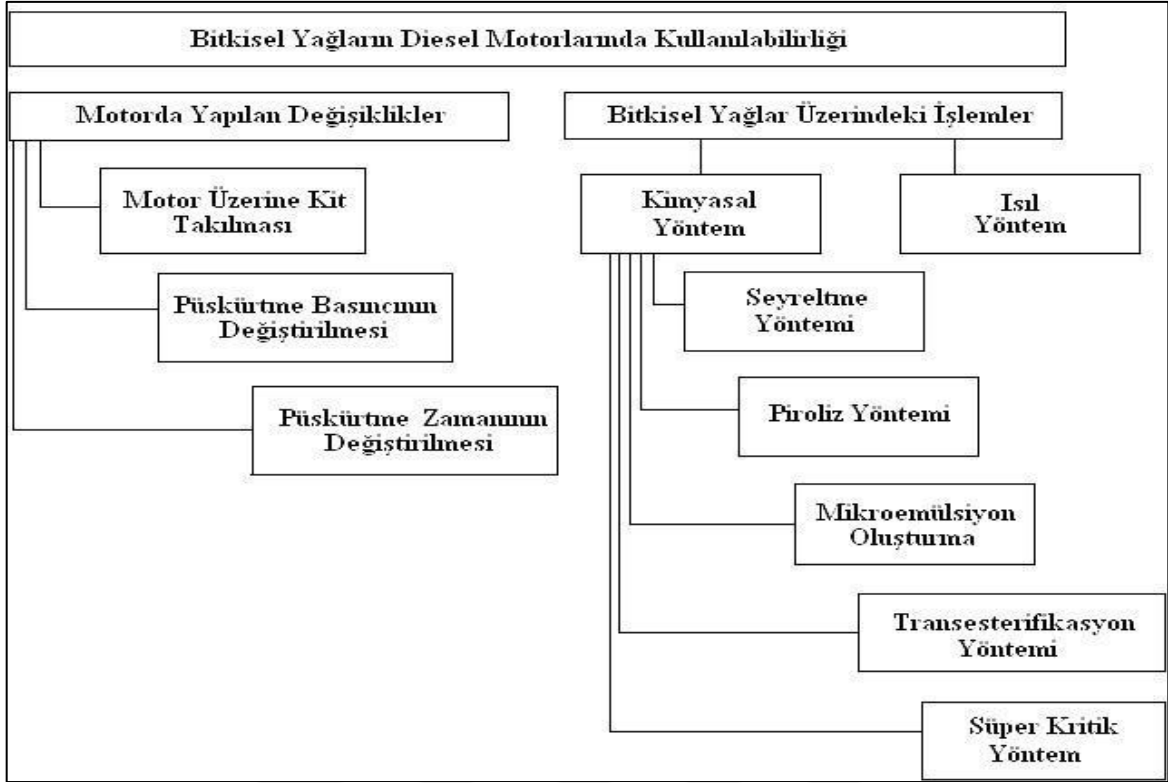
Yakıtın havayla temas etmesi beraberinde özelliklerinin değişmesine neden olur. Yani biyodizelin havayla temas etmesi yakıtın yapısını dizel yakıtına nazaran daha çabuk bozar. Dolayısıyla biyodizelin oksidasyon kararlılığı düşüktür. Doymamış yağ asitlerinin oksidasyon kararlılığı düşük, doymuş yağların ise yüksektir. Oksidasyon kararlılığı aynı zamanda yağın tokofrol ve keroten içeriğine bağlıdır. Oksidasyon kararlılığını artırmak için bazı antioksidan katkı maddeleri kullanılabilir [65].

- **Doğada Bozunabilme Özelliği**

Biyodizeli oluşturan C16-C18 metil esterleri doğada kısa sürede ve hızla parçalanarak bozunur. 10.000 mg/dm³'e kadar olumsuz bir etki göstermez. Suda 90 gün içinde %95'i çözünür.

2.2.3. Biyodizel Üretimi, Kimyasal Yapıları ve Üretim Yöntemleri

Yağların yüksek viskoziteleri ve çeşitli özelliklerinden dolayı dizel motorlarda direkt kullanılmaları zamanla bazı sakıncalar doğurmaktadır. Bu özellikleri iyileştirmek, viskozitelerini düşürmek ve dizel yakıtına yakın değerler elde etmek amacıyla bazı fiziksel ve kimyasal işlemlerden geçirilirler [74]. Bitkisel yağların yüksek viskozitelerini düşürmek için bazı yöntemler vardır. Bu yöntemlerden bazıları seyreltme, mikro emülsiyon oluşturma, piroliz, transesterifikasyon ve süper kritik yöntemleridir. Şekil 2.4'de bitkisel yağların sıkıştırma ile ateşlemeli motorlarda kullanılabilmesi için kullanılan yöntemler gösterilmiştir. Ayrıca kimyasal yöntemler aşağıda maddeler halinde izah edilmiştir.



Şekil 2.4. Bitkisel yağlardan biyodizel üretim yöntemleri [2].

- **Seyreltme Metodu**

Bu yöntemde dizel yakıtına belirli oranlarda bitkisel yağ karıştırılarak karışımın seyreltilmesi ve bu yolla yağın viskozitesini düşürmek amaçlanır. Düşük viskozite değeri elde edebilmek için düşük viskoziteli yağlar kullanılmalıdır. Örnek olarak ayçiçek yağı, soya yağı, fıstık yağı ve kanola yağı verilebilir.

İlk defa Brezilya’da Caterpillar şirketi motorda herhangi bir revizyona gerek duymadan bitkisel yağları dizel yakıtıyla karıştırarak kullanmıştır. Günümüzde ise rafine edilmiş bitkisel yağlar motor parçalarında yapılabilecek küçük değişikliklerle kullanılabilir. Ancak direkt kullanmanın zamanla bazı sorunlar ortaya çıkardığı da unutulmamalıdır. Tablo 2.10’da seyreltme metodu ile elde edilen yakıtların bazı özellikleri gösterilmiştir. Burada D dizel yakıtını, A ayçiçeği yağını göstermektedir.

Tablo 2.10. Seyreltme yöntemiyle oluşturulan dizel yakıtı-yağ karışımlarının bazı özellikleri [75].

YAKIT ADI	VİSKOZİTE			ISIL DEĞER	
	(Redwood –Saniye) 21°C	38°C	(cSt) 21°C	(kJ/kg)	%
D	34,1	30,8	3,5	46204	100
DA2	40,5	35,5	6,0	45468	98,4
DA3	49,2	38,6	9,0	44332	95,9
DA4	57,9	43,1	12	43555	94,2
DA5	71,7	48,8	16	42739	92,5
DA6	88,9	56,1	21	42336	91,6
DA7	106,3	64,7	25,5	41476	89,7
DA8	142,6	89,4	30	40742	88,1
A	219,0	120,9	54	40005	86,5

- **Mikro Emülsiyon Yöntemi**

Bu yöntemde bitkisel yağ etanol ya da metanol gibi kısa zincirli bir alkolle mikro emülsiyon haline getirilerek viskozitenin düşürülmesi amaçlanır. Alkollerin setan sayısının düşük olması emülsiyonun da setan sayısını düşüreceği için bir sorun teşkil edecektir. Bunun yanında düşük sıcaklıklarda karışımın ayrışma ihtimali de vardır. Mikro emülsiyon yöntemi mikro yapıları 1-158 nm (nanometre) olan izotropik akışkanın dengeli bir şekilde dağılmasıdır. Düşük kaynama noktası olan bileşenlerin reaksiyon sırasında buharlaşıp patlamasıyla püskürtme özelliği iyileşir. Bütanol, hegzanol ve oktanol gibi alkoller bu yöntemde uygundur.

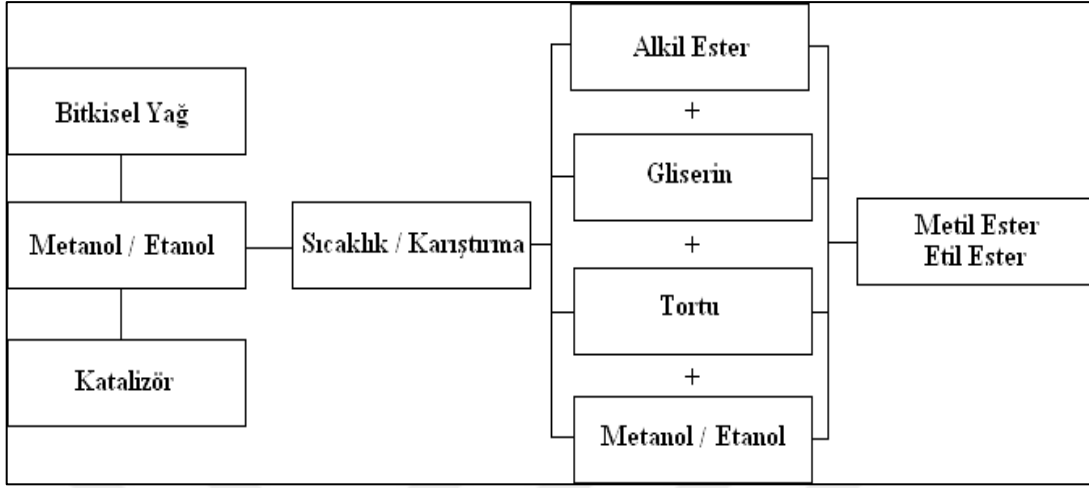
- **Piroliz Yöntemi**

Bu yöntemde amaç yağ moleküllerini çokyüksek sıcaklıklarda daha küçük moleküllerine ayırıp viskozitesini düşürmektir. Bu yöntem pahalı bir yöntemdir. İki şekilde uygulanır. İlkinde bitkisel yağları kapalı bir kaptaki çok yüksek sıcaklıklarda parçalamak, diğeri ise standart ASTM distilasyonu ile ısıl parçalamaya tabi tutmaktır [76].

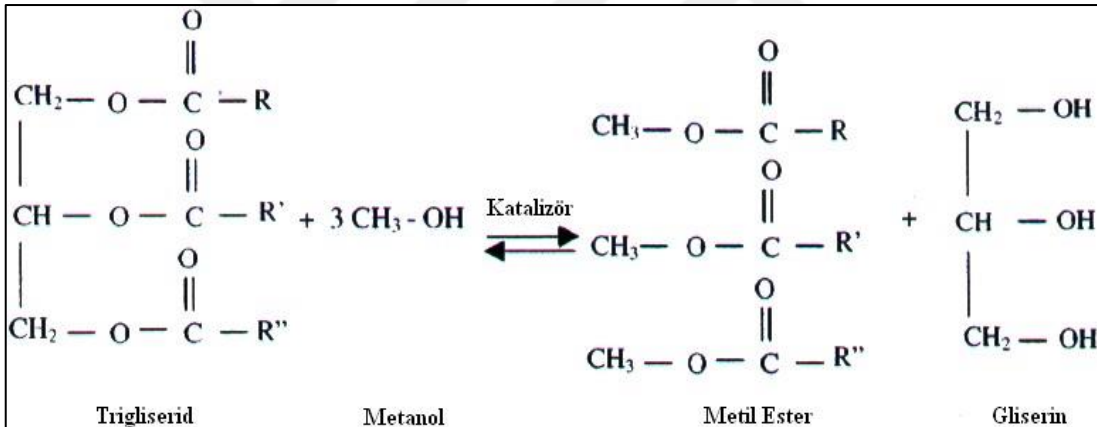
- **Transesterifikasyon Yöntemi**

Bu yöntemde bitkisel yağlar bir katalizör eşliğinde alkolle reaksiyona sokularak yeniden esterleştirilirler. En etkili viskozite azaltma yöntemidir. Günümüzde en çok kullanılan yöntem olmasının yanı sıra bu iş için birçok tesis kurulmuştur. Şekil 2.5’de

metil ve etil ester elde etme şeması gösterilmiştir. Şekil 2.6’da ise transesterifikasyon işleminin kimyasal denklemini görülmektedir.



Şekil 2.5. Bitkisel yağlardan transesterifikasyon yöntemi ile yağ esterleri elde edilmesi [2].



Şekil 2.6. Transesterifikasyon kimyasal denklemini [2].

Transesterifikasyon yönteminde kullanılan alkolün ve katalizörün reaksiyon sonucu elde edilen esterlerin özelliklerini belirlemede önemli bir etkisi bulunur. Reaksiyon öncesinde yağ alkolün tamamıyla reaksiyona girerse bu işleme alkolleşme denir. Transesterifikasyon reaksiyonu bir denge reaksiyonudur ve kullanılan katalizörün tam karıştırılması ile oluşur. Katalizörün burada reaksiyonu hızlandırıcı bir etkisi vardır. Ancak ester verimini arttırmak için kullanılan alkolün fazla olması gerekir. Bu işlemin laboratuvar ortamında gerçekleştirilmesi gerekmez. Genel transesterifikasyon işleminde yağ etanol yada metanol gibi bir alkolle ve asit yada baz bir katalizör eşliğinde reaksiyona sokularak sonuçta asitçe zengin doymuş alkil ester ile gliserin elde edilmektedir. Reaksiyon

sonucunda zincirleme bir şekilde meydana gelen ara ürün olarak mono ve digliseritlerin oluştuğu üç kademeli bir reaksiyon olduğu görülür. Bu reaksiyonda bir mol yağa karşılık 3 mol alkol kullanılır. Alkolün fazla kullanılması reaksiyonun sonunda oluşacak ester sayısının artmasına fakat esterlerin gliserinden ayrılmasının zorlaşmasına neden olmaktadır. Günümüzde transesterifikasyonla ilgili yapılan çalışmalar; farklı türde yağlar kullanma, farklı alkol/yağ mol oranı, reaksiyon sıcaklığını değiştirme ve değişik türde ve miktarlarda katalizör kullanarak daha verimli ester üretme üzerine yapılmaktadır.

- **Süper Kritik Yöntem**

Bu yöntemde katalizör kullanılmadan yağ 240 s gibi kısa bir sürede 350 °C gibi yüksek sıcaklığa çıkarılarak yağın viskozitesinin düşürülmesi amaçlanır.

Tablo 2.11. Bitkisel yağların viskozitelerini azaltma yöntemlerinin karşılaştırılması[77].

Biyodizel Üretim Yöntemi						
Test Özelliği	ASTM	Diesel	Transesterifikasyon	Seyreltme	Mikroemülsiyon	Proliz
Viskozite (cSt)	D445	2,39	4,08	4,88	11,2	10,2
Setan Sayısı	D613	45,8	46,2	-	-	43
BulutlanmaNoktası (°C)	D2500	-19	2	-	-	-
Akma Noktası (°C)	D97	-23	1	-	-	2
Motor Testi	200 h EMA	Başarılı	Başarılı	Başarılı	Başarılı	-

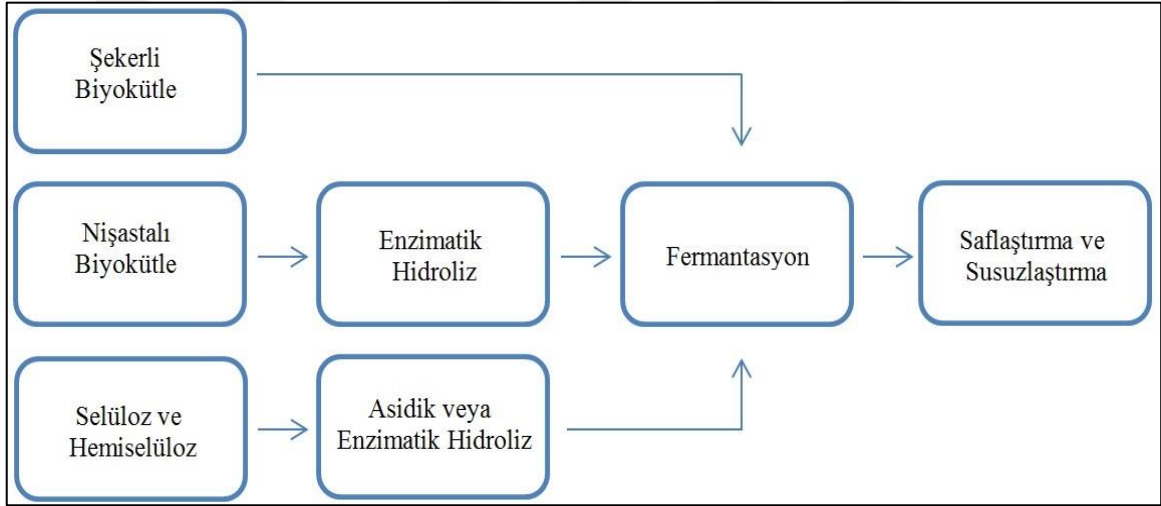
Yukarıda kısaca bahsedilen yöntemler Zhou [77] tarafından yapılan çalışmalarla tamamlanmış ve birbiriyle karşılaştırılarak özellikleri Tablo 2.11’de verilmiştir. Tablo 2.12’de ise EMA (Engine Manufacturers Association) Motor İmalatçıları Birliği tarafından belirlenen yöntem ile test edilmiştir. Deneylerde soya yağı metil esteri kullanılmıştır. Seyreltme metodunda %50 yağ-%50 dizel yakıtı, mikro emülsiyon yönteminde %52,7 yağ - %13,3 metanol- %2 oktanol - %1 setan kullanılmıştır. Tablolar incelendiğinde en iyi yöntemin transesterifikasyon yöntemi olduğu görülür.

Tablo 2.12. Biyodizel standartları [78].

		Çek. Cum.	Fransa	Almanya	İtalya	İsveç	A.B.D.
Standart		CSN 65 6507	Journal Officiel	DIN E 51606	UNI 10635	SS155436	ASTM PS121-99
Tarih		Eylül 1998	Eylül 1997	Eylül 1997	Nisan 1997	Kasım 1996	Haziran 1999
Uygulama		RME	VOME	FAME	VOME	VOME	FAMAE
Yoğunluk 15 °C	g/cm ³	0,87–0,89	0,87_0,90	0,87_0,90	0,87_0,90	0,87_0,90	-
Viskozite 40 °C	mm ² /s	3,5 – 5,0	3,5 – 5,0	3,5 – 5,0	3,5 – 5,0	3,5 – 5,0	-
Distilasyon %95	°C	-	≤ 360	-	≤ 360	-	-
Parlama Noktası	°C	≥ 110	≥ 100	≥ 110	≥ 100	≥ 100	≥ 100
CCFP	°C	-5	-	0/-10/-20	-	-5	-
Buharlaşma Noktası	°C	-	≤ -10	-	≤ 0/≤ -15	-	-
Sülfür Miktarı	% mass	≤ 0,02	-	≤ 0,01	≤ 0,01	≤ 0,001	≤ 0,05
CCR%100 %10Distil.	% mass	≤ 0,05	≤ 0,3	≤ 0,05	≤ 0,5	-	≤ 0,05
Sülfat Kül Miktarı	% mass	≤ 0,02	-	≤ 0,03	-	-	≤ 0,02
Oksidik Kül Miktarı	% mass	-	-	-	≤ 0,01	≤ 0,01	-
Su Miktarı	mg/kg	≤ 500	≤ 200	≤ 300	≤ 700	≤ 300	≤ 0,05%
Toplam Buharlaşma	mg/kg	≤ 24	-	≤ 20	-	≤ 20	-
Bakır Korozyonu	3h/50°C	1	-	1	-	-	≤ No.3
Setan Sayısı	-	≥ 48	≥ 49	≥ 49	-	≥ 48	≥ 40
Asit Sayısı	mgKOH/g	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,6	≤ 0,8
Metanol İçeriği	% mass	-	≤ 0,1	≤ 0,3	≤ 0,2	≤ 0,2	-
Ester İçeriği	% mass	-	≥ 96,5	-	≥ 98	≥ 98	-
Monogliseritler	% mass	-	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 0,8	-
Digliseridler	% mass	-	≤ 0,2	≤ 0,4	≤ 0,2	≤ 0,1	-
Trigliseridler	% mass	-	≤ 0,2	≤ 0,4	≤ 0,1	≤ 0,1	-
Serbest Gliserin	% mass	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,02	≤ 0,05	≤ 0,02	≤ 0,02
Toplam Gliserin	% mass	≤ 0,24	≤ 0,25	≤ 0,25	-	-	≤ 0,24
İyot Sayısı	-	-	≤ 115	≤ 115	-	≤ 125	-
C18:3ve yüksek Doymamış Asit Miktarı	% mass	-	-	-	-	-	-
Fosfor Konsantrasyonu	mg/kg	≤ 20	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 10	-
Alkali Metal	mg/kg	≤ 10	≤ 5	≤ 5	-	≤ 10	-

2.3. Biyodizel Üretiminde ve Yakıt Karışımlarında Kullanılan Etanol ve Metanol

Günümüzde ulaşım sektöründe en yaygın kullanılan alkol türleri etanol ve metanoldür. Özellikle etanol bitkisel kökenli olması sebebiyle daha fazla önem kazanmıştır. Etanolün kimyasal formülü C_2H_5OH , renksiz ve kokusuz bir alkoldür. Şekerli mayanın fermantasyonu ile üretilir. Etanol üretim şeması Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Etanol üretilirken elde edilen alkol %96 saflıktadır. Ancak bu saflık etanolün içten yanmalı motorlarda kullanılması için yeterli değildir. Motorlu araçlarda kullanılabilmesi için minimum %99,5 saflıkta olmalıdır. Bu değeri elde etmek için saflaştırma ve susuzlaştırma ünitelerinden geçirilir [79].



Şekil 2.7. Etanol üretim aşamaları [23].

Alkollerin oktan sayılarının yüksek olması onları benzin motorlarında kullanmak için daha elverişli hale getirir. Dizel motorlarında kullanmak için fiziksel ve termodinamik özellikleri bakımından uygun değildir. Ancak dizel motorlarının egzoz emisyonlarında iyileşme sağladığı da bir gerçektir. Motorin ve alkol karışımları özellikle is ve NO_x emisyonlarını azaltır.

Etanol yakıt özellikleri bakımından benzine benzemektedir. Etanol ve metanolün motorinle karşılaştırılması Tablo 2.13’de yapılmıştır. Tablodan da anlaşılacağı gibi motorinden farklı özelliklere sahiptir. En önemli fark ısı değeri görülmektedir. Etanolün ısı değeri motorinden 1,5 kat daha küçüktür. Setan sayısı, viskozite ve parlama noktası motorine göre daha düşüktür.

Tablo 2.13. Etanol, metanol ve dizel yakıt özelliklerinin karşılaştırılması [15].

Özellik	Etanol	Metanol	Dizel yakıtı
Kimyasal denklem	C ₂ H ₅ OH	CH ₃ OH	C ₁₂ H ₂₄
C/H oranı	0,333	0,25	0,52
Moleküler kütle	46,07	32,04	170
Özkütle sıvı (kg/dm ³)	0,79	0,79	0,83
Isıl değer (MJ/kg)	26,9	20,1	431
Stokiyometrik karışım			
Hava/yakıt (kütlesel)	8,96	6,44	14,5
Hava/yakıt(hacimsel)	14,3	7,14	-
Buharlaşma ısısı (MJ/kg)	0,856	1,10	0,3
Tutuşma sınırları %hacim	3,5-19	6-37	0,48-1,35
Adyabatik alev sıcaklığı (°C)	1924	1878	-
Kaynama noktası (°C)	78,7	65,1	170-350
Kendi kendine tutuşma sıcaklığı (°C)	392	470	-
Oktan sayısı			
Araştırma oktan sayısı	106	110	-
Motor oktan sayısı	89	87	-
Setan sayısı	5-15	3-15	45-50
Donma noktası (°C)	-117,7	-97,6	-

Biyodizele etanol karıştırılması durumunda ise viskozite ve uçuculuk gibi değerler azalmakta ve yakıt özellikleri motorine yakın hale gelmektedir. Dizel motorlarında saf biyodizel kullanılması durumunda NO_x emisyonları artar. Ancak etanol katılmasıyla birlikte bu emisyonlarda da iyileşmeler görülür.

Metanol ise fosil yakıtlardan yüksek sıcaklık altında su buharı ile ısı işlemleri, doğalgaza uygulanan birtakım distilasyon işlemleri, CO ve H₂'nin katalitik ortamlarda sentezleri gibi birçok teknikte üretilir. Renksiz, saydam ve hafif kokulu bir alkol türü olup kimyasal formülleri CH₃OH'tır. Isıl değeri 20,1 MJ/kg'dır. Kendi kendine tutuşma eğilimi düşük, buharlaşma ısısı yüksek ve su tutma kabiliyetleri çok yüksektir. Nem çekmesi nedeniyle yakıtın bünyesine su çekme ihtimali vardır ve bu su motorda korozif bir etkiye neden olur. Korozyonu önlemek için motor donanımı yalıtılmalıdır. Emisyonları az da olsa azaltma yetenekleri vardır.

3. DİZEL MOTORLARDA YANMA ve EGZOZ EMİSYONLARI

Dizel motorları daima hava fazlalık katsayısının fazla olduğu bölgelerde çalıştığı için egzoz emisyonları da benzin motorlarına nazaran daha temizdir. Ancak dizel motorlarında yük arttıkça silindir içine püskürtülen yakıt miktarı artmakta ve bunun aksine silindir içine alınan hava miktarı azalmaktadır. Bu da karışımın zenginleşmesine yol açmakta ve yükün artmasıyla birlikte yanma olayı da kötüleşerek neticesinde egzoz emisyonlarının içeriği de değişmektedir. Dizel motorlarda egzoz emisyonlarını azaltmanın etkili yolları yanmanın tam gerçekleşmesini sağlayan parametrelerdir [80]. Bunları şöyle sıralayabiliriz;

1. Püskürtme avansı
2. Motor hızı
3. Yakıt/hava oranı
4. Giriş basıncı
5. Soğutucu akışkanın giriş sıcaklığı
6. Püskürtülen yakıt miktarı
7. Yakıtın kalitesi
8. Motor büyüklüğü
9. Aşırı doldurma
10. Püskürtme karakteristikleri
11. Girdap hareketleri

Dizel ve benzin motorlarında çevrimler birbirine benzemektedir. Ancak yanma olaylarının safhaları ve ateşleme şekilleri birbirinden tamamen farklıdır. Dizel motorlarında silindir içine alınan hava piston üst ölü noktaya doğru hareket ederken sıkıştırılır ve bu sıkışmayla birlikte silindir içindeki basınç ve sıcaklık değerleri oldukça yüksek değerlere çıkar. Piston üst ölü noktaya varmadan hemen önce enjektörden yakıtın püskürtülmesi yanmayı sağlar. Yanan yakıtın bulunduğu ortamdaki gazın sıcaklık ve basıncı daha da artarak pistonun alt ölü noktaya doğru itilmesini sağlar ve böylece silindirde bir iş elde edilmiş olur. Benzin motorlarında ise ateşleme olayı daha farklı sağlanır. Silindir içine alınan yakıt hava karışımı buji ile ateşlenerek yakıt hava karışımının yanması sağlanır. Bu sebeple dizel motoru yanma aşamaları benzin motorlarından farklıdır.

3.1. Dizel Motorlarında Yanma Olayının Aşamaları

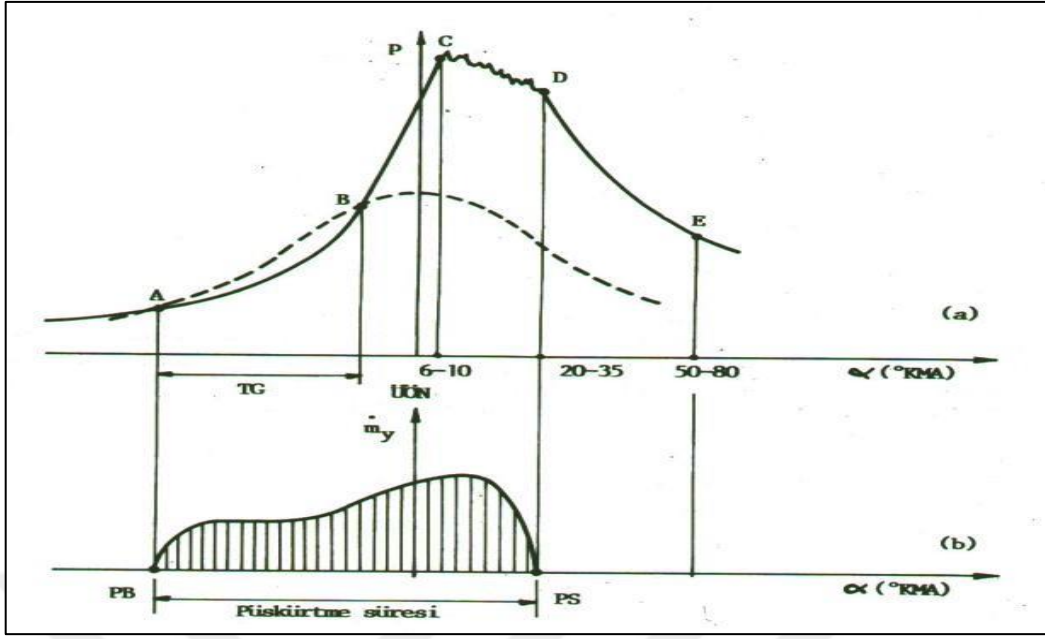
Ricardo [36], dizel motorlarında yanma olayının tutuşma gecikmesi, ani yanma, kumandalı (kontrollü) yanma ve art yanma aşamalarından oluştuğunu öne sürmüştür. Aşağıda bu aşamalardan kısaca bahsedilmiştir.

3.1.1. Tutuşma Gecikmesi Aşaması

Şekil 3.1a kısmında bir dizel motorunun basınç-krank açısı grafiği verilmiştir. b kısmında ise püskürtme başlangıcı ile püskürtme sonuna kadar olan püskürtülen yakıtın kütleli olarak miktarı gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi A noktasından başlayan püskürtme başlangıcı ile B noktasındaki püskürtme sonuna kadar olan kısımda bir tutuşma gecikmesi söz konusudur. Şekil 3.1. a'daki kısa kesikli çizgiler sadece hava ile olan silindir basıncını, tam olan çizgi ise yakıtın püskürtülmesi ile silindir içindeki basıncın krank açısına göre değişimini göstermektedir. Sadece yakıtın püskürtülmesi ile ateşleme olacağı için iki eğri B noktasında birbirinden ayrılmaktadır. Tutuşma gecikmesi süresi yakıtın buharlaşması (fiziksel gecikme) ve tutuşma anına kadar olan ön reaksiyonların oluştuğu (kimyasal gecikme) sürelerin toplamından oluşur.

Silindir içine püskürtülen yakıtın buharlaşması için belli bir süre gerekir. Fakat püskürtmenin ardından damlacıkların çevresinde bir buhar katmanı oluşmakta ve yanmanın oluştuğu kısım bu buhar katmanından başlamaktadır. Daha sonrasında meydana gelen yanma tutuşma gecikmesini etkilemez. Bu nedenle buharlaşma olayının artık tutuşma gecikmesine bir etkisi olmaz. Bunun yanında tutuşmadan sonra başlayan reaksiyon hızı buharlaşma hızıyla doğru orantılı olarak artmaktadır. Yanmanın hızı ise buhar tabakasının etrafındaki oksijen yoğunluğu ile orantılıdır. Bu da dizel motorlarında yanmanın tamamlanmadan önce başladığını göstermektedir.

Tutuşma gecikmesi süresinin uzun olması demek, silindir içindeki yakıtın havayla karışıp tam buharlaşması için yeterli süre olduğu anlamına gelir. Tutuşma gecikmesi süresinin krank açısındaki karşılığına gecikme açısı denir. Bu açı krankın açısal hızıyla tutuşma gecikmesi süresinin çarpımına eşittir. Yakıt pompasına hareket veren krank mili vasıtasıyla pompanın püskürteceği yakıt miktarı gecikme açısıyla orantılı olarak değiştirilebilir.



Şekil 3.1. Bir dizel motorunun yanma ile değişen basınç-krank açısı değişimi [36].

Tutuşma gecikmesi yakıt kalitesi, basınç ve sıcaklık gibi değişkenlerden önemli ölçüde etkilenir. Basıncın ve sıcaklığın yüksek olması tutuşma gecikmesi süresini kısaltır. Püskürtülen yakıtın silindir duvarlarına kadar ulaşması duvarların çok sıcak olması durumunda TG süresini kısaltır. Tutuşma gecikmesi süresi içinde püskürtülen yakıt miktarı ise TG'yi etkilemez. Tutuşma gecikmesi aşamasında üç önemli özellik vardır. Bunlar;

1. Reaksiyon hızı nispeten küçüktür ve reaksiyon ürünleri ara ürünlerdir.
2. Tutuşma gecikmesi süresince yakıt silindire girmeye devam eder ve tutuşma anına kadar içerde birikir.
3. Pratikte oluşan basınç ve sıcaklık değişimleri fiziksel ve kimyasal olaylarda hesap edildiği gibi ihmal edilebilecek düzeydedir ve sıcaklık ile basınç değeri sıkıştırma sonunda hesaplandığı gibidir.

3.1.2. Ani Yanma Aşaması

Yakıtın silindir içinde birikmesi ve buharlaşması tutuşma gecikmesi süresinde meydana gelir. Bu sürede yakıt damlacıkları parçalara ayrılarak havayla karışır. Yanma başladığında yakıt oksijenle temas eder ve hızlı bir şekilde yanar. Yanma hızı silindir içindeki basınç artış hızını da belirler. Basıncın ani yükselme hızı hareketli motor parçaları üzerine ani yük

bindirip parçaların yorulmasına ve tahrip olmasına yol açar. Diğer bir olumsuz etkisi ise şiddetli sesler ve dizel vuruntusudur. Yanmanın ikinci aşamasındaki basınç artışı;

1. Yakıtın atomize olma derecesi ve enjeksiyon tasarımına bağlıdır.
2. Gecikme esnasında enjekte edilen yakıt miktarı, TG'nin uzunluğuna bağlıdır.
3. Yakıtın havayla ne derecede karıştığına bağlıdır. Tutuşma gecikmesinin uzun olması, yüksek hızlarda karışımın iyi olmasını sağlar.
4. Fazladan püskürtülen yakıt miktarına bağlıdır.

Çevrimin maksimum basıncını ikinci aşamadaki basınç yükselme miktarı belirler. Motor parçalarının yorulup tahrip olmaması için maksimum basınç sınırlı tutulmalıdır. Basıncın yükselme miktarı yakıt miktarıyla bağlantılıdır. Bu aşama tutuşma gecikmesi aşamasından daha kısadır. Yakıtın büyük kısmı da tutuşma gecikmesi süresinde püskürtülür. Bu nedenle basınç miktarını belirleyen de tutuşma gecikmesi süresinde püskürtülen yakıt miktarıdır.

Ani yanma aşamasında basınç artışı ve maksimum basınç değerleri TG şartlarına bağlıdır. Sonraki aşamaları da TG aşaması etkiler ve bu nedenle yanma olayını etkileyen en önemli parametredir. Bu sebeple kontrol edilmesi gerekir.

3.1.3. Kumandalı (Kontrollü) Yanma Aşaması

Maksimum basıncın olduğu anla yanmanın tamamlandığı an arasındaki süreyi kapsar. Ani yanmadan sonra püskürtülen yakıt, basınç ve sıcaklığın çok yüksek olmasından dolayı bulunduğu oksijenle tepkimeye girer ve yanar. Bu aşamada basınç eğrisi aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

1. Yakıt püskürtme hızına
2. Hava hareketine, yani türbülansa
3. Pistonun konumuna

Verimin yüksek olması için yanmanın ÜÖN' ya yakın bir yerde bitmiş olması gerekir. O nedenle bu aşamada oksijen yakıt oranının yüksek ve karışımın mükemmel olması

gerekir. Püskürtme karakteristiğinin kötü olması son aşamada yanmanın uzun sürmesine neden olur.

3.1.4. Art Yanma Aşaması

Kumandalı yanmadan sonra egzoz supabının açılmasına kadar geçen sürede bir art yanma aşaması da vardır. Bu aşamada yanma olayı bitmekte ve silindir içindeki hacmin artması sıcaklık ve basıncın azalması anlamına gelir. Ürün konsantrasyonu maksimum seviyededir. Verim açısından bu aşamanın kısa olması istenir.

3.2. Dizel Motorlarında Emisyonlar

Kirletici emisyonların en büyük nedeni motorda yanma olayı sonunda ortaya çıkan egzoz gazlarıdır. Yanma reaksiyonu sonunda HC, CO, CO₂, O₂, NO_x, SO_x ve partikül madde (is emisyonları) oluşmaktadır [81]. Eksoz emisyonlarının temelini çevre ve insan sağlığı açısından zararlı olan CO, NO_x, SO_x karbon parçacıkları, is ve yanmamış HC'lar oluşturmaktadır. Teorik olarak yanma reaksiyonunda hava fazlalık katsayısı (HFK =1) de yani 1 kg yakıt için ortalama 15 kg hava kullanılmaktadır. Yanma olayının kalitesi bu reaksiyonların seviyesini belirlemektedir. Dizel motorunda kaliteli bir yanma için en az 1,5-2 kat hava ile yanma gerçekleştirilmelidir. Gerçekte silindir içindeki hava miktarı teoriden 1,5-2 kat daha fazla olmasına rağmen yakıt damlacıkları etrafında yeterince hava bulunmadığı için eksik yanmaya, bunun sonucu olarak da isin (karbon partiküllerinin) oluşmasına neden olur. Dizel motorlarında çalışma şartları sıklıkla değişir ve bunun sonucunda hava/yakıt oranı da değişir. Başka bir deyişle dizel motorlarının bu şartlarda HC, NO_x, RCHO ve is gibi kirletici emisyonları artar. Bunların yanı sıra dizel yakıtında bulunan kükürt miktarı da SO_x oluşumuna neden olmaktadır. Kükürt oksijeni çok seven bir element olduğu için yanma odasında, sıcaklığın da etkisiyle reaksiyona girerek fazladan enerji tüketimine neden olur. Ayrıca asitli bir bileşik olan SO_x'leri oluşturur [82]. Dizel motorlarında oluşan ve çevreye zarar verme potansiyeli olan emisyonlar aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır. Ayrıca egzoz emisyonlarında bulunan CO₂, O₂ ve H₂O çevre için zararlı bileşikler olmadığı için burada bahsedilmemiştir.

3.2.1. Azot Oksit (NO_x) Emisyonları

Normal şartlarda yanma olayında havada bulunan azot gazı oksijenle reaksiyona girmez. Ancak silindir içinde sıcaklığın yüksek seviyelere çıkması beraberinde NO_x oluşumunu da tetiklemektedir. NO_x emisyonlarını belirleyen başka bir değişken ise hava/yakıt oranıdır. Yanma odasında NO_x oluşumunun nedenleri ön alev bölgesinde bulunan azot gazının oksidasyonu, alev bölgesi içinde NO oluşumu ve yakıtın yapısında bulunan azotun oluşturduğu bileşiklerdir. Sıkıştırma oranı yüksek olan ön yanma odalı dizel motorlarda yüksek sıcaklık ve basınç oluşur. Dizel motorlarında NO_x oluşumu benzin motorlarına nazaran daha yüksektir [83]. İçten yanmalı motorlarda silindir içi sıcaklık 1800 K üzerine çıkar ve bu da havadaki oksijen ile azotun birleşerek NO_x oluşmasına neden olur. Azot oksitlerin insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkisi, solunan havayla birlikte akciğerlere çekilen azotlu bileşiklerin nemle birleşerek nitrik asit oluşumuna sebebiyet vererek solunum yolları hastalıklarına yol açmasıdır. Azot oksit bileşikleri NO, NO₂, N₂O₂ gibi bileşiklerdir ve yanma sırasında oluşan NO_x bileşenleridir. Bu bileşik atmosfere salandıktan sonra NO₂'ye dönüşür [84].

3.2.2. İs (Duman) Emisyonları

Yanma sırasında CO₂ oluşumu için yeterli oksijen bulunmadığı durumlarda yakıtın zengin olduğu bölgelerde katı karbon parçacıkları oluşmaktadır. Bu egzoz dumanı ve kötü kokuya neden olmaktadır. İs emisyonları motor yüküne bağlı olarak değişmektedir. Motorun yükünü arttırdıkça is emisyonları da beraberinde artacaktır. Dizel motorunun çıkış gücünü arttırmak için fazladan püskürtülen yakıt eksik yanma oluşturacağı için is miktarı da beraberinde artacaktır [83]. Hava miktarı yetersiz olduğunda siyah duman yada is oluşur. İs oluşumuna oksijenin yetersiz bulunduğu ortamlarda yakıt moleküllerinin ısı parçalanmasına bakmak gerekir. Karbonca zengin moleküller hidrojen yapıdan ayrıldığında büyük moleküller birleşir (polimerizasyon) ve bu birleşmeler artarsa is zerrecikleri de artmaktadır (aglomerizasyon). Bu isler yeterli hava bulabilirse yanar [34].

3.2.3. Kükürt Oksit (SO_x) Emisyonları

Kükürt oksitlerin (SO_x) oluşum nedenleri dizel yakıtında bulunan kükürdün hava ile reaksiyona girmesidir. Bu bileşiklerin insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri çoktur.

Genellikle solunum yolları ve akciğer karaciğer rahatsızlıklarına yol açarlar. Ayrıca nemle birleşip sülfürik asit oluşumuna neden olarak çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir [84]. En önemli SO_x bileşiği SO_2 'dir. Egzozda ve atmosferde SO_3 'e dönüşmektedir. 3 ppm SO_2 değerinden fazlası keskin ve hoş olmayan bir koku yayar, gözleri ve solunum yollarını tahriş eder [85].

3.2.4. Karbonmonoksit (CO) Emisyonları

CO oluşumunun en önemli sebebi yanma odasında oksijenin eksik kalmasıdır. Yanma odasındaki oksijen yetersizliği, genel olarak silindir içine alınan havanın az olması ve yeterli hava alınsa bile yanma odasında oksijenin homojen dağılmaması nedenlerinden kaynaklanır. CO yoğunluğunun fazla olduğu durumlar ilk hareket ve zengin karışım durumlarıdır. Hava fazlalık katsayısı (HFK) bu emisyonun kuvvetli bir değişkenidir. Bu değişken yanmanın eksik ve enerji kaybının fazla olduğunu göstermesi bakımından önemlidir. Yani CO bir yakıttır ve yeterli oksijeni bulduğunda CO_2 'ye dönüşerek tam yanma sağlar [86].

3.2.5. Yanmamış Hidrokarbon (HC) Emisyonları

HC oluşumunun nedeni ise yetersiz oksijen ve yakıtın yeterli tutuşma sıcaklığına ulaşamamasıdır. Silindir içinde yanma odasının fotoğrafları çekildiğinde silindir duvarlarına yakın bölgelerde yanmanın hiç olmadığı gözlemlenmiştir. İşte HC oluşumun ana nedeni silindir duvarlarına yakın bölgelerde hidrokarbonların hiç yanmaksızın egzozdan dışarı salınmasıdır. HC'lar atmosfere atıldığında kötü koku yayarlar ve cildi tahriş etme gibi özellikleri vardır. CH_4 'ün dışındaki tüm hidrokarbonlar atmosferde bulunan gazlarla tepkimeye girerek bir sis oluştururlar. Yeni geliştirilen DP dizel motorlarında yakıtın iyi atomize olması için tasarlanan enjektörler yakıtın çıkış hızını arttırarak yakıt demetinin karşı cidara çarpmasına ve burada bir miktar yakıtın birikmesine yol açarlar. Bu sebepten ötürü küçük stroklu motorlar HC emisyonu yönünden kötü çalışmaktadır [87].

3.2.6. Dizel Motorlarında Egzoz Emisyon Standartları

Emisyon standartları egzozdan çevreye salınan kirletici emisyonların sınırlandırılması için oluşturulmuş şartlardır. Genellikle otomobil ve taşıma araçları için öngörülürler. Standartların uygulandığı emisyonlar NO_x, partikül madde (PM) ve duman, CO ve HC'lerdir. Su buharı ve CO₂ standartların kapsamı dışında bırakılmıştır. NO_x, PM, CO ve HC emisyonları otomobil, tren, traktör ve otobüs gibi araçlar için düzenlenmiştir. Hafif dizel araçlar (1305-1760 kg), ağır vasıta dizel motorları ve yolcu araçları için egzoz emisyon standartları Tablo 3.1, Tablo 3.2 ve Tablo 3.3'de verilmiştir [24].

Tablo 3.1. Hafif ticari araçlar (1305-1760 kg) için AB emisyon standartları (g/km)

Dizi	Tarih	CO	HC	NO _x	HC+NO _x	PM
Euro I	1994	5,17	-	-	1,4	0,19
Euro II	1998	1,25	-	-	1,0	0,12
Euro III	2001	0,8	0,29	0,65	0,72	0,07
Euro IV	2006	0,63	0,16	0,33	0,39	0,04
Euro V	2010	0,63	0,16	0,235	0,295	0,005
Euro VI	2015	0,63	0,16	0,105	0,195	0,005

Tablo 3.2. Ağır hizmet dizel motorları için AB emisyon standartları (g/km)

Dizi	Tarih	Test	CO	HC	NO _x	PM
Euro I	1992 < 85 kW	CE R-49	4,5	1,1	8,0	0,612
	1992 > 85 kW		4,5	1,1	8,0	0,36
Euro II	Ekim 1996		4,0	1,1	7,0	0,25
	Ekim 1998		4,0	1,1	7,0	0,15
Euro III	Ekim 1999	ESC&ELR	1,5	0,25	2,0	0,02
	Ekim 2000	ESC&ELR	2,1	0,66	5,0	0,10
Euro IV	Ekim 2005		1,5	0,46	3,5	0,02
Euro V	Ekim 2008		1,5	0,46	2,0	0,02
Euro VI	Aralık 2013		1,5	0,13	0,4	0,01

Tablo 3.3. Dizel yolcu araçları için AB emisyon standartları (g/km)

Dizi	Tarih	CO	HC+NO _x	NO _x	PM
Euro 1	Temmuz 1992	2,72(3,16)	0,97(1,13)	-	0,14 (0,18)
Euro 2, IDI	Ocak 1996	1,0	0,7	-	0,08
Euro 2, DI	Ocak 1996	1,0	0,9	-	0,10
Euro 3	Ocak 2000	0,64	0,56	0,0	0,05
Euro 4	Ocak 2005	0,50	0,30	0,25	0,025
Euro 5a	Eylül 2009	0,50	0,23	0,18	0,005
Euro 5b	Eylül 2011	0,50	0,23	0,18	0,005
Euro 6	Eylül 2014	0,50	0,17	0,08	0,005

3.2.7. Biyodizel Emisyonları

Yapılan birçok araştırmada biyodizel emisyonlarının CO, CO₂, SO_x, PM ve polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH) ve nitrik polisiklik aromatik hidrokarbon (nPAH) dizel yakıtına göre daha düşük seviyelerdedir. Ancak NO_x emisyonları bakımından bir miktar yüksek olduğu gözlemlenmiştir [88]. Çevresel açıdan biyodizel daha temiz bir yakıt türüdür. Bunun nedeni bitkisel yağlardan elde edilmesi ve doğada dizel yakıtına nazaran daha hızlı ve çabuk bozunmasıdır. Tablo 3.4’de biyodizel yakıtı, B20 dizel+biyodizel yakıt karışımının emisyonları yönünden karşılaştırılmıştır. NO_x ve HC dışındaki tüm emisyonlarda biyodizel daha düşük çıkmıştır.

Tablo 3.4. Biyodizel ve B20 yakıtlarının egzoz emisyonları yönünden karşılaştırılması[24].

Emisyonlar	B20	B100
	%	
Karbon Monoksit (CO)	-12	-48
Azot Oksit (NO _x)	±2	+10
Toplam Yanmamış Hidrokarbon (THC)	-20	-67

Tablo 3.4.'ün devamı

Partikül Maddeler (PM)	-12	-47
Sülfatlar	-20	-100
Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (PAH)	-13	-80
n-Polisiklik Aromatik Hidrokarbonlar (Nitratlı-PAH's)	-50	-90
Ozon (O ₃)	-10	-50
Hidroflorik Asit (HF)	-2,10	-15,51
Kükürt Oksitler (SO _x)	-1,61	-8,03
Metan	-0,51	-2,57
Hidroklorik Asit (HCl)	+2,71	+13,54

4. İÇTEN YANMALI MOTORLARDA MOTOR PERFORMANS PARAMETRELERİ VE DİNAMOMETRELER

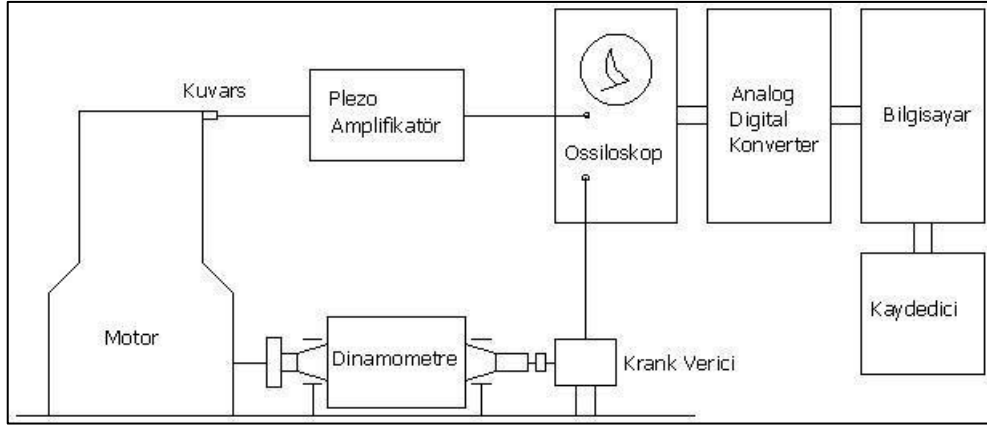
İçten yanmalı motorlarda motor performansını tanımlayan bir takım temel bağıntı ve parametrelerden yararlanır. Bu parametreler moment, efektif güç ve özgül yakıt tüketimidir. Efektif büyüklükler ise efektif güç, ortalama efektif basınç ve efektif verimdir. Motorun çıkış milinden alınan güce efektif güç, pistonlar üzerinde oluşan toplam güce indike güç denir. Efektif güç daima indike güçten küçük çıkar. Bunu nedeni motordaki sürtünme kayıplarıdır. Aşağıda, yukarıda sayılan parametreler ile ilgili kısaca bilgiler verilmiştir.

4.1. İndike Güç (P_i)

İçten yanmalı motorlarda silindir içinde meydana gelen yanma reaksiyonları sonucunda sıkışan gazın basınç ve sıcaklığı yükselir. Bu basınca bağlı olarak piston üzerine bir kuvvet etki eder ve pistonu hızla ÜÖN'dan AÖN'ya doğru iter. Pistonun bu hareketi silindirde bir iş oluşmasını sağlar. Silindir içinde oluşan bir çevrimdeki bu iş aynı zamanda motorun ürettiği indike güç anlamına gelir. Silindir içinde oluşan basınç ve hacim değişimi indikatörlerle ölçülür.

Mekanik, optik ve elektrikli tip olmak üzere üç türlü indikatör vardır. Bunlardan en çok kullanılanı elektrikli indikatörlerdir. Elektrikli indikatörlerde sistemin çalışması; silindir içinde oluşan basınç, kuvars kristali de denilen basınç sensörüyle elektrik sinyali olarak amplifikatöre oradan da ossiloskopa gönderilir. Diğer taraftan krank verici tarafından alınan hacim değişim sinyali de ossiloskopa gönderilir. Ossiloskop gelen bu elektrik sinyallerini yükselterek analog ya da dijital konvertöre göndermek suretiyle bilgisayar sistemi üzerinde indikatör diyagramının oluşturmasına olanak sağlar. Şekil 4.1'de elektrikli tip bir indikatör sisteminin şematik resmi görülmektedir.

Bilgisayar ortamında gerçek motor indikatör diyagramları yardımıyla içten yanmalı motorların karakteristikleri ile ilgili önemli bilgiler alınmaktadır. Ayrıca silindir içinde meydana gelen yanma olaylarının analizleri ve silindir içi basınç değişimleri, piston biyel mekanizmasına etki eden basınç kuvvetleri gibi değişkenlerle ilgili bilgiler alınarak değerlendirmeler yapılır.



Şekil 4.1. Elektrikli tip indikatör sistemi [89].

Düşük basınç ve yüksek basınç indikatörlerindeki hacim ölçeği \ddot{O}_{x1} ve \ddot{O}_{x2} (m^3/cm), basınç ölçeklerinden biri \ddot{O}_{y1} ve diğeri \ddot{O}_{y2} (N/cm^2) olsun. Çevrim başına net indike iş (W_i), Denklem 4.1'deki formül yardımıyla hesaplanır.

$$W_i = \ddot{O}_{x2} \cdot \ddot{O}_{y1} - \ddot{O}_{x1} \cdot \ddot{O}_{y2} \text{ (Nm ya da J)} \quad (4.1)$$

Böylece indike güç, n_c (çevrim/s) olmak üzere; Denklem 4.2'deki formüle göre motor indike gücü hesaplanır.

$$P_i = \frac{W_i \cdot n_c}{10^3} \text{ (kJ/kg ya da kW)} \quad (4.2)$$

Motorlarda sürtünmeleri yenmek için indike gücün %15-30 'u kullanılır. Yağlama sistemlerine rağmen sürtünmeler sıfıra indirilememektedir. Krank mili, muylularda ve yataklarda, piston ile segmanlarda ve diğer hareketli parçalardaki sürtünmeler gücün bir kısmını emmektedir. Sürtünmenin en fazla olduğu kısımlar segmanlarla silindir cidarları arasındadır ve sürtünme gücünün büyük bir kısmı (%75'i) burada harcanır. İndike güçten sürtünmelere harcanan güç çıkarılırsa efektif güç yani motor çıkış gücü bulunur. Efektif gücü P_e ile gösterirsek, Denklem 4.3'e göre efektif motor gücünü hesaplayabiliriz. Fakat burada sürtünmelere harcanan gücün bilinmesi gerekir.

$$P_e = P_i - P_m \text{ olarak da hesaplanabilir.} \quad (4.3)$$

P_m : Sürtünmelere harcanan güç (kW)

4.2. Efektif (Motor Çıkış) Gücü (P_e)

Bu güç motorun çıkış milinden alınan, diğer bir ifadeyle dinamometrede ölçülen güçtür. Faydalı güç ya da etkin güç olarak da adlandırılır. Efektif güç indike güçten %25 daha düşük çıkar. Motorun etkin gücünü hesaplamak için dinamometre denilen cihazlar kullanılır. Ancak dinamometreler aracılığıyla gücü direkt ölçmek mümkün değildir. Bunun yerine gücün hesaplanmasında kullanılan tork değeri, yani kuvvet ya da moment hesaplanır. Motorun çıkış milinden alınan döndürme kuvvetini ölçen aletlere dinamometre denir. Motorun etkin gücü üç tür dinamometre ile ölçülebilir. Bunlar;

1. Prony freni ile güç ölçümü
2. Elektrikli dinamometre ile güç ölçümü
3. Hidrolik (su) frenleme sistemi ile güç ölçümüdür.

4.2.1. Prony Freni ile Güç Ölçümü

İlk kullanılan ve basit bir çalışma sistemi olan dinamometre türüdür. Maksimum 100 BG'lik ve 1000 dev/d'da çalışan motorların güç ölçümünde kullanılmasına olanak sağlar. Sistem motor volanının etrafında bulunan fren şeridinin sürtünme katsayısı yüksek frenleme pabuçları vasıtasıyla volanı sıkmak suretiyle çalışır. Sistemde bulunan bir baskül vasıtasıyla frenleme gücü ölçülür.

4.2.2. Elektrikli Dinamometre ile Güç Ölçümü

Bu yöntemle en kolay şekilde efektif güç hesaplanabilir. Gücü ölçülecek motor dinamometreye bağlanır. Dinamometre döndüğünde yüklendikçe terazinin oluşturduğu kuvvet elektrik sinyaline dönüştürülerek dijital ya da analog olarak bilgisayar üzerinden tork ve güç değerlerine dönüştürülür.

4.2.3. Hidrolik (Su) Sistemi ile Efektif Güç Ölçümü

Bu dinamometre türü, elektrikli dinamometrenin çalışmasına benzeyen bir yapıda olmasına rağmen soğutma sistemi bakımından farklı gösterir. En kullanışlı dinamometre türüdür. Çok yüksek güçlerdeki motorların torkunu ölçmek için kullanılırlar. Sistem, mekanik kısmı statör, onun ortasında dönen bir rotor, rotorun statör tarafından sıkılması suretiyle oluşan kuvvetleri teraziye aktaran bir kuvvet kolu ve kuvvet kolunun ürettiği ağırlığı ölçen bir teraziden oluşur. Şekil 4.2’de bu sistemin ürettiği momentin ölçümünü gösteren şekil verilmiştir. Şekil incelendiğinde motoru döndüren momentin oluşturduğu kuvvet çiftleri ($f/2$) l uzaklığındaki moment kolunun teraziye bağlandığı yerden dengelenir ve terazide ağırlık olarak ölçülür. Bu rotorun bir devirde yaptığı iş miktarıdır. Tablo 4.1’de ise kuvvet koluna göre bazı güç formülleri verilmiştir. Denklem 4.4’de motor momentini, Denklem 4.5’de ise kuvvet kolunun yaptığı işin formülü yazılmıştır.

$$M_d = f \cdot r = F \cdot l \text{ (Nm)} \quad (4.4)$$

$$W_f = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot f = 2 \cdot \pi \cdot F \cdot l \left(\frac{\text{Nm}}{\text{devir}} \right) \quad (4.5)$$

Devir sayısı takometre ya da strobotak denilen aletlerle ölçülür. Devir sayısı n (devir/s) olarak alındığında motor efektif gücü Denklem 4.6’ya göre hesaplanır.

$$P_e = W_f \cdot n = 2\pi \cdot F \cdot l \cdot n \left(\frac{\text{Nm}}{\text{s}} \text{ veya } W \right) \quad (4.6)$$

Güç değeri (kW) olarak bulunmak istenirse, Denklem 4.7’deki formülden yararlanmak gerekir.

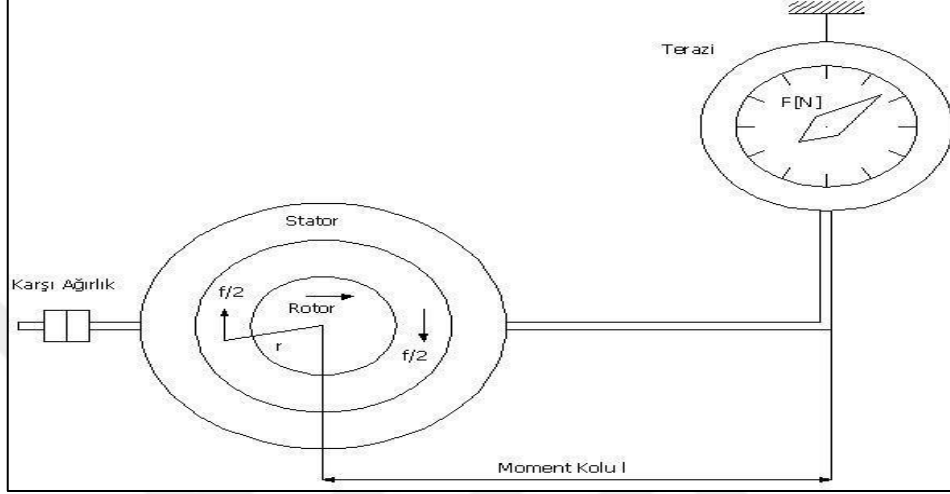
$$P_e = W_f \cdot n = \frac{2\pi F l n}{10^3} = \frac{F l n}{159,1549} \quad (4.7)$$

Bu motorun dinamometrede hesaplanan efektif gücüdür. Denklem 4.8’deki formül yardımıyla kuvvet kolu uzunluğu 1,592 m ise motor moment değeri hesaplanır.

$$M_d = F \cdot l = \frac{159,15 P_e}{n} \quad (4.8)$$

Eğer $l = 0,955$ m seçilirse efektif motor gücü Denlem 4.9'daki formüle göre hesaplanır.

$$P_e = \frac{M_d \cdot n}{9549,3} (\text{kW}) \quad (4.9)$$



Şekil 4.2. Dinamometredeki moment ölçüm mekanizmasının çalışması [89].

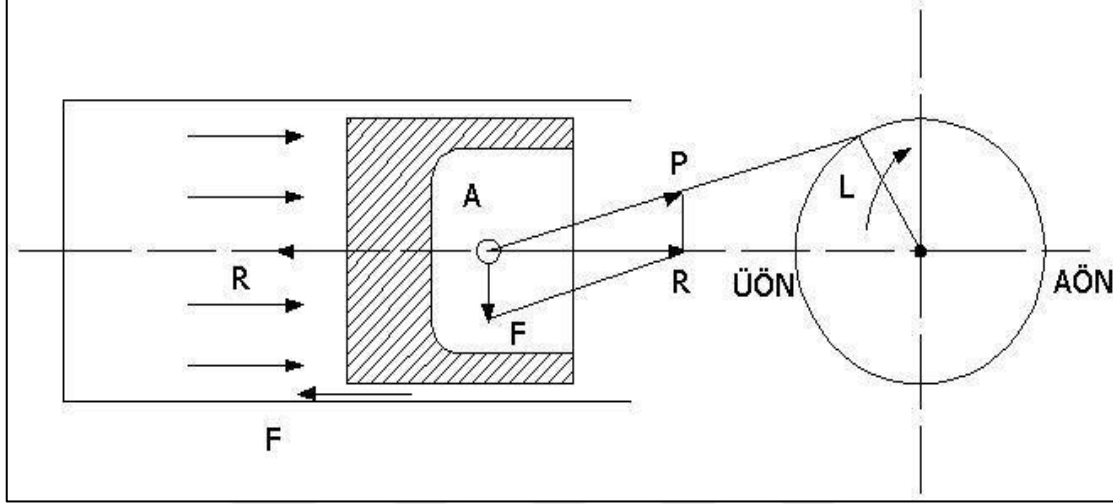
Tablo 4.1. Dinamometrede kuvvet kolu uzunluğuna göre güç ölçme formülleri [89].

Birimler	Güç formülleri	Moment kolu (m)	Formül
P_e (kW), n (d/s) F (N), M_d (Nm)	$P_e = \frac{F \cdot l \cdot n}{159,15}$	1,592	$P_e = \frac{F \cdot n}{10^2}$
P_e (kW), n (d/s) F (N), M_d (Nm)	$P_e = \frac{F \cdot l \cdot n}{9549,3}$	0,955	$P_e = \frac{F \cdot n}{100^2}$
P_e (kW), n (d/d) F (kp), M_d (kpm)	$P_e = \frac{F \cdot l \cdot n}{716,2}$	0,716	$P_e = \frac{F \cdot n}{10^3}$

4.3. Motorlarda Moment Oluşumu

Moment bir cisme etki eden kuvvetin o cismi döndürmeye zorlamasıdır. Kuvvet kolu ve kuvvetin şiddeti ile doğru orantılıdır. İçten yanmalı motorlarda silindir içinde yanmanın oluşmasıyla birlikte oluşan basıncın oluşturduğu kuvvet pistonu itmeye zorlar. Piston tepesine etki eden bu kuvvet (R) biyel koluna, oradan da biyel kolunun bağlı bulunduğu

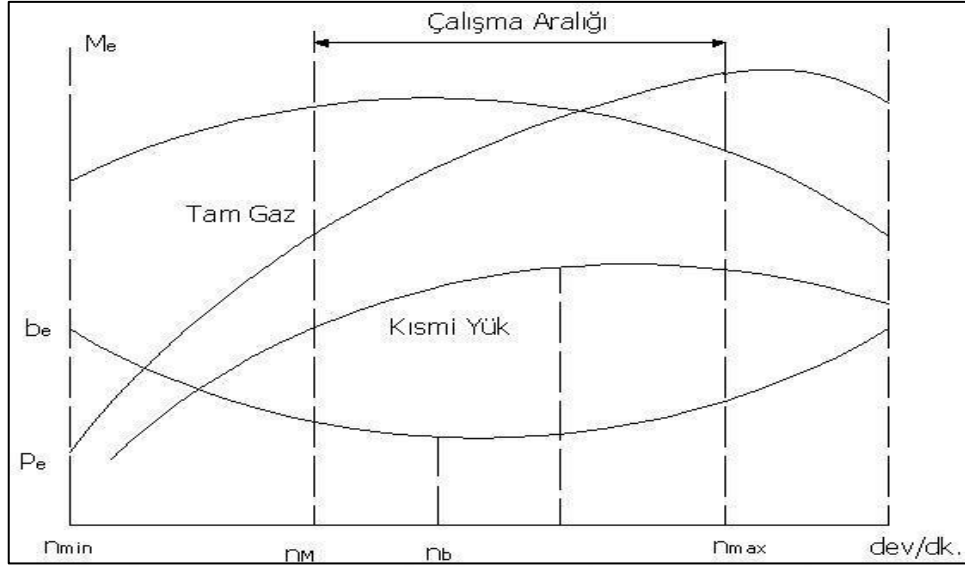
krank muylusuna etki ederek krank milini dönmeye zorlar. Piston tam üst ölü noktadayken piston başı-biyel-krank muylu merkezi aynı eksen üzerinde olduğu için moment değeri sıfırdır. Biyel kolu, piston tepesi ile krank mili eksenini arasında 0-180° arasındayken moment oluşmasına izin verir. Şekil 4.3’de bu kuvvetlerin dağılımı gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Piston-biyel-krank mekanizmasına etki eden kuvvetler [89].

Piston tepesine etki eden R basınç kuvveti A noktasının bulunduğu piston pimi noktasında P ve F bileşenlerine ayrılmıştır. Burada P kuvveti L krank muylu merkezi uzaklığına bağlı olarak moment oluşumunu belirleyen kuvvettir. F kuvveti ise silindir cidarlarındaki sürtünmeleri yenmek için kullanılan kuvvettir.

Dizel ve benzin motorlarının adeta kimliği gibi olan motor performans karakteristikleri motor momenti, motor efektif gücü ve yakıt sarfiyatı gibi değişkenlerden oluşur. Bu karakteristikler aynı zamanda motor araç üzerindeki hizmet performansları ile ilgili karakteristikleri de yansıtır. Normal şartlarda bu verileri almak için yukarıda bahsedilen dinamometreler kullanılmaktadır. Gaz kolu açıklığına bağlı olarak motor devir sayısının değişimiyle güç, moment ve yakıt sarfiyatı hesaplanır ve bilgisayar ortamında grafikleri çizilerek motor performansları ile ilgili değerlendirmeler yapılır. Şekil 4.4’de bir motorun devir değişimine bağlı olarak değişen moment, güç ve yakıt sarfiyatı eğrileri görülmektedir. Şekle bakıldığında motorun maksimum momentin, minimum özgül yakıt tüketiminin ve maksimum gücün elde edildiği devir aralığı çalışma aralığı kısmının bulunduğu n_{max} ile n_M devir aralığıdır. Bu devir aralıklarında motor optimum çalışma koşullarını sağlamaktadır.



Şekil 4.4. Bir motora ait motor performans karakteristikleri [89].

Moment değeri, devire bağlı olarak n_m noktasına kadar artmakta daha sonra azalmaktadır. Devrin artmasıyla birlikte emme zamanını kısalır ve silindire giren hava miktarı azalır. Bu da volumetrik verimin azalmasına neden olur. Düşük devirlerde ($n < n_m$ için) emme supabının açık kalma süresi uzayacağı için içeri emilen hava miktarının artması ile moment n_m noktasına kadar artış gösterir. Düşük devirlerde supap bindirmesi anında yanma odasında bir miktar egzoz gazı kalmasına neden olur. Bu ise içeri alınan yakıt hava karışımının azalmasına ve sonucunda volumetrik verimin düşmesine neden olur. Güç eğrisinde ise güç n_{max} devir sayısına kadar artmakta daha sonra ise azalmaktadır. Bunun nedeni içeri alınan kütle miktarı zamanının kısalması ve neticesinde volumetrik verimin düşmesidir. Ayrıca sürtünmelerin artması da başka bir nedendir.

4.4. Ortalama Efektif Basınç (P_{me})

Ortalama efektifbasınç, motorun gerçek çevrimine eşdeğer P_e gücünü vermesi için bir strok boyunca pistonu etkimesi gereken sabit basınca denir. Motor gücü, bir çevrimdeki W_e (Nm/çevrim) işi ve iş yapan devir sayısını $n_\ç$ (çevrim/s) cinsinden yazılırsa; efektif silindir basıncı Denklem 4.10'daki gibi tek silindirden alınan basınç miktarını göstermektedir.

$$P_e = W_e \cdot n_\ç \quad (W) \quad (4.10)$$

Toplam silindir hacmi Denklem 4.11'deki formül yardımıyla hesaplanır.

$$V_H = Z \cdot V_h \quad (4.11)$$

Tüm silindirlere elde edilen ortalama efektif basınç ise Denklem 4.12'deki formül yardımıyla hesaplanır.

$$P_{me} = \frac{W_e}{V_H} = \frac{P_e}{V_H \cdot i \cdot n_\zeta} \left(\frac{N}{m^2} \right) \quad (4.12)$$

$i=1$ (iki zamanlı motorlarda), $i=1/2$ (dört zamanlı motorlarda). Birimi (kg/cm^2 veya N/m^2) olarak alınır. O zaman indike iş Denklem 4.13'deki formül aracılığıyla hesaplanır.

$$P_i = W_i \cdot n_\zeta (W) \quad (4.13)$$

Denklem 4.14'de ise ortalama indike basınç formülü verilmiştir.

$$P_{mi} = \frac{W_i}{V_H} = \frac{P_i}{V_H \cdot n_c \cdot i} \left(\frac{N}{m^2} \right) \quad (4.14)$$

4.5. İndike Yakıt Tüketimi (b_i)

İçten yanmalı motorlarda silindir içinde gerçekleşen yanma sonunda motorun tükettiği gerçek yakıt miktarı denklem 4.15'deki formül yardımıyla hesaplanır.

$$b_i = \frac{3600 \cdot \Delta V \cdot \rho_y}{P_i \cdot \Delta t} = \frac{3600 m_y}{P_i} \quad (g/kWh) \quad (4.15)$$

Burada ΔV (m^3), ρ_y ($\frac{g}{cm^3}$), Δt (s), P_i (kW) olarak alınır.

4.6. Efektif Yakıt Tüketimi (b_e)

Laboratuar şartlarında bir motorun yakıt tüketimi, motorun Δt zamanda tükettiği yakıt hacmi ΔV olsun. Yakıtın yoğunluğu ρ_y ise özgül yakıt tüketimi hacimsel olarak Denklem 4.16'daki formül yardımıyla hesaplanır.

$$b_e = \frac{3600 \cdot \rho_y \cdot \Delta V}{P_e \cdot \Delta t} \left(\frac{g}{kWh} \right) \quad (4.16)$$

Motor gücü P_e (kW) olarak alınır. Kütleli yakıt debisi m_y (gr/s) cinsinden Denklem 4.17'deki formül yardımıyla hesaplanır.

$$b_e = \frac{3600 \cdot m_y}{P_e} \left(\frac{g}{kWh} \right) \quad (4.17)$$

İster hacimsel ister kütleli ölçüm yapılsın, hata oranını azaltmak için ΔV ve Δm değerlerini mümkün olduğunca yüksek tutmak gerekir.

4.7. Efektif Verim (Isıl Verim) (η_e)

Motor milinden alınan toplam işin verilen toplam enerjiye oranı olarak tarif edilir. İş veya güç oranları şeklinde yazılırsa, Denklem 4.18 efektif motor verimi hesabında kullanılır.

$$\eta_e = \frac{P_e}{m_y \cdot H_u} \quad (4.18)$$

4.8. İndike Verim (η_i)

İndikatör diyagramında bulunan işin verilen toplam enerjiye oranı şeklinde ifade edilir. İş veya güç oranları cinsinden indike verim Denklem 4.19'deki formül yardımıyla hesaplanır.

$$\eta_i = \frac{W_i}{Q} = \frac{P_i}{m_y.H_u} = \frac{3,6.10^6}{b_i.H_u} \quad (4.19)$$

4.9. Mekanik Verim (η_m)

Mekanik verim, silindirdeki sürtünme ve pompalama kayıplarını ihtiva eden bir verim olduğuna göre efektif büyüklükler arasında tanımlanıyor anlamına gelir. O halde mekanik verim Denklem 4.20'deki formül yardımıyla hesaplanır.

$$\eta_m = \frac{W_e}{W_i} = \frac{P_e}{P_i} = \frac{b_e}{b_i} = \frac{\mu_e}{\mu_i} \quad (4.20)$$

5. MATERYAL ve METOT

Bu bölümde ilk aşamada piyasadan temin edilen kanola yağından transesterifikasyon yöntemiyle basit bir biyodizel reaktöründe biyodizel (kanola yağı metil esteri) üretiminin nasıl gerçekleştirildiği, biyodizel üretiminde kullanılan malzeme ve materyaller ile ilgili bilgi verilmiştir. Daha sonra üretilen kanola yağı metil esterine %5, %10 ve %15 oranlarında etanol katılması suretiyle biyodizel-etanol (BDE5, BDE10 ve BDE15) harmanları ile B100 yakıt numuneleri oluşturulmuştur. Bu numunelerin yakıt özelliklerinin tespit edilmesi için İzmir’de bulunan Ege Üniversitesi Kimya Bölümü EGEPAL (Ege Üniversitesi Petrol Analiz Laboratuvarı) bölümüne gönderilmiştir.

İkinci aşamada, yakıt özellikleri tespit edilen biyodizel-etanol harmanları (B100, BDE5, BDE10 ve BDE15) ile standart dizel yakıtı (D2) yakıtlarının dört silindirli, common rail enjeksiyon sistemli ve su soğutmalı bir dizel motorunda motor performans ve egzoz emisyon parametrelerinin incelenmesi için Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde bulunan motor test laboratuvarında deney düzeneği oluşturulmuştur. Deney düzeneğinde bulunan materyaller ve deneylerin nasıl gerçekleştirildiği ile ilgili bilgiler bu bölümde aktarılmaya çalışılmıştır. Ayrıca değerlendirme kısmında değinilecek olan motor efektif gücü, efektif özgül yakıt tüketimi ve efektif motor momenti, egzoz emisyonlarının (CO₂, CO, HC, O₂ ve PM) nasıl ölçüldüğü bu bölümde anlatılmıştır.

5.1. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Materyaller

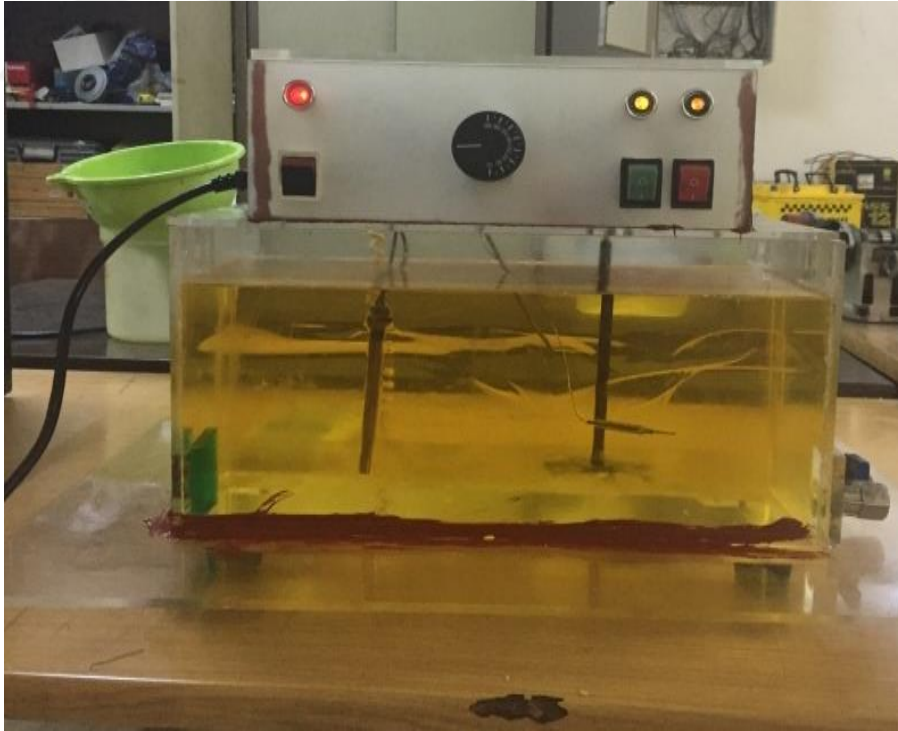
Biyodizel üretiminde kullanılan malzemeler reaktör ünitesi, hassas terazi, dijital termometre, kanola yağı, metanol ve katalizör olarak sodyum hidroksitden (NaOH) oluşmaktadır. Ayrıca yağ ve alkol oranlarını ölçmek amacıyla bazı yardımcı materyaller kullanılmıştır. Aşağıda, kullanılan bu malzemelerin özellikleri ile ilgili bilgiler verilmeye çalışılmıştır.

5.1.1. Biyodizel Reaktör Ünitesi

Kanola yağından transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretmek için ilk olarak 20 dm³ hacminde, şeffaf plastik malzemedен, 10 mm kalınlığında ve ısıya dayanıklı bir

reaktör tasarlanmıştır. Reaktör elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Reaktöre karıştırma işlemi için küçük çapta (yaklaşık 800 d/d sabit hızla) çalışan bir elektrik motoru ve bu motorun çıkış miline bir pervane bağlanmıştır. Isıtma işlemi için reaktör tankına alt seviyeye yakın bir yerden 100 wattlık bir rezistans monte edilmiştir. Ayrıca doldurma ve boşaltma işlemleri için reaktör tankının üst tarafında bir doldurma kapağı, boşaltma işlemi için reaktörün yan tarafında bir boşaltma vanası monte edilmiştir. Reaktörün üst kapağı dış ortamla irtibatın kesilmesi için vidalama yöntemiyle kapatılabilmektedir.

Reaktörün sıcaklık ayarı için otomatik olarak devreyi açıp kapatan ve sıcaklığa duyarlı olan, devreyi belirli bir sıcaklık derecesine ulaşınca sıcaklık artışını engelleyen bir termistör monte edilmiştir. Karıştırma, ısıtma ve sıcaklık ayarlarını eşzamanlı olarak devreye sokan bir elektrik panosu açma-kapama anahtarlarıyla devre oluşturularak biyodizel reaktörünün üstüne yerleştirilmiştir. Şekil 5.1’de biyodizel üretiminin gerçekleştirildiği reaktör tankı ve devrelerin kumanda edildiği elektrik panosu görülmektedir.



Şekil 5.1. Biyodizel üretim tankı ve elektrik panosu

5.1.2. Dijital Termometre

Biyodizel üretilirken reaksiyon sıcaklığını kontrol etmek amacıyla %0,1 hassasiyetinde, termokupullu Digi-Sense J/K/T marka bir dijital termometre kullanılmıştır. Şekil 5.2’de biyodizel üretimi sırasında kullanılan dijital termometre görülmektedir.



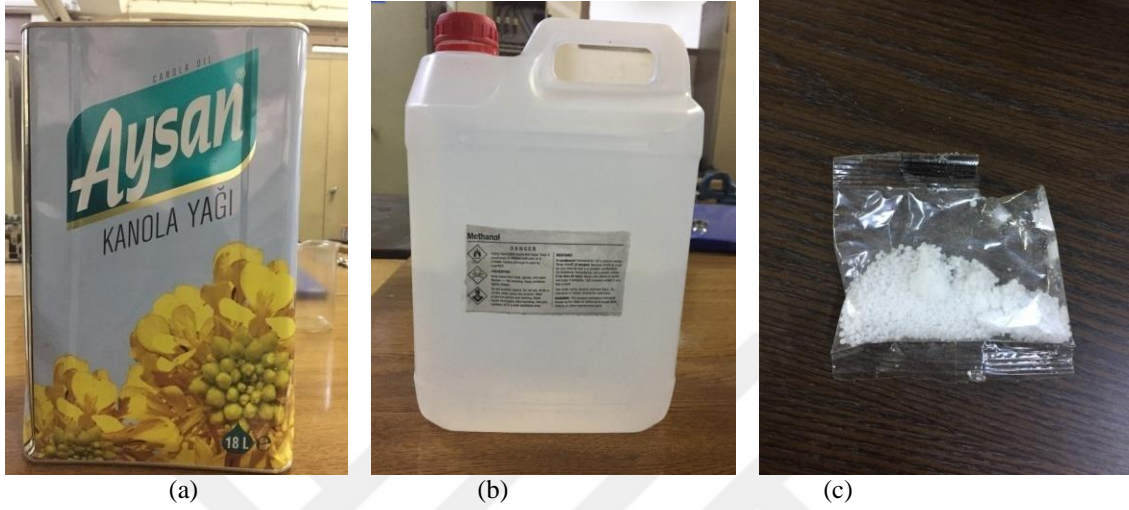
Şekil 5.2. Dijital termometre

5.1.3. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Kanola Yağı, Metil Alkol ve Sodyum Hidroksit (NaOH)

Biyodizel üretimi için Yiğit Gıda Mad. Paz. San. Tic. Ltd. Şti isimli firmadan rafine edilmiş 18 lt kanola yağı temin edilmiştir. İzmir’de bulunan Ceya isimli bir firmadan 5 lt metil alkol (%99 saflıkta) satın alınmıştır. Sodyum hidroksit (NaOH), diğer adıyla kostik %99’luk saflıkta marketlerde lavabo açıcı adıyla satılmaktadır. Bu madde marketten temin edilmiştir. Şekil 5.3 a, b, c’de kanola yağı, metanol ve sodyum hidroksit görülmektedir.

Biyodizel üretimi için kullanılan kanola yağı, yağ içinde bulunan serbest yağ asit değerleri düşük olduğu için rafine yağından seçilmiştir. Biyodizel içinde bulunan serbest yağ asitlerinin fazla olması kimyasal reaksiyon sırasında ester verimini düşürerek sabun oluşmasına neden olmakta, bu da yakıt özellikleri açısından istenmeyen bir durum oluşmasına zemin hazırlar. Yine transesterifikasyon reaksiyonlarında seçilen alkolün önemi büyüktür. Yapılan çalışmalar göstermektedir ki; metanol gibi kısa zincirli bir alkolün seçilmesi ester verimini artırmaktadır. NaOH gibi bir bazik katalizörün seçilme

nedeni ise toprak alkali metallerin oluşturduğu bileşiklerin bazik yapıda olması nedeniyle hem reaksiyon sırasında yağın içindeki asidik ortamını nötrleştirmek hem de reaksiyon hızını arttırarak reaksiyon süresini kısaltmaktır.



Şekil 5.3. Transesterifikasyon işleminde kullanılan esas bileşenler; (a) kanola yağı, (b) metanol, (c) NaOH

5.1.4. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Yardımcı Materyaller

Biyodizel üretilirken doldurma hunisi, hassas hacim ölçen dereceli ölçekler, üretilen biyodizelin gliserinden ayrıştırılması için ayırma hunisi yerine plastik bidonlar kullanılmıştır. Ayrıca kimyasallardan zarar görmemek için gözlük ve eldiven kullanılmıştır.

5.2. Motor Performans Parametreleri ve Egzoz Emisyon Ölçümünde Kullanılan Materyaller

Motor performans parametrelerini ölçmek için dört silindirli bir dizel motor, dizel motorunun tahrik ettiği bir hidrolik (su ile çalışan) dinamometre, dinamometre ve motordan verileri alan sensörler, sensörlerden aldığı verileri toplayıp bilgisayara aktaran bir veri toplama ünitesi ve bu verileri kaydeden bilgisayar ünitesi, egzoz emisyon değerlerini ölçmek için bir egzoz emisyon cihazı ile duman koyuluk cihazı ve yakıt tüketimini ölçmek için hassas terazi, kronometre ve basit bir yakıt deposu bu çalışmada

kullanılmıştır. Aşağıda, başlıklar halinde kullanılan bu materyallerin özelliklerinden bahsedilmiştir.

5.2.1. Deney Motoru

Üretilen kanola yağı metil esteri (B100) ile etanol karışımlarının (BDE5, BDE10, BDE15) ve standart dizel yakıtının yanma sonu oluşan egzoz emisyonları, motor efektif gücü, motor efektif momentini ve özgül yakıt tüketimi gibi değişkenlerin nasıl etkilendiğini incelemek için dört silindirli, dört zamanlı, common rail enjeksiyon sistemli, turboşarjlı ve su soğutmalı, Renault K9k 700 marka bir dizel motoru kullanılmıştır. Tablo 5.1’ de bu motorun teknik özelliklerine değinilmiştir. Şekil 5.4’ de ise motorun resmi görülmektedir.

Tablo 5.1. Deney motoru teknik özellikleri

Motorun markası ve modeli	Renault K9k 700
Silindir sayısı	4
Silindir çapı	76 mm
Strok	80,5 mm
Sıkıştırma oranı	18,25/1
Supap sayısı	8 supaplı
Soğutma sistemi	Su soğutmalı
Maksimum motor devri	4000 dev/d
Maksimum motor momentini	160 Nm (2000 d/d’da)
Maksimum motor gücü	48 kW (4000 d/d’da)



Şekil 5.4. Deney motoru

Bu deney motorundan istenilen verimlerin alınabilmesi için motor tamamen sökülerek piston, segman, biyel yatağı, üst kapak contası, sızdırmazlığı sağlamak amacıyla karter contası, külbütör contası ve ön kapak contası gibi parçalar değiştirilmiştir. Ayrıca motor yağı yenilenmiştir. Motor çıkış milinin dinamometre ile bağlantısını sağlayan şaftdaki boşluklar tamamen giderilerek emniyetli bir çalışma ortamı sağlanmıştır. Ayrıca motor senteye getirilerek supap ayarı ve yakıt ayarı gibi ayarları da yapılmıştır.

5.2.2. Hidrolik Dinamometre

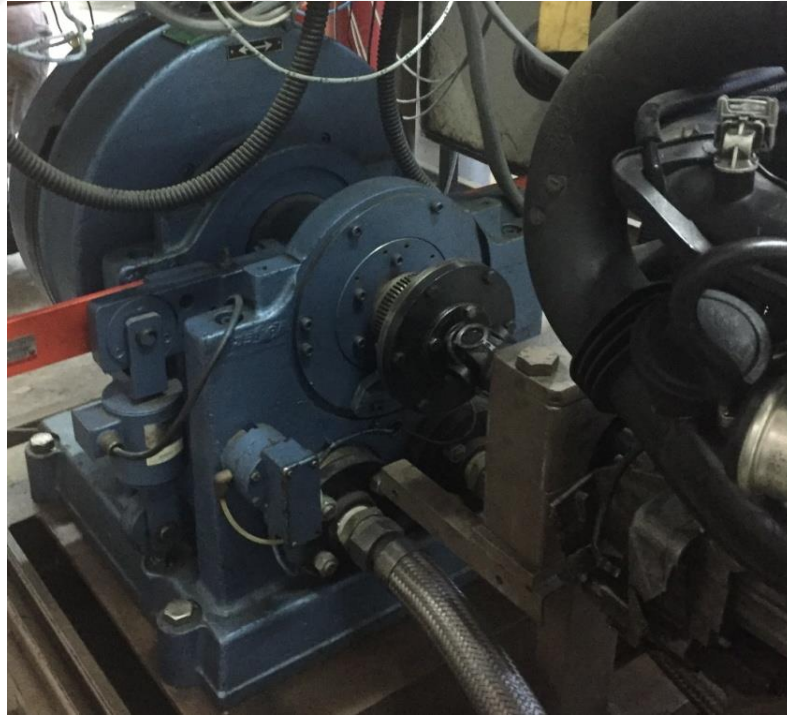
Test motorunun tahrik ettiği hidrolik dinamometre, 4. Bölümde ifade edildiği gibi yüksek tork ve gücün üretildiği motorlarda kullanılabilen, Eddy Current marka, yüksek tork testleri için tasarlanmış hidrolik bir dinamometredir. Bu dinamometre 8000 d/d'ya kadar maksimum 475 Nm yükleme yapılabilmesine olanak vermektedir. Dinamometre üzerinden alınan döndürme momenti verileri elektrik sinyallerine dönüştürülerek bilgisayar ortamına aktarılmakta ve bilgisayarda bulunan Mototest adında bir program vasıtasıyla bu değerler kaydedilmektedir.

Motorla dinamometrenin irtibatı, motor çıkış mili ile dinamometre arasına bağlanan bir şaft vasıtasıyla sağlanmaktadır. Volan dişleri vasıtasıyla devir sayısı ölçülmektedir.

Dinamometrenin ve motorun soğutulması, şehir şebeke suyuna bağlı bir sistem vasıtasıyla sağlanmaktadır. Şekil 5.5’de deneylerde kullanılan hidrolik dinamometrenin resmi görülmektedir. Tablo 5.2’de ise dinamometreye ait teknik özellikler bulunmaktadır.

Tablo 5.2. Motor test dinamometresinin teknik özellikleri

Dinamometre markası ve modeli	Eddy Current
Motora bağlantı şekli	Şaftla
Dinamometre türü	Su soğutmalı
Maksimum yüklenme miktarı	8000 d/d’ ya kadar 475 Nm
Bağlantı yapılabilen motor türleri	Çok silindirli benzinli ve dizel motorlar
Maksimum güç	160 Kw
Yüklenme biçimi	Bilgisayar üzerinden



Şekil 5.5. Hidrolik dinamometre

5.2.3. Egzoz Emisyon ve Duman Koyuluğu Ölçüm Cihazı

Deneylerde egzoz emisyonlarını ölçmek amacıyla Bosch BEA 460 marka bir egzoz emisyon ve duman koyuluğu ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihaz NO_x , CO, CO_2 , HC, partikül madde (PM) ve is emisyonlarını ölçebilmektedir. Emisyon cihazı ile bilgisayar arasındaki irtibat blue-tooth ile sağlanmaktadır. Egzoz emisyon cihazının oksijen sensörünün takılması ve kalibrasyonu Alfa Kalibrasyon Elektronik isimli bir firma tarafından yapılmıştır. Şekil 5.6'da deneylerde kullanılan egzoz emisyon cihazı, Tablo 5.3'de ise cihaza ait teknik özellikler gösterilmiştir.

Tablo 5.3. Bosch BEA 460 marka cihazın teknik özellikleri

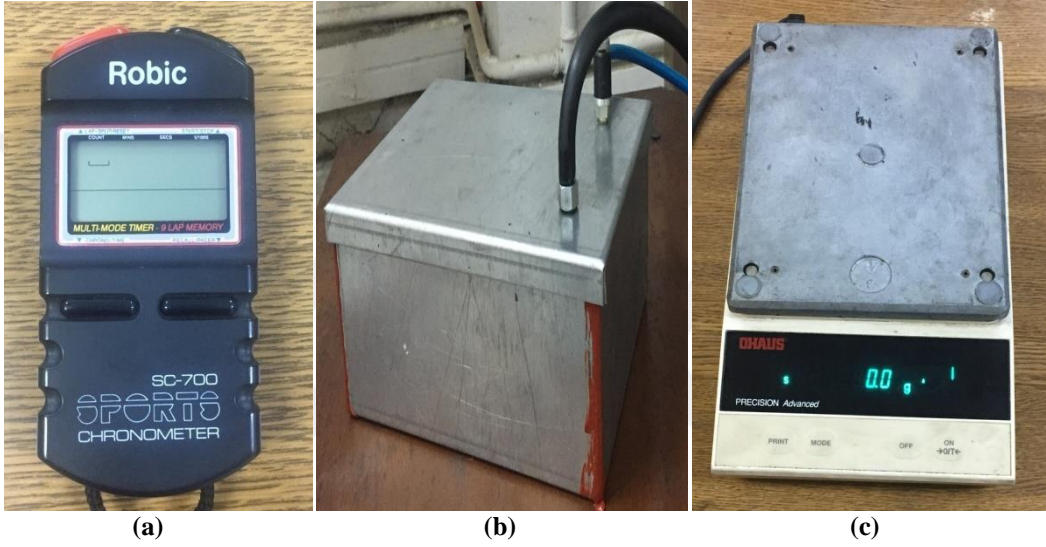
Emisyon	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
Karbondiyoksit (CO_2)	%0-18 hacimsel	%0,01 hac.
Hidrokarbon (HC)	0-9999 ppm	1 ppm
Oksijen (O_2)	%0-22 hacimsel	%0,01 hac.
Azot oksit (NO_x)	0-5000 ppm	1 ppm
Hava fazlalık katsayısı (HFK)	0,5-1,8	0,001
İs	0-10 m^{-1}	0,01 m^{-1}



Şekil 5.6. Bosch BEA 460 marka egzoz emisyon ve duman koyuluk cihazı

5.2.4. Hassas Terazi, Kronometre ve Yakıt Ölçüm Deposu

Özgül yakıt tüketimini kütsel olarak hesaplayabilmek amacıyla, Ohaus Precision Advanced marka, %0.1 hassasiyetinde bir terazi, zamanı ölçmek amacıyla Robic SC-700 marka bir kronometre ve yakıtın terazi üzerine konulması amacıyla sanayide, 2 mm'lik galvanizli sacdan, 5 dm³ hacminde basit bir yakıt deposu imal ettirilerek kullanılmıştır. Şekil 5.7'de hassas terazi, yakıt deposu ve kronometre görülmektedir.

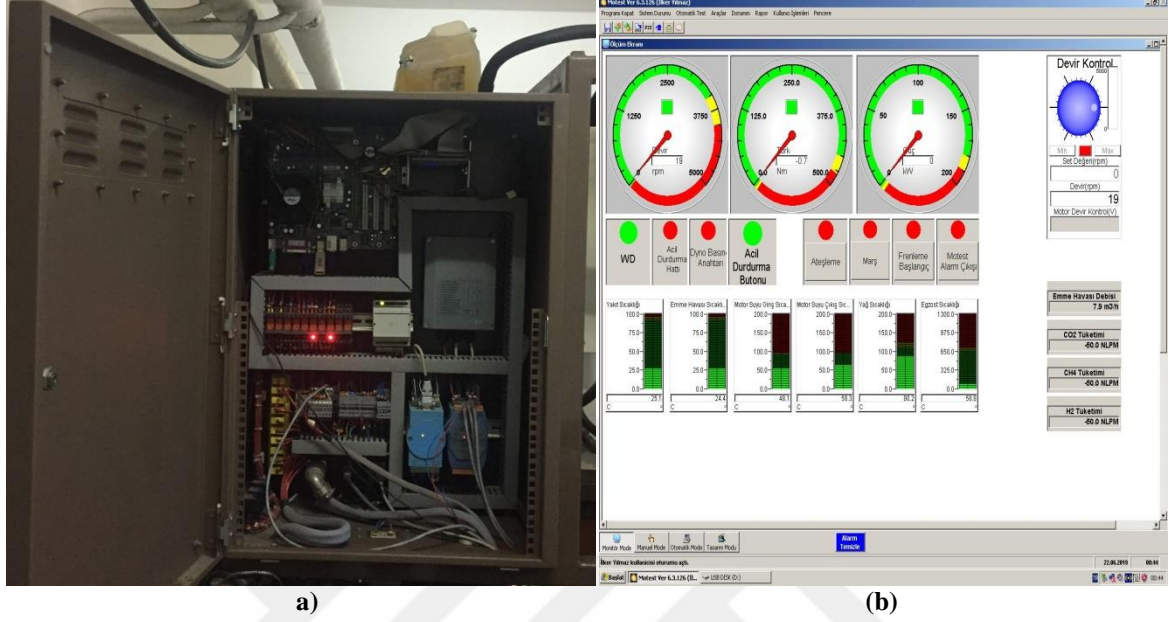


Şekil 5.7. Yakıt tüketimi ölçümünde kullanılan materyaller; (a) kronometre, (b) yakıt deposu, (c) hassas terazi

5.2.5. Veri Toplama ve Bilgisayar Ünitesi

Dinamometre ve motorun bağlı bulunduğu motor test standının eski versiyonunda klasik ölçüm yapılması ve ölçülen değerlerin manuel olarak kaydedilmesi, bazı ölçüm hatalarına ve kayıt yapma zorluklarına neden olmaktadır. Bu nedenle yağ sıcaklığı, egzoz gazı basınç ve sıcaklığı, emme havası sıcaklığı, yakıt sıcaklığı, motor devri, motor efektif gücü ve motor döndürme momenti gibi değişkenlerin ölçülmesine imkan veren sensörler, motorda ve dinamometrede ilgili yerlere bağlanarak, bu verileri elektrik sinyalleri olarak veri toplama ünitesine oradan da bilgisayara aktaran yeni bir sistem oluşturulmuştur. Şekil 5.8'de bu sistemin resimleri görülmektedir. Bilgisayar üzerinde ise Mototest adında bir program vasıtasıyla veri toplama ünitesinden gelen motor döndürme momenti, efektif motor gücü her yarım saniyede otomatik olarak kaydedilmektedir. Ayrıca dinamometrenin

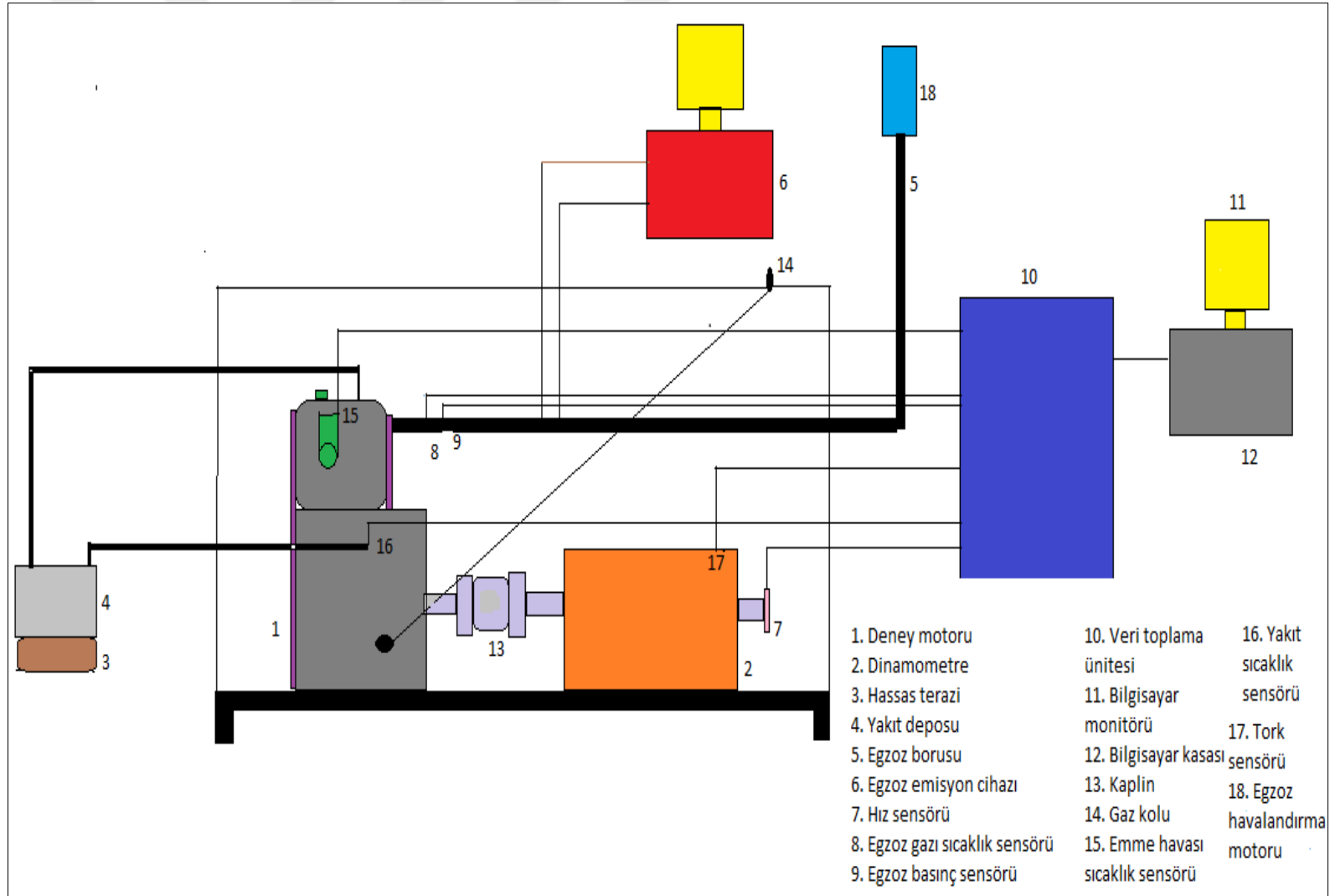
yüklenmesi, motor devrinin ayarlanması, motora ilk hareket verme gibi işlemler, bu program üzerinden kumanda edilebilmektedir.



Şekil 5.8. Motor verilerini kayıt materyalleri (a) Veri toplama ünitesi, (b) bilgisayar ünitesindeki Mototest programı

5.3. Deney Düzeneği

Yukarıda özelliklerinden bahsedilen materyaller motor test standında ilgili yerlerine bağlanarak deney düzeneği oluşturulmuştur. Şekil 5.9'da deney düzeneği şematik resmi görülmektedir. Şekil 5.10'da ise deney düzeneği resmi görülmektedir.



Şekil 5.9. Deneş düzeneği şematik resmi



Şekil 5.10. Deney düzeneği resmi

5.4. Kanola Yağından Biyodizel Üretimi

Bu tez çalışmasının ilk adımını oluşturan kanola yağından transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretim işlemleri, aşağıda basamaklar halinde açıklanmaya çalışılmıştır. Biyodizel üretim işlemleri Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde bulunan motor test laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

1. 5.1.3’de bahsedilen piyasadan temin edilmiş olan kanola yağının 10 dm^3 ’ü huni yardımıyla biyodizel reaktörüne dolduruldu. Yağda bulunması muhtemel suyun uzaklaştırılması için elektrik panosunda bulunan ısıya duyarlı termostat $110 \text{ }^\circ\text{C}$ ’ye ayarlanarak yağ ısıtılmaya başlandı ve yarım saat boyunca bu sıcaklıkta karıştırıldı. Bu arada sıcaklık kontrolü dijital termometre yardımıyla yapıldı.
2. Yarım saatlik süre sonunda termostatın derecesi düşürülerek yağ sıcaklığı $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ’de sabit tutuldu. Reaktörde bulunan yağın %20’si (2000 ml) kadar metanol ve ağırlıkça %0,5’i kadar NaOH (kostik maddesi) cam bir şişeye doldurularak NaOH

alkolün içinde tamamen çözülünceye kadar çalkalamak suretiyle karıştırılıp metoksit çözeltisi elde edildi. Şekil 5.11 a'da metoksit çözeltisi görülmektedir.

3. Elde edilen metoksit çözeltisi huni vasıtasıyla reaksiyon işlemi için reaktörde bulunan yağın üzerine azar azar döküldü. Bu arada karıştırma işlemi sabit bir hızda (yaklaşık 800 d/d) devam ettirilmektedir. Metoksitin tamamı reaktöre doldurulduktan sonra karışımın sıcaklığı 60 °C'ye ayarlanarak yaklaşık olarak 2 saatlik bir süreyle karıştırılma işlemi sürdürüldü. Şekil 5.11b'de reaksiyon işleminin şekli görülmektedir.
4. Reaksiyon işlemi tamamlandıktan sonra reaktörün alt tarafında bulunan boşaltma vanasından karışım 5 dm³'lük bidonlara alındı.
5. Bidonlara doldurulan karışım 1 günlük dinlendirme işleminin ardından alt fazda gliserin, üst fazda biyodizel oluşacak şekilde fazlarına ayrıştırıldı. Daha sonra ayırma işlemi için başka 5 dm³'lük pet şişeler kullanıldı. Bu işlemler dikkatlice ve göz kararıyla yavaş yavaş altta bulunan gliserin üst fazdaki biyodizelin içine karışmayacak şekilde yapıldı. Şekil 5.11c'de karışımın fazlarına ayrılmış hali, 5.11d'de gliserin görülmektedir.
6. Biyodizel elde edildikten sonra içinde kalması muhtemel olan katalizör madde kalıntıları, su ve alkolün biyodizelden uzaklaştırılması için yıkama ve kurutma işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Fakat bu işlem sonucunda biyodizelin sabuna dönüşme ihtimali de bulunmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada yıkama işlemi yapılmamıştır. Bunun yerine biyodizel tekrar reaktörün içine doldurularak tekrardan 110 °C'ye kadar ısıtılmış ve yaklaşık yarım saat boyunca kurutma işlemine tabi tutulmuştur.
7. Dört silindri dizel motorunda 4'er dm³'lük dört numune oluşturacak şekilde toplamda 16 dm³ biyodizelin yeterli olacağı düşünüldüğü için yağın tamamı kullanılmamıştır. Elde edilen biyodizel etil alkol (%99,5 saflıkta) ile %5, %10 ve %15 oranlarında harmanlar yapılacak şekilde 5 dm³'lük boş su bidonlarına konulmuştur. Sonrasında etil alkol dereceli hacim ölçerlerle ölçülerek %5, %10 ve %15 oranlarında B100 (saf biyodizel) ile harmanlanmış ve test numuneleri olan BDE5, BDE10, BDE15 ve B100 yakıtları elde edilmiştir. Şekil 5.11e'de yakıt numuneleri görülmektedir.
8. Son olarak elde edilen bu numunelerden örnekler alınarak Ege Üniversitesi Kimya Bölümü EGEPAL laboratuvarında yakıt özellikleri tespit ettirilmiştir.



(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

Şekil 5.11. Transesterifikasyon işlemi ve elde edilen ürünler; (a) metoksit, (b) reaksiyon remi, (c) reaksiyon sonu dinlendirme işlemi, (d) gliserin, (e) yakıt numuneleri

5.5. Motor Performans Testleri ve Egzoz Emisyon Ölçümlerinin Yapılması

Bu tez çalışmasının ikinci safhasını oluşturan BDE5, BDE10, BDE15, B100 ve standart dizel yakıt numuneleri, motor performans parametreleri ve egzoz emisyon ölçümlerinin gerçekleştirilmesi için Şekil 5.9’da bahsedilen deney düzeneğinde test edilerek test verileri alınmıştır. Her numune için deneyler iki kez tekrarlanmıştır ve bu iki deney verilerinin ortalaması alınarak bilgisayar ortamında grafikleri oluşturulmuş ve bu grafikler bulgular ve tartışma kısmında yorumlanmıştır.

Deneylere başlamadan önce motorun kararlı çalışması için yağ sıcaklığının 65 °C’ye kadar çıkması beklenmiştir. Her deney bittikten sonra motor belirli bir süre dinlenmeye bırakılmış ve her numune için bu işlemler tekrarlanmıştır.

Motor, Mototest programında bulunan devir değeri kısmından her deneyde sabit 1750 d/d’ya ayarlanmış ve ayrıca gaz kelebek açıklığını hassas olarak ölçen bilgisayar sistemi yardımıyla gaz kelebeği %25-%30-%35-%40-%45-%50-%55 oranlarında arttırılarak dinamometrenin yüklenmesi suretiyle motor performans değerleri, egzoz emisyonları ve diğer değişkenlerin verileri alınmıştır. Dinamometrenin motoru yüklediği tork değerleri bilgisayar tarafından otomatik olarak ölçülmekte ve kaydedilmektedir. Bu gaz kelebek açıklık oranlarında motor momenti, efektif motor gücü, yakıt tüketimi ve egzoz emisyon değerleri (CO₂, HC, O₂ ve is emisyonları) ölçülmüştür.

5.6. Motor Performans Parametrelerinin Hesaplanması

Motor döndürme momenti, efektif motor gücü ve motor devri gibi değişkenler bilgisayar tarafından otomatik olarak okunup kaydedilmektedir. Özgül yakıt tüketimi, hassas terazide 2 dakikalık süre zarfında iki deneyde ölçülen değerlerin kütleli fark ortalamalarının alınması suretiyle Denklem 4.17’ye göre hesaplanmıştır. Efektif verim ise Denklem 4.18’e göre hesaplanmıştır. Deneyler sonunda elde edilen tüm test verileri alınarak ortalamaları hesaplanmış ve tezin arka kısmında Ekler bölümünde tablolar halinde sunulmuştur.

6. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. Biyodizel Yakıt Numunelerinin Özelliklerinin Değerlendirmesi

Bitkisel yağları direkt olarak dizel motorlarında kullanmanın zamanla motor parçalarında sakızlaşma, kötü püskürtme karakteristikleri, kötü yanma, koklaşma ve karbon birikintileri, yağlama yağının bozulması gibi bazı sorunlara yol açtığı yapılan literatür araştırmalarından anlaşılmaktadır. Bu nedenle yağların yüksek olan viskozitelerinin düşürülmesi ve neticesinde dizel yakıtına yakın özellikler sunması için transesterifikasyon gibi bazı kimyasal reaksiyonlara tabi tutulması gerekmektedir.

Bu çalışmanın ilk aşamasında kanola yağından biyodizel üretilmiş ve etanol ile belirli oranlarda harmanlanarak yakıt numuneleri elde edilmiştir. Petrol analiz laboratuvarında B100, BDE5, BDE10 ve BDE15 yakıt numunelerinin yapılan analizinde Tablo 6.1' deki veriler elde edilmiştir. Standart dizel yakıtı, kanola yağı ve ASTM PS 121 standardına göre B100 yakıt özellikleri literatürden alınarak tabloya yerleştirilmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır.

Tablo 6.1. Yakıt numunelerinin bazı özelliklerinin karşılaştırılması

Yakıt özellikleri	B100	BDE5	BDE10	BDE15	Standart dizel yakıtı	Kanola Yağı	ASTM PS121 (B100)
Kinematik viskozite(mm ² /s) (40 °C'de)	4,74	4,17	3,85	3,57	1,4	31,23	1,9-6
Isıl değer (kJ/kg)	37763	36686	36009	35378	42750	40123	39876
Yoğunluk (g/cm ³) (15°C'de)	0,8842	0,880	0,8765	0,873	0,85	0,9030	0,88
Parlama noktası (°C)	54,5	24,5	24,5	24,5	60-80	234	100-170
Setan sayısı	54,82	53,42	52,82	51,86	40-55	-	40-49

Tablo incelendiğinde kanola yağının çok yüksek olan kinematik viskozitesinin transesterifikasyon işlemiyle 31,23 mm²/s'den 4,74 mm²/s'ye düştüğü görülmektedir. Bu değer standart dizel yakıtının viskozite değerinden biraz yüksek olmasına rağmen ASTM PS121 B100 yakıt standardının değer aralığında yer almaktadır. Bu da yeniden esterleştirme işleminin başarılı olduğunu göstermektedir. Biyodizelle harmanlanan etanolün yakıt içindeki oranı arttıkça kinematik viskozite değerlerinin düştüğü görülmektedir. Bu durumda, silindir içine püskürtülen yakıtın daha iyi atomize olacağı ve motor performansını olumlu yönde etkileyeceği düşünülmektedir.

Bir diğer değişken olan yakıt yoğunluk değerinin de transesterifikasyon işlemiyle düştüğü gözlemlenmektedir. Ayrıca yakıt içindeki etil alkol oranı arttıkça yoğunluk değeri daha da azalmaktadır. Bunun nedeninin etanolün yoğunluğunun düşük olması yakıt karışımlarının yoğunluğunu düşürdüğü şeklinde düşünülmektedir. Yoğunluk değerlerinin, test standart değerleri arasında olduğu görülmektedir. Yakıt yoğunluğunun azalmasıyla birlikte yakıtın silindir içinde daha kolay buharlaşacağı ve hava ile homojen karışım sağlayacağı düşünülmektedir.

Yine tabloda kanola yağı alt ısı değerinin standart dizel yakıtına yakın olduğu görülmektedir. Ancak transesterifikasyon işlemiyle birlikte üretilen B100 yakıtının ısı değeri azalmakta, içine katılan etil alkol oranının artmasıyla birlikte alt ısı değeri daha da aşağılara düşmektedir. Bunun nedeni etil alkolün ısı değerinin kanola yağının yarısı kadar olmasıdır. Isıl değerin düşmesiyle birlikte motor performansında azalma olacağı, yakıt sarfiyatında ise artış olacağı tahmin edilmektedir.

Setan sayısı değerleri ASTM D121 standardındaki değer aralıklarında çıkmamıştır. Ancak biyodizel içindeki etanol oranı arttıkça setan sayısının düştüğü gözlemlenmiştir. Yine de setan sayılarının dizel yakıtının değer aralıklarında olması nedeniyle yanma verimin üzerinde olumsuz bir etkiye sebep olmayacağı düşünülmektedir.

6.2. Motor Performans Parametrelerinin Değerlendirilmesi

B100, BDE5, BDE10, BDE15 ve standart dizel yakıt numuneleri deney düzeneğinde motorun sabit 1750 d/d'da ve %25-%30-%35-%40-%45-%50-%55 gaz kelebek açıklığında yüklenmesi suretiyle test edilmiştir. Deneyler hata oranını azaltmak amacıyla iki kez tekrarlanmıştır. Bu esnada motorun iki dakikada tükettiği yakıt miktarı kütleli olarak ölçülmüş ve bilgisayar ortamına aktarılarak özgül yakıt tüketimini incelemek

amacıyla tablo haline getirilmiş ve özgül yakıt tüketim grafiğinin oluşturulmasında kullanılmıştır. Ayrıca bilgisayar tarafından kaydedilen efektif motor gücü, motor momenti ve egzoz emisyon değerlerinin ortalamaları alınarak tabloları oluşturulmuş ve grafikleri çizilmiştir. Aşağıda çizilen bu grafikler değerlendirilmiştir.

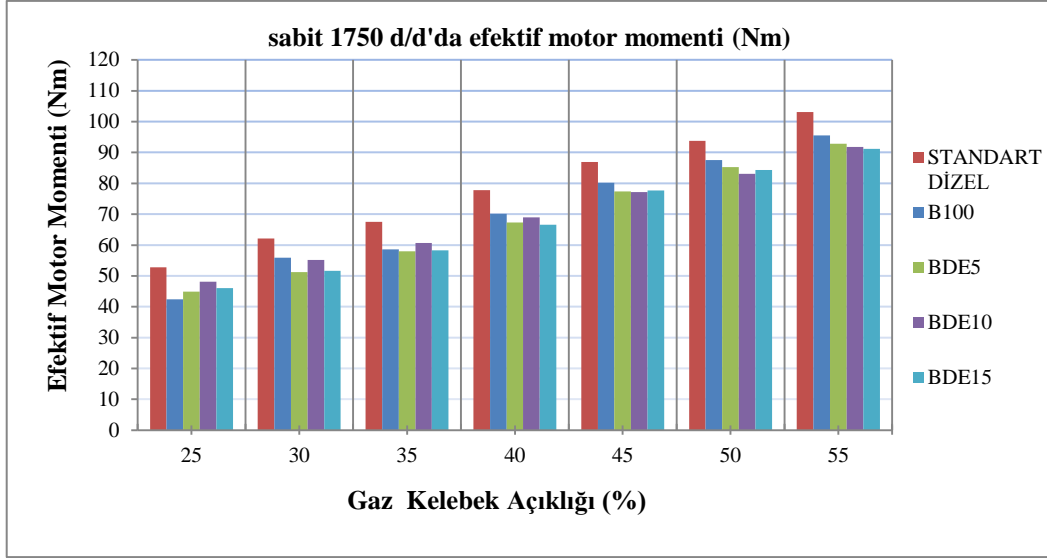
6.2.1. Efektif Motor Momenti

İçten yanmalı motorların kapasitelerini belirleyen bazı karakteristikler vardır. Bu karakteristikler vasıtasıyla motorların yaktığı yakıt miktarı, taşıyabileceği maksimum yük miktarı ve güç gibi değerler belirlenebilmektedir. Bu karakteristiklerden biri motor momenti ya da motor torkudur. Motor momenti motorun döndürme kuvveti demektir. Başka bir deyişle bir motorun yük taşıma kapasitesi ile ilgili bilgileri içermektedir.

İçten yanmalı bir motorun moment karakteristiği incelendiğinde devir sayısına bağlı olarak moment miktarı belirli bir maksimum noktaya ulaştıktan sonra azalma eğilimine girmektedir. Bunun nedeni belirli bir devirden sonra motor içine emilen hava miktarının azalmasıdır. Motor içine alınan hava miktarının azalmasıyla birlikte volumetrik verim düşecek; bu da silindir içerisinde meydana gelen yanma olayının kötüleşmesine ve dolayısıyla silindir içi basıncın düşmesine neden olur. Silindir içinde düşen basınç; momenti oluşturan yanma kuvvetinin azalmasına yol açar. İşte bu momentin oluştuğu maksimum noktası içten yanmalı motorun en optimum çalıştığı aralıktır. Bu maksimum noktadan sonra motorun yüklenmesi yakıt tüketimini artırsa da motor torku düşmeye başlar.

Bu tez çalışmasında dört silindirli aşırı doldurmalı ve common rail yakıt enjeksiyon sistemli bir dizel motorunda pilot yakıt olarak standart dizel yakıtı, B100, BDE5, BDE10 ve BDE15 yakıtları test edilmiştir. Testler sabit 1750 d/d motor hızında dizel motorunun yüklenmesi suretiyle gaz kelebek açıklığı %25-30-35-40-45-50-55 oranlarında değiştirilerek motorun ürettiği moment değerleri bilgisayar üzerinde otomatik kayıt sistemiyle yapılmıştır.

Testlerden sonra moment verilerinin ortalamaları alınarak, biyodizel içine harmanlanan etanolün standart dizel yakıtına göre moment değişimlerini nasıl etkilediğinin karşılaştırılması amacıyla grafiği oluşturulmuştur. Şekil 6.1'de efektif motor momentinin, gaz kelebek açıklık oranlarına göre yakıt numunelerinde nasıl etkilendiğini görülmektedir.



Şekil 6.1. Efektif motor momentinin gaz kelebek açıklığına göre değişimi

Grafik incelendiğinde en yüksek moment değeri % 55 gaz kelebeği açıklığında 103,15 Nm ile dizel yakıtından elde edilmiştir. Bu gaz kelebeği açıklık oranında B100 yakıt numunesi dizel yakıtına oranla %7,3'lük bir azalma göstermiştir. Diğer test numuneleri BDE5, BDE10 ve BDE15 dizel yakıtına göre daha düşük değerlerde (92,9-91,8-91,2 Nm) tork üretmiştir. Bunun nedeninin kanola yağından üretilen biyodizel alt ısıl değerinin dizel yakıtından daha düşük olması nedeniyle yanma sonu basınçlarının düşük kalması ve motor moment değerlerinde azalmaya sebep olması olarak düşünülmektedir. Ayrıca biyodizelle harmanlanan etanolün ısıl değerinin düşük olması yakıt numunelerinin alt ısıl değerlerini düşürmekte ve bunun da yanma verimini olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir. Bunların yanı sıra biyodizel ve diğer numunelerin viskozite değerlerinin yüksek olması yanma için son derece önemli olan atomizasyonu kötüleştirdiği ve bunun da yanma reaksiyonları üzerinde önemli derecede etkili olduğu düşünülmektedir.

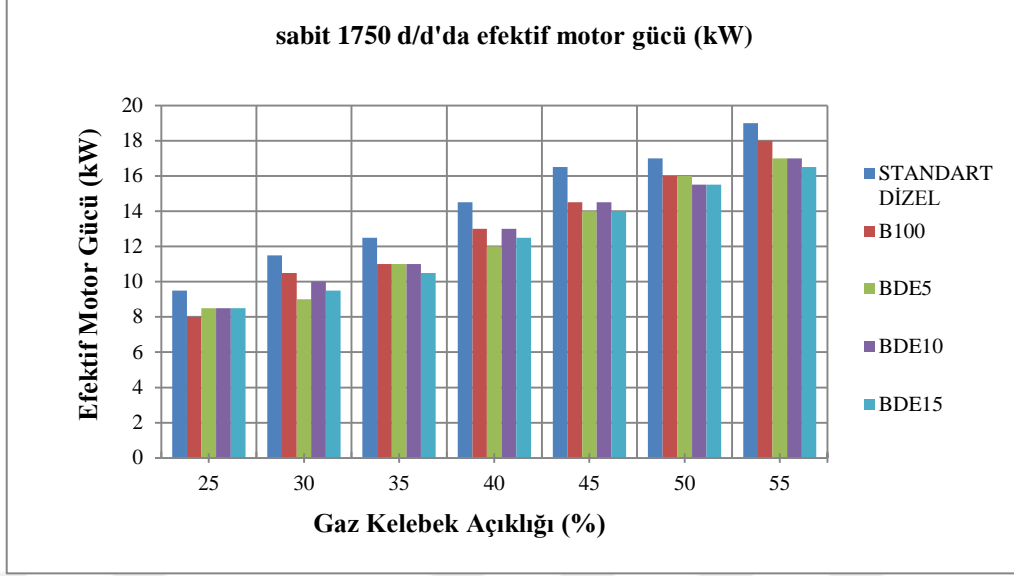
Biyodizel içine %5 oranında etanol katılması motor torkunu çok fazla düşürmemekle birlikte, etanol katılan test numuneleri arasında moment değerlerinde en iyi sonucu veren yakıt olmasını sağlamıştır. Ayrıca biyodizel içine etanol karıştırılması motor tork değerlerinde çok fazla bir düşmeye sebep olmadan motorun kararlı bir şekilde çalışmasını sağlamıştır.

6.2.2. Efektif Motor Gücü

Motor performans karakteristiklerinden bir diğeri efektif motor çıkış gücüdür. Diğer bir deyişle motorun etkin gücüdür. Güç, içten yanmalı motorun iş yapabilme kabiliyetini yansıtır. İçten yanmalı motor karakteristik eğrilerinde bulunan devir sayısı-güç eğrisi belirli bir kritik noktaya kadar artarak devam etmekte daha sonra ise azalmaktadır. İçten yanmalı motorlarda güç eğrisinin önce artarak kritik bir noktaya ulaştıktan sonra düşmesinin nedeni, motorun devir sayısını artırdıkça sürtünmelerin giderek azalması ile gücün belirli bir noktaya kadar artması ve bu noktadan sonra ise silindir içine alınan dolgu miktarının azalması ile beraber güç değerinin azalmasıdır. Her içten yanmalı motor aşağı yukarı benzer güç karakteristik eğrisini çizmektedir.

Bu tez çalışmasında yakıt numunelerinin sabit 1750 d/d'da %25-30-35-40-45-50-55 gaz kelebek açıklığında test edilmesi ile bilgisayar üzerinden alınan efektif motor gücü değişimleri Şekil 6.2'de görülmektedir. Grafik incelendiği zaman gaz kelebek açıklık oranını artırdıkça motorun efektif motor gücü değerlerinin arttığı görülmektedir. Yani teoride olduğu gibi motor hızının artışıyla birlikte motorun efektif güç değerleri artış göstermiştir. En fazla artış %55 gaz kelebek açıklık oranında 19 kW ile standart dizel yakıtında olmuştur. Hemen ardından aynı gaz kelebek açıklığı oranında sırasıyla 18 kW ile B100 yakıtı, 17 kW ile BDE5 ve BDE10, 16,5 kW ile BDE15 yakıt numuneleri gelmiştir. Dizel yakıtının alt ısıl değerinin biyodizele göre biraz yüksek olması, yakıt enerji miktarını arttırdığı ve dolayısıyla efektif motor gücünün daha yüksek çıkmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Grafik incelendiğinde etanolla harmanlanan biyodizel numunelerinin efektif motor gücü değerlerinde yakıt içindeki etanol oranı artıkça azalmaların olduğu görülmektedir. Bunun nedeni etanolün alt ısıl değerinin biyodizel ve dizel yakıtına göre çok düşük olmasının yanma sonunda açığa çıkan enerji miktarında azalmaya sebep olması olarak düşünülmektedir. Ayrıca etanolün setan sayısının 5 ile 15 arasında olması, biyodizele etanol katıldığında setan sayısını azaltmakta ve bu da yanmayı olumsuz yönde etkileyen bir özellik olarak düşünülmektedir. Bir diğer etken olan kinematik viskozite değerlerinde yakıt içindeki etanol oranının, biyodizelin viskozitesini düşürerek yakıtın daha iyi atomize olarak silindir içinde yanma reaksiyonlarını olumlu yönde etkilediği düşünülmektedir.



Şekil 6.2. Yakıt numunelerden elde edilen efektif motor gücü değişimlerinin karşılaştırılması

6.2.3. Özgül Yakıt Tüketimi

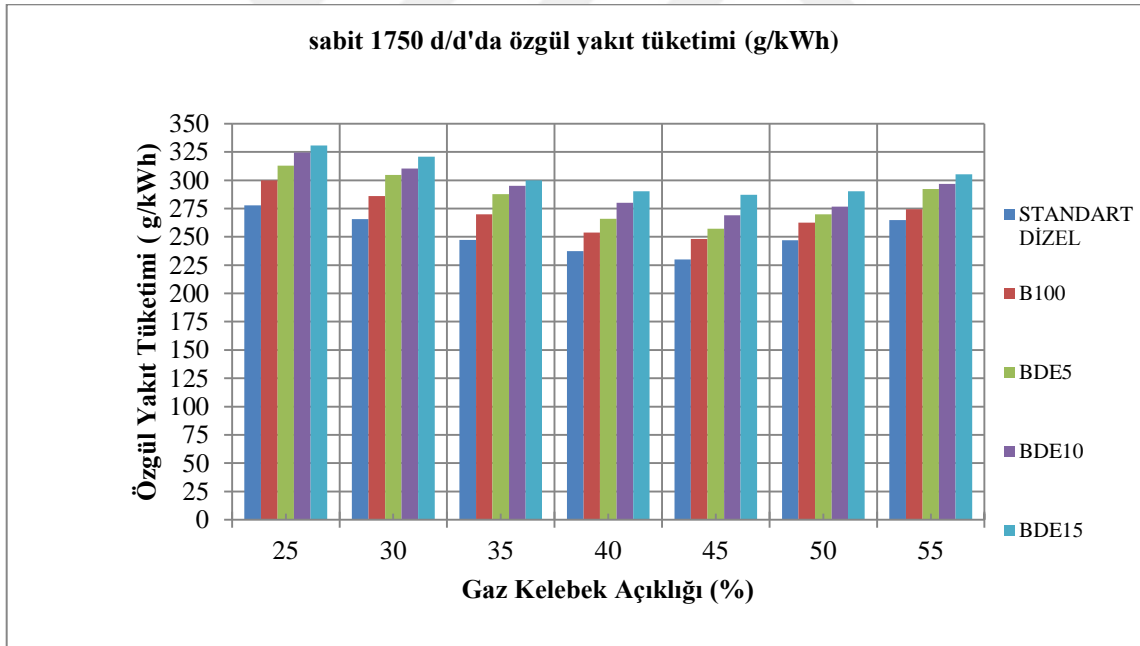
Özgül yakıt tüketimi içten yanmalı bir motorun saatte güç birimi başına tükettiği yakıt miktarının gram cinsinden değerine denir. İçten yanmalı bir motorda ne kadar yakıt tüketildiğini göstermesi bakımından önemli bir parametredir. Her motorda silindir sayısı, silindir hacmi, yanma odası tasarımı, yakıt sistemi tasarımı, sıkıştırma, aşırı doldurma, kullanılan yakıtın alt ısı değerleri ve yoğunluğu gibi değişkenlere göre farklılık göstermektedir.

Motor performans karakteristik eğrileri içinde özgül yakıt tüketimi, motor devrinin artışıyla birlikte önce belirli bir minimum noktaya kadar azalma göstermekte ve bu minimum noktadan sonra devir sayısının daha da artırılması ile birlikte artış eğilimine girmektedir. Motor ilk çalıştırıldığı andan itibaren sürtünmeler fazla olduğu için özgül yakıt tüketimi fazladır. Gaz pedalına basılıp motor devri artırılınca sürtünmeler azalacağı için özgül yakıt tüketimi de belirli bir noktaya kadar azalır. Özgül yakıt tüketiminin azaldığı minimum noktadan sonra, artan yüklerle birlikte motor hızının da artmış olması daha fazla yakıt gerektirmektedir. Bu nedenle silindir içine gönderilen yakıt miktarının artışı özgül yakıt tüketimi değerlerinde artış görülmesine neden olur.

Bu tez çalışmasında sabit 1750 d/d'da iki dakikalık zaman dilimlerinde ve %25-30- 35-40- 45-50-55 gaz kelebeği açıklığında motorun tükettiği yakıt miktarları kaydedilmiş ve iki defa tekrarlanan deneylerde yakıt numunelerinin kütleli farkları alınarak ortalamaları

hesaplanmıştır. Ardından denklem 4.7' ye göre standart dizel, B100, BDE5, BDE10 ve BDE15 yakıt numunelerinin özgül yakıt tüketimleri hesaplanarak karşılaştırma yapmak için grafiği çizilmiştir. Şekil 6.3' de gaz kelebek açıklığına göre yakıt numunelerinin özgül yakıt tüketimleri sunulmuştur.

Grafik incelendiğinde minimum özgül yakıt tüketim değerleri tüm yakıt numunelerinde %45 gaz kelebek açıklığında oluşmuştur. En az özgül yakıt tüketim değeri 230 gr/kWh ile dizel yakıtında meydana gelmiştir. En fazla özgül yakıt tüketimi %25 gaz kelebek açıklığında 330 gr/kWh ile BDE15 yakıt numunesinde meydana gelmiştir. Biyodizel içindeki etanol oranının artması ile birlikte dizel yakıtına göre her gaz kelebek açıklık oranında özgül yakıt tüketimi belirgin artışlar göstermiştir. Aynı zamanda özgül yakıt tüketimi değerlerinin teoride olduğu gibi önce %45 gaz kelebek açıklığına kadar azalmakta, daha sonra motor hızının artışıyla birlikte yükseliş eğilimine girdiği görülmektedir.



Şekil 6.3. Yakıt numunelerinin özgül yakıt tüketimi değişimleri

Grafikteki verilerden anlaşıldığı üzere biyodizel içindeki etanol oranının artması ile birlikte özgül yakıt tüketimi değerleri artış göstermiştir. Bu durumun temel sebeplerinden birinin etanolün yakıt numunelerinin ısı değerini düşürmesi olarak görülmektedir. Çünkü ısı değerinin düşmesi ile birlikte motorun yük artışını kaldırabilmesi için daha fazla yakıt

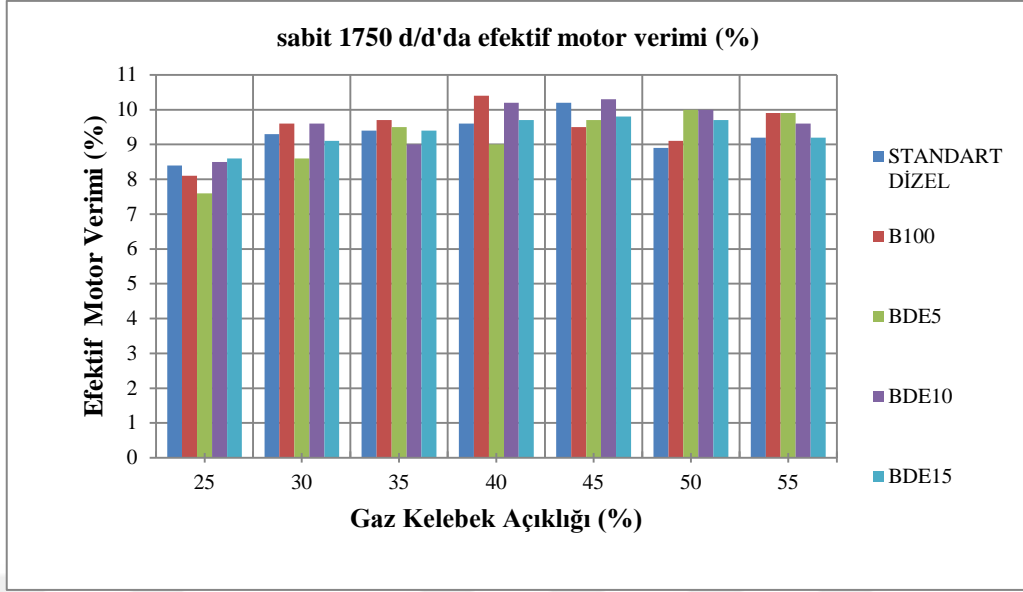
ihtiyaç duyacaktır. Bu nedenle özgül yakıt tüketiminde, yakıt karışımlarının ısıl değerleri düşüktüğe artışlar meydana gelmesi muhtemel olacaktır.

6.2.4. Efektif Verim

İçten yanmalı motorda kullanılan yakıtın silindir içinde yanmasıyla ortaya çıkan toplam enerji miktarının ne kadarının faydalı işe dönüştüğünü gösteren orandır. Bilindiği gibi içten yanmalı motorlarda yakılan yakıttan elde edilen enerjinin tamamı faydalı güce dönüşmemektedir. Bu enerjinin büyük kısmı egzoz gazları ile birlikte dışarı atılmaktadır. Bir kısmını soğutma sistemi, yağlama sistemi ve sürtünme kuvvetleri absorbe etmektedir. Sayılan bu nedenlerden dolayı içten yanmalı motorlarda yakılan yakıtın maksimum %25-30'undan faydalanılmaktadır.

İçten yanmalı motorlarda düşük devirlerde sürtünmelerin fazla olması nedeniyle efektif motor gücü düşüktür. Devir artışıyla birlikte efektif motor gücünün artmasıyla birlikte efektif verim de artış gösterme eğilimine girer. Bir maksimum noktaya ulaştıktan sonra tekrar azalmaya başlar. Bunun nedeni yüksek hızlarda motor içine alınan hava miktarının azalması ve yanma zamanının kısalması ile efektif gücün azalmasıdır.

Denklem 4.18'e göre standart dizel yakıtı, B100, BDE5, BDE10 ve BDE15 yakıt numunelerinin efektif verimleri hesaplanarak Şekil 6.4'de gaz kelebek açıklığına göre grafiği verilmiştir. Grafik incelendiğinde efektif verim değerlerinin ilk olarak %45 gaz kelebek açıklığına kadar yükseldiği ve bu noktada maksimum seviyeye ulaştıktan sonra azalmaya başladığı görülmektedir. En yüksek artış %10,4 ile %40 gaz kelebek açıklığında B100 yakıtından elde edilmiştir. Daha sonra BDE10 yakıt numunesi %45 gaz kelebek açıklığında % %10,3 ile meydana gelmiştir. Standart dizel yakıtı, BDE5 ve BDE15 yakıt numunelerinin maksimum efektif verim değerleri sırasıyla %10,2-%10 ve %9,7 ile gerçekleşmiştir. Efektif verim açısından yakıt numunelerinde her gaz kelebek açıklığında dizel yakıtına göre kısmi azalmalar görülse de bu azalmalar ihmal edilebilecek derecede azdır. Biyodizel içindeki etanol oranının artması efektif verim üzerinde herhangi bir olumsuz etki göstermemiştir.



Şekil 6.4. Yakıt numunelerinin efektif verim değişimleri

6.3. Egzoz Emisyonlarının Değerlendirilmesi

İçten yanmalı motorlar, silindir içinde hava ile yakıtın yakılması sonucu meydana kimyasal reaksiyonlarla elde edilen ısı enerjisinin mekanik enerjiye dönüşmesi suretiyle çalışan bir mekanizmaya sahiptir. Yanma reaksiyonları sonucunda tabii olarak CO, CO₂, NO_x, HC, is, yakıtın yapısında bulunan kükürtten dolayı sülfür oksit bileşikleri gibi bazı emisyonlar ortaya çıkmaktadır. Bu bileşiklerden birçoğu çevre ve insan sağlığı açısından bazı sakıncalar doğurmaktadır. Dolayısıyla kullanılacak olan yakıt belirlenirken bu emisyonları minimum seviyelere indirecek özelliklerde olması istenir.

Bu tez çalışmasının amaçlarından biri de biyodizelle harmanlanan etanolün yakıt içindeki oranlarının egzoz emisyon parametreleri üzerinde nasıl etki gösterdiğini incelemektir. Dolayısıyla sabit 1750 d/d'da %25-%30-%35-%40-%45-%50-%55 gaz kelebek açıklığında motor yüklendikçe oluşan HC, CO₂, is ve O₂ emisyon ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Her ölçüm hata oranını azaltmak amacıyla iki kez tekrarlanmıştır. Alınan egzoz emisyon verileri derlenerek iki deneyin ortalamaları alınmış ve dizel yakıtıyla karşılaştırılması için grafiklere dökülmüştür. Aşağıda bu emisyonların değerlendirmeleri yapılarak yorumlanmıştır. Ayrıca derlenen emisyon verileri ekler kısmında sunulmuştur.

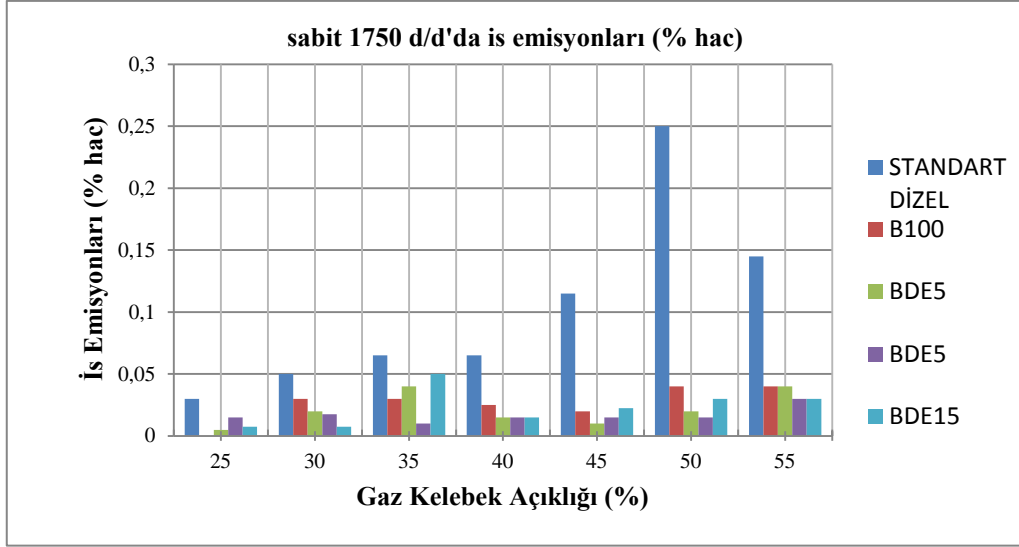
6.3.1. İis Emisyonları

İçten yanmalı dizel motorlarında en önemli egzoz emisyon parametrelerinden biri is emisyonlarıdır. Dizel motorlarındaki yanma olayının nasıl gerçekleştiği ile ilgili önemli bilgiler içermektedir. Eylül 2014’de yayımlanan Euro-6 standartlarına göre hacimsel olarak % 0,005’ine kadar izin verilmektedir. Dizel motorları yüksek hava fazlalık katsayısında çalışmaktadır. Fakat yüksek devirlerde yanma için gereken süre kısalacağı için eksik yanma olayı meydana gelmektedir. Bu da is emisyonlarının yüksek devirlerde artışına neden olmaktadır. Bu durumun önüne geçmek için pompa avansı değiştirilerek püskürtme zamanı öne çekilir ve yanma için gereken süre uzatılır.

İs emisyonlarını etkileyen bir diğer etken kullanılan yakıtın viskozite ve yoğunluğu gibi özelliklerdir. Kullanılan yakıtın kaliteli olması is emisyonlarını azaltmada yardımcı olacaktır. Ayrıca yakıt içinde bulunan kükürt oranı da is emisyonlarını etkileyen başka bir etkidir. İis emisyonlarını azaltmak için yakıt içine oksijence zengin içerikler katılarak yanma olayı iyileştirilmeye çalışılır.

Bu tez çalışmasında bir diğer amaç olan egzoz emisyonlarını iyileştirmek için, oksijence zengin olan etanol ve kanola yağından üretilen biyodizel harmanlamak suretiyle dizel motorunda test edilmiştir. Yapılan iki deneyde %25-30-35-40-45-50-55 gaz kelebek açıklığında ve sabit 1750 dev/d’da is emisyonları duman koyuluk cihazından ölçülerek kaydedilmiştir. Şekil 6.5’de bu is emisyonlarının karşılaştırması sunulmuştur.

Grafik incelendiğinde en yüksek is emisyonları dizel yakıtında oluşmuştur. Dizel yakıtında bulunan kükürtün is emisyonlarını arttırdığı düşünülmektedir. %50 gaz kelebek açıklığında en yüksek is emisyonları meydana gelmiştir. Her gaz kelebek açıklığında B100, BDE5, BDE10 ve BDE15 yakıt numuneleri dizel yakıtına göre is emisyonlarında önemli ölçüde düşüş göstermiştir. En düşük is emisyonları %25 gaz kelebek açıklığında oluşmuştur. Gaz kelebek açıklığı arttıkça is emisyonlarında belirli bir noktaya kadar artış görülmektedir. Bunun nedeni motor hızının artmasıyla silindir içine alınan hava miktarının azalmasıyla birlikte yanma olayının kötüleşmeye başlaması olarak düşünülmektedir. Ayrıca biyodizel içindeki etanol oranı arttıkça is emisyonlarında büyük oranda düşüşler gözlemlenmiştir. Bunun nedeni yakıt içindeki oksijen oranının artması yanmayı olumlu yönde etkilemesi olabilir. En yüksek is emisyonlarının meydana geldiği %50 gaz kelebek açıklığında dizel yakıtına göre B100 yakıtı %84, BDE5 yakıtı %92, BDE10 yakıtı %86 ve BDE15 yakıtında %88 azalma görülmüştür.

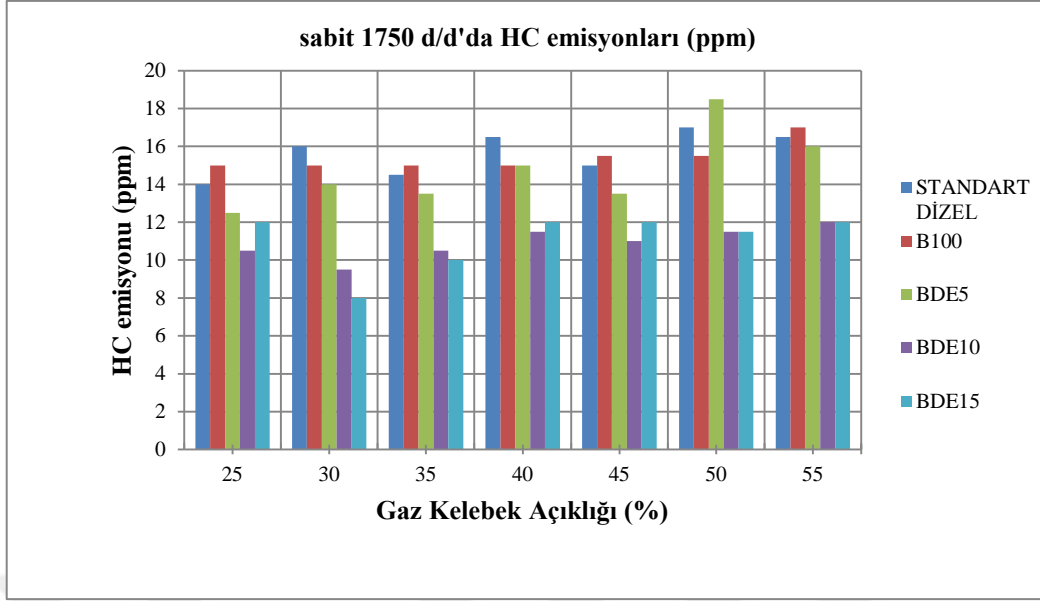


Şekil 6.5. Yakıt numunelerinin is emisyonları değişimlerinin karşılaştırılması

6.3.2. HC Emisyonları

Hidrokarbon emisyonları motorun ilk çalıştırıldığı sırada ve yüksek motor devirlerinde yüksek seviyelerde seyrederek. Bunun nedeni ilk hareket sırasında motorun soğuk olmasından dolayı yanma olayının verimsiz olmasıdır. Motor sıcaklığı ve devir sayısı artınca yanma olayı iyileşeceği için HC emisyonları da azalmaya başlayacaktır. Yüksek devirlerde HC seviyesinin yüksek olmasının nedeni ise yanma süresinin kısalması ve volumetrik verimin düşmesidir.

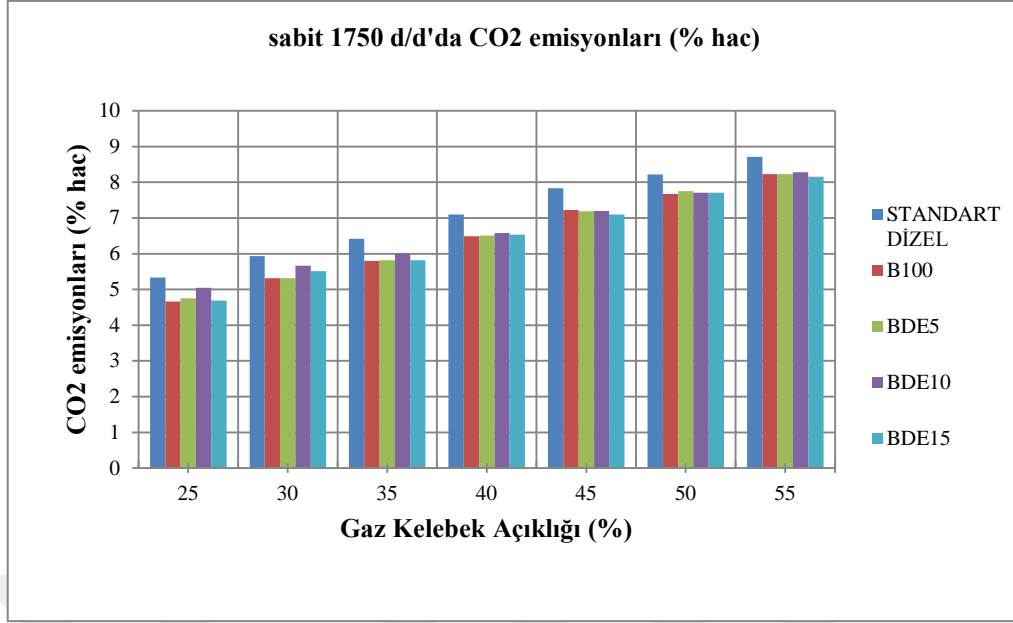
Şekil 6.6'da bu tez çalışmasında HC emisyon test değerlerinin grafiği görülmektedir. Grafik incelendiğinde en yüksek HC emisyonu %50 gaz kelebek açıklığında 18 ppm ile BDE5 yakıtında meydana gelmiştir. Farklı gaz kelebek açıklıklarında değişmesine rağmen en yüksek HC emisyonları standart dizel yakıtından elde edilmiştir. Bunun nedeninin motor hızı arttıkça yanma ortamında bulunan oksijen miktarının azalması ve standart dizel yakıtının yapısında oksijen bulunmamasıdır. Oysa B100, BDE5, BDE10 ve BDE15 yakıt numunelerinde bulunan etil alkolün oksijen içermesi nedeniyle yüksek devirlerde HC emisyonlarında daha az artışlar görülmüştür. Bu da biyodizel içindeki etil alkol oranının artmasıyla birlikte HC emisyonlarının azaldığı anlamına gelmektedir. En düşük HC emisyonu ise %30 gaz kelebek açıklığında BDE15 yakıt numunesinde meydana gelmiştir.



Şekil 6.6. Yakıt numunelerinin HC emisyonlarının değişimleri

6.3.3. CO₂ Emisyonları

Yanma olayının sonunda ortaya çıkan esas bileşen CO₂ gazıdır. Bu bileşiğin emisyonları yanma olayının nasıl gerçekleştiği ile ilgili bilgi vermektedir. Şekil 6.7'de CO₂ emisyonlarının gaz kelebek açıklığına göre değişimleri verilmiştir. Grafik incelendiğinde gaz kelebek açıklığı arttıkça CO₂emisyonlarında tüm yakıt numuneleri artış göstermiştir. En fazla artış %55 gaz kelebek açıklığında %8,71 hacimsel oranıyla dizel yakıtında olmuştur. B100, BDE5, BDE10 ve BDE15 yakıt numunelerinin emisyon değerleri birbirine yakın çıkmakla birlikte standart dizel yakıtına göre sırasıyla %5,5-%6-%6,5-%6,7'lik azalma göstermişlerdir. Deneylerde yanma sonunda ortaya çıkan CO₂emisyon verilerine göre yanma olayının, gaz kelebek açıklığı arttıkça iyileştiği görülmektedir. Yine biyodizel içindeki etanol oranının artışının yanmayı iyileştirdiğini göstermektedir.



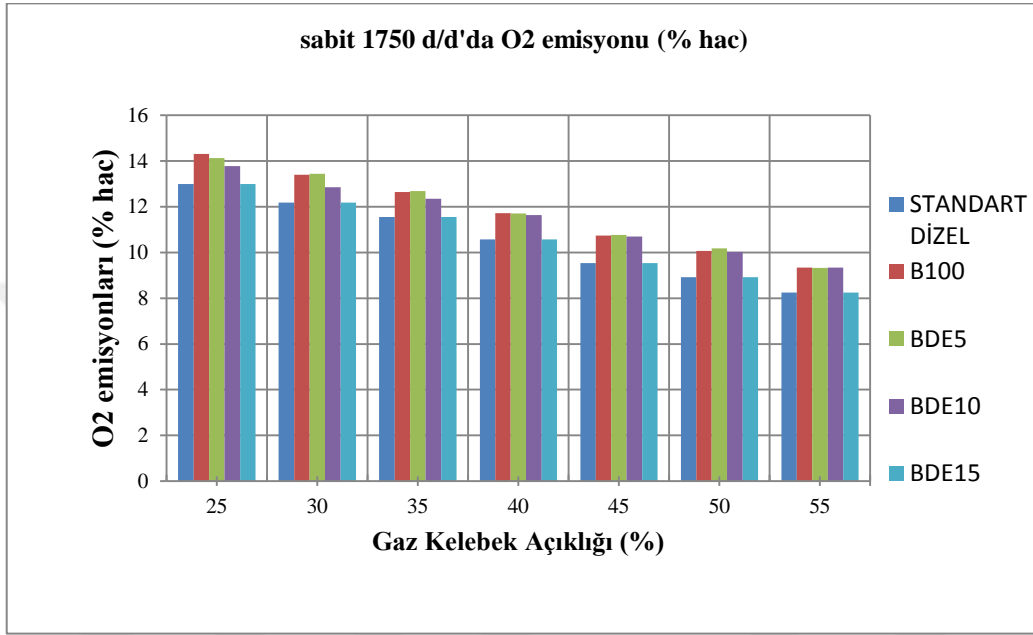
Şekil 6.7. Yakıt numunelerinin CO₂ emisyonlarının değişimi

6.3.4. O₂ Emisyonları

Yanma reaksiyonlarının temelini O₂ gazı belirlemektedir. Hava içinde bulunan oksijen içeriğinin yüksek olması, yanmanın ve yanma sonucunda ortaya çıkacak olan enerji miktarı için son derece önemlidir. Silindir içerisinde oksijen miktarının yetersiz kalması yakıtın eksik yanmasına neden olacak ve HC, PM ve özellikle de CO emisyonlarının artmasına yol açacaktır. Ayrıca bu yakıtın içeriğinde bulunan enerjiden tam olarak faydalanılamayacağı anlamına gelecektir ve bu nedenle motorun efektif gücü azalacaktır.

Şekil 6.8'de yanma işlemi sonunda egzoz gazlarıyla birlikte dışarı atılan fazla O₂ emisyonlarının gaz kelebek açıklığına göre değişimleri görülmektedir. Grafik incelendiğinde gaz kelebek açıklığının artmasıyla birlikte silindirden dışarı atılan O₂ gazının hacimsel olarak azaldığı görülmektedir. Bu motor yükünün artmasıyla birlikte silindir içinde daha fazla oksijen tüketilerek yanmanın verimli gerçekleştiğini göstermektedir. Grafiğe göre en fazla azalmanın meydana geldiği gaz kelebek açıklık oranı %55'dir. Bu noktada en fazla azalma %8,2 ile standart dizel ve BDE15 yakıtlarında meydana gelmiştir. Ayrıca tüm gaz kelebek açıklıklarında en fazla azalma yine bu iki yakıtta meydana gelmiştir. Bu en iyi yanma reaksiyonlarının standart dizel ve BDE15 yakıtlarında gerçekleştiğini göstermektedir. Diğer yakıt numunelerinde ise bu iki yakıtla nispeten daha az miktarda azalmalar meydana gelmiştir. Bunun nedeni biyodizel ve etil

alkol katkılı biyodizellerinin kinematik viskozitelerinin dizel yakıtına göre daha yüksek olması olarak değerlendirilmektedir. Fakat biyodizel içindeki etil alkol oranının artışıyla birlikte hem biyodizelin yapısında hemde etanolün yapısında bulunan oksijenin O_2 emisyonlarını artırdığı düşünülmektedir.



Şekil 6.8. Yakıt numunelerinin O_2 emisyonlarının değişimi

7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Kanola yağından üretilen biyodizelin içine %5, %10 ve %15 oranlarında etil alkol karıştırılması suretiyle elde edilen B100-BDE5-BDE10-BDE15 yakıt numunelerinin dört silindirli bir dizel motorunda, pilot yakıt olarak dizel yakıtıyla birlikte test edilmesi ile yakıt özellikleri, motor performans parametreleri (motor momenti, efektif motor gücü, özgül yakıt tüketimi ve efektif motor verimi) ve egzoz emisyonları (is emisyonları, HC emisyonları, CO₂ ve O₂ emisyonları) yönünden karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmaların sonuçları özet olarak maddeler halinde aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.

1. Yakıt özellikleri bakımından 31,2 mm²/s olan kanola yağının viskozitesi transesterifikasyon işlemiyle 4,7 mm²/s düzeyine düşürülerek dizel yakıtına yakın değer elde edilmiştir. Ayrıca biyodizelin etanolla harmanlanması, yoğunluk ve setan sayısı özelliklerini iyileştirdiği tespit edilmiştir. Fakat etanolün, yakıtın alt ısıl değerini düşürmesi olumsuz bir özellik olmuştur.
2. Üretilen kanola yağı metil esteri ve etanolün alt ısıl değerlerinin düşük olması nedeniyle özgül yakıt tüketiminde dizel yakıtına göre kısmi artışlar oluşmuştur. Bu artışlar, minimum özgül yakıt tüketiminin olduğu %45 gaz kelebeği açıklığında B100 yakıtında %7,9, BDE5 yakıtında %11,8, BDE10 yakıtında %16,9 ve BDE15 yakıtında %24,8 oranlarında gerçekleşmiştir. Bu durum biyodizeli dizel yakıtına göre daha masraflı hale getirmektedir.
3. Efektif motor gücü ve motor moment değerlerinde dizel yakıtına göre düşüşler olsa da bu değerler ihmal edilebilecek kadar az olmuştur. Maksimum motor momentinin olduğu %55 gaz kelebek açıklığında standart dizel yakıtına göre B100 %7,3, BDE5 %9,9, BDE10 %11 ve BDE15 yakıt numunesinde ise %11,5 azalma görülmüştür.
4. Efektif verim oranlarında ise gaz kelebek açıklık oranı arttıkça efektif verim oranları tüm test yakıtlarında benzer oranda artış göstermiştir. Dizel yakıtına göre, tüm gaz kelebeği açıklıklarında diğer test yakıtları az miktarda azalma göstermiştir.
5. Egzoz emisyonları açısından ise is ve HC emisyonları dizel yakıtına nazaran büyük oranlarda düşüş göstermiştir. Bu sonuca göre, biyodizel içine etanol katılmasının daha temiz bir yanma oluşturduğu söylenebilir.

6. Tüm sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda biyodizel ve etanolün dizel yakıtına göre daha temiz ve çevreci bir yakıt olduğu söylenebilir. Fakat alt ısıl değerlerinin düşük, viskozitelerinin dizel yakıtına göre yüksek olması efektif verim ve özgül yakıt tüketimi açısından sınırlılıklara neden olmaktadır. Ayrıca motor momenti ve gücünde düşüslere neden olması da başka bir sınırlılık ortaya çıkarmaktadır.

Bu tez çalışması ve daha önce yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre bitkisel yağları içten yanmalı motorlarda kullanılabilmesi için özellikle viskozite gibi bazı özelliklerinin geliştirilmesi gerekir. Bunun yanı sıra maliyette bu iş için önemli kriterlerden biridir. Bu doğrultuda bu tip yakıtları kullanabilmek için Aşağıda bir takım önerileri başlıklar halinde sayılmıştır.

1. Bu tez çalışması ve daha önce yapılan biyodizel ve etanolle ilgili çalışmalara göre bitkisel yağları dizel motorlarında kullanmanın bazı zorlukları bulunmaktadır. Bunlardan biri biyodizel ve etanolün üretim maliyetinin dizel yakıtına oranla daha yüksek olmasıdır. Kanola yağının içten yanmalı motorlarda viskozitesinin düşürülmesi koşuluyla kullanılabilmesi olasıdır. Fakat bunun için ilk olarak daha fazla kanola ekimi yapılarak yağ fiyatlarını aşağı çekmek gerekmektedir.
2. Biyodizel ve alkolün içten yanmalı motorlarda direkt olarak kullanılması kısa vadede bir sorun teşkil etmez. Fakat uzun süreli kullanımlarda motor parçalarında zamanla aşınma, korozyon, çürütme ve sakızlaşma gibi problemlere yol açacağı daha önce yapılan çalışmalardan anlaşılmaktadır. Bu nedenle biyodizel ve alkole uygun olan motorlar tasarlamak ve geliştirmek daha uygun bir yol olacaktır.
3. Kanola yağının alt ısıl değerinin dizel yakıtına yakın olması sebebiyle dizel motorlarında direkt olarak kullanılabilmesi için transesterifikasyon yöntemi dışında başka viskozite azaltma yolları aranmalıdır. Örneğin piroliz yöntemiyle viskozite azaltma yöntemi denenerek dizel motorunda performans ve yanma üzerine etkisi araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Altun, Ş.**, 2010. Dizel motor performansı ve egzoz emisyonları üzerinde biyodizel yakıtların etkisi, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, s. 9-19.
- [2] **Eliçin, A.K.**, 2011. Biyodizel bir yakıtla çalıştırılan küçük güçlü bir dizel motorun performans ve emisyonuna giriş hava basıncı etkisinden deneysel araştırılması, *Doktora Tezi*, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [3] **Aydın, S.**, 2010. Aspir yağından biyo-yakıt üretimi ve bir dizel motorunda kullanılabilirliğinin araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [4] **Arioğlu, H.H.**, 2014. Yağ bitkileri yetiştirme ve ıslahı ders kitabı, Genel Yayın No:220, *Ders Kitapları Yayın No:A-70*, Adana, 204s.
- [5] **Karakuş, M.Ü.**, 2014. 12. Uluslararası yem kongresi açılış konuşması, *Türkiye Yem Sanayicileri Birliği Dergisi*, Sayı 70: 29-40 s, Ankara.
- [6] <http://www.fao.org.tr>, 15 Mayıs 2019.
- [7] **Kepek, Y.**, 2016. Türkiye Ekonomisi, 29. Baskı, Remzi Kitabevi, İstanbul.
- [8] **Bayar, R.**, 2004. Cumhuriyet döneminde Türkiye'nin arazi bölünüşü ve tarım alanlarındaki değişimler, *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 2(1), 41-55 s.
- [9] <http://tuik.gov.tr>, 20 Mayıs 2019
- [10] **Doğanay, H.**, 2007. Türkiye Ekonomik Coğrafyası, Atatürk Üniversitesi K.Karabekir Eğitim Fakültesi, Erzurum.
- [11] **Süzer, S.**, 2001. Kanola tarımı, Yayın No:77-78, Edirne.
- [12] **Algan, N.**, 1990. Kanola tarımında çeşit sorunu ve agroteknik yöntemler, Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Menemen, İzmir.
- [13] **Atakişi, İ.K.**, 1991. Yağ bitkileri yetiştirme ve ıslahı, Tekirdağ Ziraat Fakültesi, Yayın No: 148, *Ders Kitabı No:10*, Tekirdağ.
- [14] <https://www.tuik.gov.tr>, 17 Mayıs 2019.
- [15] **Örs, A.**, 2016. Biyodizel-bütanol karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

- [16] **Huang, J., Wang, Y., Li, S., Raskilly, A.P., Yu, H., Li, H.**, 2009. Experimental investigation on the performance and emissions of a diesel engine fuelled with ethanol-diesel blends, *Applied Thermal Engineering*, **29**:2484-2490.
- [17] **Özsezen, A.N.**, 2007. Atık palmiye yağından üretilen biyodizelin motor performans ve emisyon karakteristiklerine etkisinin incelenmesi, *Doktora Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [18] **Keskin, A.**, 2005. Tall yağı esaslı biyodizel ve yakıt katkı maddesi üretimi ve bunların dizel motor performansı üzerindeki etkileri, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [19] **Gökalp, B.**, 2009. Biyodizel katkılı gemi ve uçak yakıtlarının içten yanmalı motorlardaki performansının incelenmesi, *Doktora Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [20] **Demir, B.**, 2009. Küçük ölçekli bir biyodizel sisteminin oluşturulması, elde edilen pamuk yağı metil esterinin motor performans testleri, enerjetik ve ekserjetik değerlendirilmesi, *Doktora Tezi*, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [21] **Haşimoğlu, C.**, 2005. Düşük ısı kayıplı bir dizel motorunda biyodizel kullanımının performans ve emisyon parametrelerine etkisi, *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [22] **Şimşek, D.**, 2010. Soya yağı metil esterinin değişik püskürtme basınçlarında dizel motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel olarak araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi ABD, Karabük.
- [23] **Alptekin, E.**, 2013. Hayvansal atık yağlardan biyodizel üretimi ve bir dizel motorda kullanımının incelenmesi, *Doktora Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [24] **Yaşar, F.**, 2016. Yosun yağından biyodizel üretimi ve bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak kullanımı, *Doktora Tezi*, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Bölümü, Batman.
- [25] **Afşar, M.**, 2015. Bir dizel motorda atık biyodizel kullanımının yanma karakteristikleri üzerine etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.

- [26] **Çıtak, M.**, 2014. Bir dizel motorunda MTBE katkılı biyodizel kullanımının deneysel araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- [27] **Doğan, O.**, 2012. Atık taşıt lastiğinden üretilen pirolitik yakıtın bir dizel motorda kullanımının deneysel olarak araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [28] **Özer, S.**, 2015. Pirina yağından fuzel yağı ile biyodizel üretimi ve dizel motor performans ve emisyonlarına etkisi, *Doktora Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- [29] **Aydın, S.**, 2014. Yanma odası yüzeyleri ZrO_2 , MgO ve Al_2O_3 ile yalıtılmış bir dizel motorunda biyoyakıt kullanımının performans, emisyon ve yanma karakteristiklerine etkisinin incelenmesi, *Doktora Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [30] **Coşgun, T.**, 2012, Farklı metil ester yakıtlarla çalışan bir dizel motorunda su buharı enjeksiyonunun performansa ve NO_x emisyonlarına etkilerinin teorik ve deneysel olarak araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [31] **Uludağ, V.K.**, 2010. Biyodizel kullanımında püskürtme avansının performans ve emisyonlara etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [32] **Şahin, T.**, 2019. Biyodizel ve bioetanol karışımının tek silindirli bir dizel motorda kullanımının motor performansı ve emisyonlara etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [33] **Alakel, H.**, 2008. Bir dizel motorda biyodizel, dizel ve etanolün motor performansına etkisinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- [34] **Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A.**, 1995. İçten yanmalı motorlar, Gazi Üniversitesi Teknik Eğiti Fakültesi Matbaası, Ankara, 513.
- [35] **İçingür, Y., Altıparmak, D.**, 2003. Experimental analysis of the effects of fuel injection pressure and fuel cetane number on direct injection diesel engine emissions, *Turkish J.Eng. Env. Sci.*, **27** (5): 291-298 p.
- [36] **Safgönül, B.**, 1989. Pistonlu motorlar cilt-I İTÜ Makine Fakültesi, İstanbul, 136-145.
- [37] <http://www.thesisat.org.tr/motorin-nedir?/> yapısı ve özellikleri, 30 Mayıs 2019.

- [38] <http://www.obitet.gazi.edu.tr/dizel> yakıtında aranan özellikler, 18 Nisan 2019.
- [39] **Oh, S.K., Baik, D.S. and Han, Y.C.**, 2003. "Emission characteristics in ultra low sulfur diesel", *International Journal of Automotive Technology*, **4(2)**:95-100.
- [40] **Erdöl, E.**, 2007. Enjektör parametrelerinin motor egzoz emisyonlarına etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [41] **Yoshida, E., Nomura, H. and Sekimoto, M.**, 1986. Fuel and engine effects on diesel exhaust emissions, *SAE technical paper* 860169 .
- [42] **Zhang, J., He, K., Ge, Y. and Shi, X.**, 2010. Influence of fuel sulfur on the characterization of PM 10 from a diesel engine, *Fuels*, **88 (3)**:504-510.
- [43] **Bahadur, N.P., Bookcock, D.G.B. and Konar, S.K.**, 1995. Liquid hydrocarbons from catalytic pyrolysis of sewage sludge-lipid and canola oil: evolution of fuel properties, *Energy Fuels*; **9(2)**, 248-256 p.
- [44] **Martinez-Martinez, S., Sanchez-Cruz, F.A., Riesco-Avila, J.M., Gallegos-Munoz, A. and Acevez, S.M.**, 2008. Liquid penetration length in direct diesel fuel injection, *Applied Thermal Engineering*: **28(14-15)**:1756-1762.
- [45] **Yamane, K., Ueta, A. and Shimamoto, Y.**, "Influence of physical and chemical properties of biodiesel fuel on injection, combustion and exhaust emission characteristics in a DI-CI engine", *5th international symposium on diagnostic and modelling of combustion in internal combustion engines (COMEDIA 2001)*, Nogaya, Japan, 402-409, July 1-4 2001.
- [46] **Guibet, J.C.**, 1999. *Fuels and Engines-Volume 1*", Institut Français Du Petrole Publications, France, 1-454.
- [47] **Broering, L.C.**, 1974. "effect of diesel fuel properties on emissions and performance", *SAE Paper* No:740692.
- [48] <http://www.americancleanenergysystems.com/> american clean energy systems inc., "the impact of changes in diesel fuels specifications", ACES, USA, (2019).
- [49] **Demirbaş, A.**, 2003. "Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey", *energy conversion and management*, **44**, 2093-2019.
- [50] **Ma, F., Hanna, M.F.**, 1999. "Biodiesel production : a review", *Bio Resource Technology*, **70**, 1-15.

- [51] **Şahin, Ö., İzgi, M., Cennetkuşu, E., Bolgaz, T.**, “Kanola bitkisinden biyodizel üretimi”, *Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, Süleyman Demirel Üniversitesi, 697-707 s., Isparta, 26-28 Mayıs 2006.
- [52] Standart Specification for Diesel Fuel (B100) Blend Syock for Distillate Fuels. ASTM D6751-02.
- [53] **Caringal, W.V.**, 1989. Process develepment and economic analysis of repeeded methyl ester, *Master Of Science Thesis*, İdaho University, Graduate School of The University of İdaho, İdaho.
- [54] **Stauffer, C.E.**, 1996. Fats and oils, 1st ed., Eagan Press Handbook Series, Minnesota.
- [55] **Goering, C.E., Schwab, A.W., Dangherty, M.J., Pryde, E.H., Heakin, A.J.**, 1982. Fuel properties of eleven vegetable oils, *T.ASABE*, **25**, 1472-1477 p.
- [56] **Peterson, C.L.**, 1986. Vegetable oils as a diesel fuel: status and research priorities, *T.ASABE*, **29**, 1413-1422 p.
- [57] **Graboski, M.S., Mc Cormik, R.L.**, 1998. Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines, *Prog.Energ.Combust.*, **24**, 125-164.
- [58] **Şeker, S.**, 2007. Biyodizel üretimi ve katkı maddelerinin yakıt özellikleri üzerine etkisinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [59] <https://www.biyomotorin-biodizel.com> , 20 mayıs 2019.
- [60] **Schumacher, L.G.**, 1997. 6V-92TA DDC engine exhaust emission tests using methyl ester, National Soydiesel Development Board, USA.
- [61] **Kaya, C.**, 2006. Bitkisel yağlardan biyodizel üretimi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, Diyarbakır.
- [62] **Poulton, M.L.**, 1994. Alternative fuels for road vehicles, WIT Press, UK, 67-79 p.
- [63] **Ünaldı, M., Taşyürek, M. ve Çelik, M.**, Biyomotorin yakıtı özelliklerine yıkama fazının etkisi, *10. Uluslararası Yanma Sempozyumu*, 412-416 s., Sakarya, Ekim 2008.
- [64] **Akyarlı, A., Alpaslan, N., Çiçek, T., Diktaş, E., Elmacı, Y., Karagözlü, C., Öztüre, N., Sayın, R., Sezerman, U., Sındır, K.O., Sipahi, D. ve Şahin, M.O.**,2004. Biyodizel yakıtın uluslar arası yanma standartlarda üretimi, *Bioenergy 2004 Sempozyumu*, İzmir, Ekim 2-10 2004.

- [65] **Moser, B.R.**, 2011. Biofuels global impact on renewable energy, production agriculture, technological advancements, Springer Science Business Media, USA, 235-239 p.
- [66] **Öğüt, H. ve Oğuz, H.**, 2006. Üçüncü milenyum yakıtı biyodizel, Nobel Yayın Dağıtım, 35-43s., Ankara.
- [67] **Bhale, P.V., Deshpande, N.V. and Thombre, S.B.**, 2009. İmproving the low temperature properties of biodiesel fuel, *Renewable Energy*, 34:794-800 s.
- [68] **Rajagopal, K., Bindu, C., Prasad, R.B.N., Ahmad, A.**, 2009. Cloud point of biodiesel and blends, *Journal of Chemical, Biological and Physical Science*, 2(4):1998-2003 s.
- [69] **Ralbovsky, E.**, 1997. An introduction to compact and automotive diesels, Delmar Publisher, USA, 44-48 s.
- [70] **Lin, B.F., Huang, J.H. and Huang D.H.**,2011. Experimental study of the effects of vegetable oil methyl ester on DI diesel engine performance characteristics and pollutant emissions, *Fuel*, 88:1779-1785 p.
- [71] **Enweramadu, C.C. and Rutto, H.L.**, 2010. Combustion, emission and engine performance characteristics of used cooking oil biodiesel: *a review*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14:2863-287p.
- [72] **Alptekin, E., Çanakçı, M.**, 2006. Biyodizel ve Türkiye'deki durumu, *Mühendis ve Makine*, 47(561) 57-61 s.
- [73] **Keith, O., Coley, T.**, 1995. Automotive fuels reference book, Society of Automotive Engineering, 487, USA.
- [74] **Baiju, B., Naik, M.K. and Das, L.M.**, 2009. A comparative evaluation of compression ignition engine characteristics using methyl esters of karanja oil, *Renewable Energy*, 34:1616-1621.
- [75] **Oğuz, H.**, 1998. Bitkisel kökenli yağların tarım traktörlerinde kullanım imkanları, Selçuk Üniversitesi FBE, *Yüksek Lisans Semineri*, Konya.
- [76] **Ulusoy, Y.**, 1999. Ayçiçeği, kolza, pamuk ve soya yağlarının dizel motorlarında yakıt olarak kullanım olanaklarının belirlenmesi üzerine karşılaştırmalı bir araştırma. Uludağ Üniversitesi FBE, *Doktora Tezi*, Bursa.
- [77] **Zhou, W.**, 2000. Production of sunflower oil ethyl ester for use as biodiesel fuel, *Master Of Thesis*, Department of Chemical Engineering and Applied Chemistry, University of Toronto, Canada.

- [78] **Prankl, H. and Wörgötter, M.**, 2000. European standardisation of biodiesel. 1st world conference and exhibition on biomass for energy and industry, 5-9 June, sevilla, spain.
- [79] **Cheremisinoff, N.P.**, 1979. *Gazohol for Energy Production*, 1st ed., An Arbor Science Publisher Inc., USA.
- [80] **Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A.**, 1992. Hava kirlenmesi ve kontrol tekniği, Ders Aletleri Yapım Merkezi Matbaası, Ankara.
- [81] **Adler, U.**, 1993. *Automotive handbook*, Robert Bosch gmbH, Stuttgart.
- [82] **Haşimoğlu, C., İçingür, Y., Ögüt, H.**, 2002. Dizel motorlarında egzoz gazları resürkülasyonunun motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi, *Turkish J. Engine Environ. Sci.*, **26**, 127-135s.
- [83] **Borman, G.L., Ragland, K.W.**, 1998. *Combustion engineering*, Mc-Graw-Hill, New York.
- [84] **Kutlar, O.A., Ergeneman, M., Aslan, H., Mutlu, M.**, 1998. Taşıt egzozundan kaynaklanan kirlenmeler, Kitap, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [85] **Borat, O.**, 1992. Hava kirlenmesi ve kontrol tekniği, Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Genel Müdürlüğü, Yayın No:107.
- [86] **Heywood, J.B.**, 1988. *Internal Combustion Engine Fundamentals*, Mc Graw-Hill.
- [87] **Özsezen, A.N.**, 2007. Atık palmiye yağından üretilen biyodizel motor performans ve emisyon karakteristikleri üzerine etkisinin incelenmesi, Kocaeli Üniversitesi FBE, *Doktora Tezi*, 197933, Kocaeli.
- [88] **Zheng, M., Mulenga, M.C., Reader, G.T., Wang, M., Ting, D.S.K. and Tjang, J.**, 2008. Biodiesel engine performance and emissions in low temperature combustion, *Fuel*, **87**,6, 714-722s.
- [89] [https://depo.btu.edu.tr/dosyalar/makine/dosyalar/içten yanmalı motorlarda performans / pdf](https://depo.btu.edu.tr/dosyalar/makine/dosyalar/içten_yanmalı_motorlarda_performans_pdf). 15 Mayıs 2019

EKLER

Ek Tablo 1.1. Yakıt numunelerinin özgül yakıt tüketimi verileri

ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMİ (gr/Kwh)					
Gaz Kelebek Açıklığı (%)	STANDART DİZEL	B100	BDE5	BDE10	BDE15
25	277,89	300	312,98	324,705	330,675
30	265,75	285,965	304,87	310,543	320,87
35	247,2	270	287,67	295,27	300
40	237,28	253,846	265,987	280	290,4
45	230	248,275	257,14	268,96	287,14
50	247,05	262,5	270	276,774	290,322
55	264,72	274,345	292,3	296,965	305,454

Ek Tablo 1.2. Yakıt numunelerinin efektif mototor momenti verileri

EFEKTİF MOTOR MOMENTİ (Nm)					
Gaz Kelebek Açıklığı (%)	STANDART DİZEL	B100	BDE5	BDE10	BDE15
25	52,835	42,4	44,9	48,1	46,05
30	62,15	55,9	51,25	55,2	51,65
35	67,55	58,6	58	60,7	58,25
40	77,85	70,1	67,35	69	66,6
45	86,9	80,2	77,4	77,2	77,7
50	93,8	87,6	85,25	83,1	84,3
55	103,15	95,6	92,9	91,8	91,2

Ek Tablo 1.3. Yakıt numunelerinin efektif motor gücü verileri

EFEKTİF MOTOR GÜCÜ (kW)					
Gaz Kelebek Açıklığı (%)	STANDART DİZEL	B100	BDE5	BDE10	BDE15
25	9,5	8	8,5	8,5	8,5
30	11,5	10,5	9	10	9,5
35	12,5	11	11	11	10,5
40	14,5	13	12	13	12,5
45	16,5	14,5	14	14,5	14
50	17	16	16	15,5	15,5
55	19	18	17	17	16,5

Ek Tablo 1.4. Yakıt numunelerinin efektif motor verimi verileri

EFEKTİF MOTOR VERİMİ (%)					
Gaz Kelebek Açıklığı (%)	STANDART DİZEL	B100	BDE5	BDE10	BDE15
25	8,4	8,1	7,6	8,5	8,6
30	9,3	9,6	8,6	9,6	9,1
35	9,4	9,7	9,5	9	9,4
40	9,6	10,4	9	10,2	9,7
45	10,2	9,5	9,7	10,3	9,8
50	8,9	9,1	10	10	9,7
55	9,2	9,9	9,9	9,6	9,2

Ek Tablo 1.5. Yakıt numunelerinin is emisyonları verileri

Gaz Kelebek Açıklığı (%)	Sabit 1750 d/d'da is emisyonları (%)				
	STANDART DİZEL	B100	BDE5	BDE10	BDE15
25	0,03	0	0,005	0,015	0,0075
30	0,05	0,03	0,02	0,0175	0,0075
35	0,065	0,03	0,04	0,01	0,05
40	0,065	0,025	0,015	0,015	0,015
45	0,115	0,02	0,01	0,015	0,0225
50	0,25	0,04	0,02	0,015	0,03
55	0,145	0,04	0,04	0,03	0,03

Ek Tablo 1.6. HC emisyon verileri

Gaz Kelebek Açıklığı (%)	Sabit 1750 d/d'da HC emisyonları (ppm)				
	STANDART DİZEL	B100	BDE5	BDE10	BDE15
25	14	15	12,5	10,5	12
30	16	15	14	9,5	8
35	14,5	15	13,5	10,5	10
40	16,5	15	15	11,5	12
45	15	15,5	13,5	11	12
50	17	15,5	18,5	11,5	11,5
55	16,5	17	16	12	12

Ek Tablo 1.7. CO₂emisyron verileri

Gaz Kelebek Açıklığı(%)	Sabit 1750 d/d'da CO ₂ emisyonları (% hac)				
	STANDART DİZEL	B100	BDE5	BDE10	BDE15
25	5,335	4,66	4,75	5,045	4,69
30	5,93	5,315	5,315	5,66	5,51
35	6,415	5,795	5,815	6,005	5,815
40	7,1	6,485	6,51	6,58	6,535
45	7,83	7,22	7,19	7,2	7,095
50	8,215	7,675	7,755	7,71	7,705
55	8,71	8,225	8,225	8,285	8,155

Ek Tablo 1.8. O₂ emisyon verileri

Gaz Kelebek Açıklığı (%)	Sabit 1750 d/d'da O ₂ emisyonları (% hac)				
	STANDART DİZEL	B100	BDE5	BDE10	BDE15
25	13	14,31	14,135	13,775	13
30	12,18	13,405	13,44	12,86	12,18
35	11,555	12,64	12,685	12,35	11,555
40	10,58	11,725	11,71	11,635	10,58
45	9,535	10,735	10,765	10,7	9,535
50	8,915	10,075	10,185	10,02	8,915
55	8,255	9,345	9,325	9,335	8,255

ÖZGEÇMİŞ

1981’de Elazığ’da doğdu. İlk ve orta öğretimini burada tamamladı. 2001 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliği Bölümünü kazandı ve bir yılı İngilizce hazırlık olmak üzere 2006’da bu okuldan mezun oldu. 2008 yılında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Otomotiv Programında yüksek lisans eğitimine başladı. 2009 yılında Emniyet Genel Müdürlüğünde Polis Memuru olarak devlet memurluğuna atandı. 2016 yılında komiser yardımcılığı rütbesini aldı ve halen bu kurumda görevine devam etmektedir. 2013 yılından beri evlidir. İyi derecede İngilizce bilgisine sahiptir.