



T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİYOETANOL İLE MENENĞİÇ BİYODİZELİNİN
MOTORİNLE KARIŞIMLARININ DİZEL
MOTORDA PERFORMANS, EGZOZ
EMİSYONLARI VE YAĞLAMA YAĞINA
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Ayşe Betül BALCI
DOKTORA TEZİ

Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği
Anabilim Dalı

AĞUSTOS-2017
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ayşe Betül BALCI tarafından hazırlanan “Biyometanol İle Menengiç Biyodizelinin Motorinle Karışımlarının Dizel Motorda Performans, Egzoz Emisyonları ve Yağlama Yağına Etkilerinin İncelenmesi” adlı tez çalışması 11/08/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza


Başkan

Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT



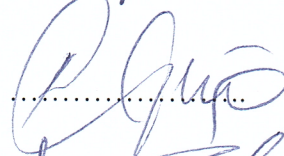
Danışman

Prof. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ



Üye

Prof. Dr. Kazım ÇARMAN



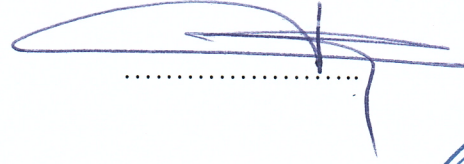
Üye

Prof. Dr. Sedat ÇALIŞIR

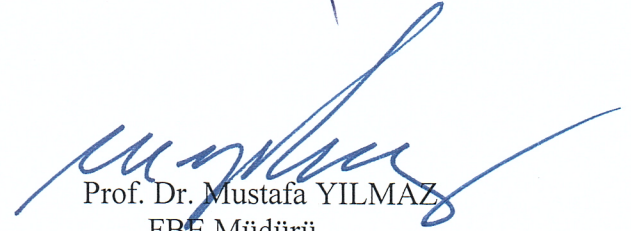


Üye

Yrd. Doç. Dr. Tanzer ERYILMAZ



Yukarıdaki sonucu onaylarım.



Prof. Dr. Mustafa YILMAZ
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 15201034 nolu proje ile desteklenmiştir.

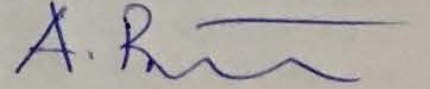
TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Öğrencinin Adı SOYADI
AYŞE BETÜL BALCI
Tarih: 11.08.2017



ÖZET

DOKTORA TEZİ

BİYOETANOL İLE MENENĞİÇ BİYODİZELİNİN MOTORİNLE KARIŞIMLARININ DİZEL MOTORDA PERFORMANS, EGZoz EMİSYONLARI VE YAĞLAMA YAĞINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Ayşe Betül BALCI

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ

2017, 134 Sayfa

Jüri

Danışman Prof. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ

Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT

Prof. Dr. Kazım ÇARMAN

Prof. Dr. Sedat ÇALIŞIR

Yrd. Doç. Dr. Tanzer ERYILMAZ

Bu çalışmada, alternatif yakıt olarak menengiç yağından transesterifikasyon yöntemi ile üretilen menengiç metil esteri (biyodizel), motorin ve biyoetanol yakıtlarıyla hacimsel olarak farklı oranlarda karıştırılmış (E-B1-M1: % 2.5 biyoetanol + % 2.5 biyodizel + % 95 motorin, E-B2-M2: % 2.5 biyoetanol + % 5 biyodizel + % 92.5 motorin, E-B3-M3: % 2.5 biyoetanol + % 7.5 biyodizel + % 90 motorin) ve elde edilen biyodizel + motorin + biyoetanol karışım yakıtları, dört zamanlı ve tek silindirli bir dizel motorda, motor performans parametreleri (moment, güç, özgül yakıt tüketimi, saatlik yakıt tüketimi) ve egzoz emisyon değerlerindeki (CO, CO₂, HC, O₂, SO₂, NO_x) değişimin belirlenmesi açısından test edilmişlerdir. Motor denemeleri öncesinde motorin (M100) ve karışımlarına (E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3) ait yakıtların fiziksel ve kimyasal yakıt özellikleri (yoğunluk, kinematik viskozite, parlama noktası, su içeriği, kalori değeri, bakır şerit korozyon, soğuk filtrelenme noktası, bulutlanma ve akma noktaları, setan sayısı, kül mühtevası, asit sayısı, iyot sayısı) belirlenmiş, motor denemeleri ise motorda herhangi bir değişiklik yapılmaksızın gerçekleştirilmiştir. Karışım yakıtlarına ait elde edilen performans ve emisyon değerlerine ait olan veriler motorin (M100) yakıtına ait veriler ile mukayese edilerek karışım yakıtlarının kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada ayrıca motorin (M100) ve karışım (E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3) yakıtlarının her biri için yapılan 100'er saatlik motor denemelerinde farklı zaman dilimleri (0, 20., 40., 60., 80. ve 100. saat) için motor yağlama yağından numuneler alınarak aşınma elementi (Al, Fe, Pb, Cu, Cr) analizleri yapılmış, karışım yakıtları yağlama yağına ait sonuçlar motorin (M100) ile karşılaştırılarak yağlama yağındaki değişimler incelenmiştir. Araştırma sonucunda, karışım yakıtlarına (E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3) ait motor performans değerlerinde motorin (M100) değerlerine kıyasla azda olsa düşüş ve yükselişlerin meydana geldiği, ayrıca karışım yakıtları içersinden E-B1-M1 yakıtının dizel yakıtına daha yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. M100 yakıtına göre E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının tamamında CO, SO₂ egzoz emisyon değerlerinde azalma olur iken HC, CO₂, O₂, NO_x emisyonlarında artış olduğu tespit edilmiştir. Motor yağlama yağı açısından ise en iyi sonuç E-B3-M3 yakıtından alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Menengiç, Biyodizel, Biyoetanol, Biyoyakıtlar, Motor Performansı, E-B-Dizel, Emisyon, Motor Yağlama Yağı

ABSTRACT

Ph.D THESIS

INVESTIGATION FOR EFFECTS OF BIOETHANOL AND TEREBINTH BIODIESEL BLENDS WITH DIESEL TO PERFORMANCE, EXHAUST EMISSIONS AND LUBRICATING OIL IN DIESEL ENGINE

Ayşe Betül BALCI

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED
SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
DEPARTMENT OF AGRICULTURAL MACHINERY AND
TECHNOLOGY ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Hakan Okyay MENGES

2017, 134 Pages

Jury

Advisor Prof. Dr. Hakan Okyay MENGES

Prof. Dr. Hüseyin ÖGÜT

Prof. Dr. Kazım ÇARMAN

Prof. Dr. Sedat ÇALIŞIR

Asst. Prof. Dr. Tanzer ERYILMAZ

In this study, methyl ester (biodiesel) as an alternative fuel produced from terebinth oil, with the transesterification method, is blend with diesel and bioethanol fuels at different rates volumetrically (E-B-M1: % 2.5 bioethanol + % 2.5 biodiesel + % 95 diesel, E-B-M2: % 2.5 bioethanol + % 5 biodiesel + % 92.5 diesel, E-B-M3: % 2.5 bioethanol + % 7.5 biodiesel + % 90 diesel) and blends of the obtained biodiesel + diesel + bioethanol fuels are tested at four strokes and single cylinder diesel engine in terms of engine performance (moment, power, specific fuel consumption, hourly fuel consumption) and determining the changes of exhaust emission values (CO, CO₂, HC, O₂, SO₂, NO_x). Before engine testing, the diesel (M100) and mixtures (E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3) the physical and chemical specification (intensity, kinematic viscosity, flash point, water content, calorific value, copper strip corrosion, cold filter plunger point, cloud and pour points, cetane number, ash contents, acid number, iodine number) are determined, engine testing is also conducted without any modification at the engine. By comparing the data of the performance and emission of the blend diesel with the Diesel (M100) fuel, the usability of the blend fuels are researched. Furthermore, during the processes of engine testing (100 hours for each) made for diesel (M100) and blends (E-B1-M1, E-B1-M2, E-B3-M3) fuels, samples are taken from engine lubrication oils for different periods of time (0, 20., 40., 60., 80. and 100. hours) wear elements (Al, Fe, Pb, Cu, Cr) analysis are investigated. As a result of the research, it has been seen that there are decreases and increases in engine performance values of the blend fuels (E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3) also it has been seen that E-B1-M1 fuels giving closer results according to diesel fuels. When compared with M100 fuel, in all E-B1-M1, E-B2-M2, and E-B3-M3 fuels CO, SO₂ exhaust emissions are decreased while in HC, CO₂, O₂, NO_x emissions are increased. The best results regarding engine lubrication oil is performed by the E-B3-M3 fuel.

Keywords: Biodiesel, Bioethanol, Biofuels, E-B-Diesel, Emission, Engine Performance, Engine Lubrication Oil, Terebinth

ÖNSÖZ

Bu araştırmanın doktora tezi olarak planlanıp yürütülmesinde ve sonuçların değerlendirilmesinde destek ve yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ'e, çalışma boyunca bana yol gösteren ve destekleyen Sayın Prof. Dr. Hüseyin ÖĞÜT'e, Prof. Dr. Hidayet OĞUZ'a, laboratuvar çalışmalarında bana yardımcı olan Arş. Gör. Seda ŞAHİN'e, motor denemeleri sırasında daima yardımlarını gördüğüm Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü atölyesi personeli Fevzi DUMAN'a, ayrıca Yrd. Doç. Dr. Fatih AYDIN'a, Arş. Gör. Nurettin KAYAHAN'a, Arş. Gör. Nuri ORHAN'a, Uzman Dr. Ceyla GÜNGÖR'e, Osman AKYÜZ'e, Mustafa AĞAÇDELEN'e, çalışmalarımı aksatmadan sürdürebilmeme yardımcı olan değerli iş verenim Metin ARIKAN'a, çalışmanın gerçekleşmesi için maddi imkan sağlayan Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne ve burada adını sayamadığım bir çok kişiye teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca çalışmalarım sırasında bana daima destek olan anneme, babama, kardeşime ve anneanneme teşekkür ederim.

Ayşe Betül BALCI
KONYA-2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
Şekiller dizini.....	xiv
Çizelge dizini	xvi
1. GİRİŞ	1
1.1. Biyoyakıtlar	5
1.1.1. Dünya ve Türkiye’de biyoyakıtların durumu	5
1.1.2. Biyoyakıt çeşitleri	7
1.1.2.1. Biyoetanol	7
1.1.2.2. Biyodizel	9
1.1.2.3. Bitkisel yağlar ve yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi	11
1.1.3. Biyoyakıtların yakıt özellikleri	14
1.1.3.1. Yoğunluk	15
1.1.3.2. Kinematik viskozite	15
1.1.3.3. Parlama noktası	16
1.1.3.4. Setan sayısı	16
1.1.3.5. Sülfatlanmış kül içeriği	17
1.1.3.6. Su içeriği	17
1.1.3.7. Asit sayısı	17
1.1.3.8. İyot sayısı	18
1.1.3.9. Kalori değeri (ısııl değer)	18
1.1.3.10. Soğuk akış özellikleri	18
1.1.4. Biyoyakıtların motorda kullanım imkanları	19
1.1.4.1. Biyoetanol	19
1.1.4.2. Biyodizel	20
1.1.5. Biyoyakıtların avantaj ve dezavantajları	21
1.1.5.1. Biyoetanol	21
1.1.5.2. Biyodizelin avantaj ve dezavantajları	22
1.2. Dizel Motorlarda Yağlama Yağının Görevi ve Önemi	24
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	27
2.1. Menengiç Meyvesi (<i>Pistacia Terebinthus</i>) ile İlgili Yapılan Çalışmalar ...	27
2.2. Biyoyakıtların Yakıt Özellikleri ve Yakıt Olarak Kullanımına Yönelik Çalışmalar	28
2.2.1. Biyodizelin ve biyodizel – motorin karışımlarının yakıt olarak kullanımı ...	29
2.2.2. Biyoetanol - biyodizel - motorin karışımlarının yakıt olarak kullanımı	34
2.2.3. Dizel motorlarda kullanılan yağlama yağı	40

3. MATERYAL VE YÖNTEM..... 43

3.1. Materyal.....	43
3.1.1. Araştırmada kullanılan materyaller	43
3.1.1.1. Menengiç (<i>pistacia terebinthus</i> L.).....	43
3.1.1.2. Biyoetanol.....	44
3.1.1.3. Motorin	44
3.1.1.4. Motor yağlama yağı	45
3.1.2. Meyvenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan alet ve cihazlar.....	45
3.1.2.1. Dijital kumpas.....	45
3.1.2.2. Etüv	46
3.1.3. Menengiç metil esterinin üretilmesinde kullanılan pilot üretim tesisi.....	46
3.1.4. Fiziksel, kimyasal yakıt özelliklerin belirlenmesinde kullanılan cihazlar	51
3.1.4.1. Yoğunluk ölçüm cihazı.....	51
3.1.4.2. Kinematik viskozite ölçüm cihazı.....	51
3.1.4.3. Parlama noktası tayin cihazı	52
3.1.4.4. Su içeriği tayin (karl-fischer titrasyon) cihazı	53
3.1.4.5. Kalori tayin cihazı.....	53
3.1.4.6. Bakır şerit korozyonu test cihazı	54
3.1.4.7. Soğuk filtre tıkanma noktası tayin cihazı	55
3.1.4.8. Bulutlanma ve akma noktaları tayin cihazı.....	55
3.1.4.9. Setan sayısı ölçüm cihazı	56
3.1.4.10. Kül muhtevası ölçüm cihazı	57
3.1.4.11. Homojenizatör	58
3.1.4.12. Hassas terazi	58
3.1.5. Motor deney ve test düzeneği	59
3.1.5.1. Deney motoru	61
3.1.5.2. Hidrolik dinamometre.....	62
3.1.5.3. Magnetic pick-up	62
3.1.5.4. S tipi load cell	63
3.1.5.5. Kütleli yakıt tüketimi ölçüm cihazı	64
3.1.5.6. Dinamometre kontrol ünitesi	65
3.1.5.7. Egzoz emisyon ölçüm cihazı	66
3.1.6. ICP analiz cihazı	67
3.1.7. Araştırmada kullanılan kimyasallar	68
3.1.7.1. Metil alkol ve katalizör	68
3.2. Yöntem	69
3.2.1. Menengiç meyvesinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi.....	69
3.2.1.1. Bindane ağırlığı.....	69
3.2.1.2. Boyutlar ve şekil	69
3.2.1.3. Geometrik ortalama çap ve küresellik	70
3.2.1.4. Projeksiyon alanı.....	71
3.2.1.5. Nem tayini.....	71
3.2.2. Menengiç meyvesinden yağ elde edilmesi	72
3.2.3. Menengiç yağının kimyasal özelliklerinin belirlenmesi.....	75
3.2.3.1. Nispi yoğunluk.....	75
3.2.3.2. Sabunlaşma sayısı	76
3.2.3.3. Peroksit sayısı	77
3.2.3.4. Sabunlaşmayan madde sayısı.....	78

3.2.3.5. Serbest yağ asitleri	79
3.2.4. Menengiç metil esterinin (menengiç biyodizeli) elde edilmesi	80
3.2.5. Menengiç metil esteri (menengiç biyodizeli), biyoetanol ve motorin karışımlarının hazırlanması.....	82
3.2.6. Yakıt ve karışımlarının yakıt özelliklerinin belirlenmesi	83
3.2.6.1. Yoğunluk	83
3.2.6.2. Kinematik viskozite	84
3.2.6.3. Parlama noktası.....	84
3.2.6.4. Su içeriği	84
3.2.6.5. Kalori değeri	85
3.2.6.6. Bakır şerit korozyon testi	85
3.2.6.7. Soğuk filtre tıkanma noktası	86
3.2.6.8. Bulutlanma ve akma noktaları	86
3.2.6.9. Setan sayısı	87
3.2.6.10. Kül muhtevası	87
3.2.6.11. Asit sayısı.....	87
3.2.6.12. İyot sayısı.....	87
3.2.7. Motor deney ve test düzeneğinin hazırlanması.....	87
3.2.8. Motor denemelerinde motor yağlama yağında numune alınması.....	88
3.2.9. Motor performansı ve egzoz emisyon değerlerinin belirlenmesi	88
3.2.9.1. Motor momenti	88
3.2.9.2. Efektif motor gücü	89
3.2.9.3. Özgül yakıt tüketimi	90
3.2.10. Motor yağlama yağında aşınma elementi analizi	90
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	92
4.1. Menengiç Meyvesine ait Fiziksel ve Kimyasal Özellikler	92
4.2. Menengiç Yağına ait Kimyasal Özellikler	92
4.3. Yakıt Özellikleri	93
4.4. Motor Performansı ve Egzoz Emisyon Sonuçları	95
4.4.1. Performans deneyleri sonuçları	95
4.4.1.1. Motor momenti değerlerinin değişimi	95
4.4.1.2. Efektif motor gücü değerlerinin değişimi.....	96
4.4.1.3. Yakıt tüketimi değerlerinin değişimi	97
4.4.2. Egzoz emisyon sonuçları	99
4.4.2.1. Karbonmonoksit (CO) sonuçlarının karşılaştırılması	99
4.4.2.2. Karbondioksit (CO ₂) sonuçlarının karşılaştırılması.....	100
4.4.2.3. Hidrokarbon (HC) sonuçlarının karşılaştırılması	101
4.4.2.4. Oksijen (O ₂) sonuçlarının karşılaştırılması.....	102
4.4.2.5. Kükürtdioksit (SO ₂) sonuçlarının karşılaştırılması.....	103
4.4.2.6. Azotoksit (NO _x) sonuçlarının karşılaştırılması.....	104
4.5. Motor Yağlama Yağında Aşınma Elementleri Sonuçları.....	106
4.5.1. Alüminyum (Al)	106
4.5.2. Demir (Fe).....	107
4.5.3. Kurşun (Pb).....	108
4.5.4. Bakır (Cu)	109
4.5.5. Krom (Cr)	110
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	112

5.1. Sonuçlar	112
5.2. neriler	117
KAYNAKLAR	118
EKLER	129
ÖZGEÇMİŞ	134



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a	: 20 °C'de piknometrenin darası
Al	: Alüminyum
Ag	: Gümüş
AN	: Akma noktası
B	: Boron
B_s	: Saatlik yakıt tüketimi
b_e	: Özgül yakıt tüketimi
BN	: Bulutlanma noktası
C	: Karbon
CFPP	: Soğuk filtre tıkanma noktası
C_2H_5OH	: Biyoetanol
CH_3OH	: Metil alkol
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
CP	: Bulutlanma noktası
CO	: Karbonmonoksit
CO_2	: Karbondioksit
D_p	: Geometrik ortalama çap
F	: Hidrolik güç freninin moment kolu üzerinden teraziye uyguladığı kuvvet
Fe	: Demir
g	: Genişlik
Pb	: Kurşun
PP	: Akma noktası
H	: Hidrojen
HC	: Hidrokarbon
HVO	: Hydrotrated vegetable oil
k	: Kalınlık
KOH	: Potasyum hidroksit
L	: Hidrolik frenin moment kolu uzunluğu
L_u	: Uzunluk
m	: Deney numunesinin kütlesi
m_o	: Kullanılan örnek miktarı
m	: 20°C'de yağ dolu piknometrenin ağırlığı
m_1	: Buharlaştırma kabının (erlenin) darası
m_{1p}	: 20°C de su dolu piknometrenin ağırlığı
m_2	: Buharlaştırma kabı (erlen) ve kalıntının kütlesi
m_3	: Tanık deneyde bulunan kalıntının kütlesi
M_d	: Motor döndürme momenti
m_t	: Bütün danelerin kütlesi
m_n	: Numunenin ağırlığı

min^{-1}	: Devir / dakika
Mg	: Magnezyum
Mo	: Mobilden
n	: Motor devir sayısı
N	: Azot
N_d	: Danelerin sayısı
Na	: Sodyum
NaOH	: Sodyum hidroksit
N_e	: Efektif motor gücü
Ni	: Nikel
NiCrAl	: Nikel-krom-alüminyum
NO	: Azotoksit
NO_x	: Azotoksit ve türevleri
N_k	: Kuru baza göre nem oranı
N_y	: Yaş baza göre nem oranı
SFTN	: Soğuk filtre tıkanma noktası
Si	: Silisyum
Sn	: Kalay
SO_2	: Kükürtdioksit
SS	: Sabunlaşma sayısı
O_2	: Oksijen
u	: Uzunluk
T	: Kalınlık
Ti	: Titanyum
V_t	: Deney için hazırlanan tiyosülfat miktarı
V	: Titrasyonda harcanan 0.1 N biyoetanollü KOH çözeltisinin hacmi
V_1	: Yağ örneği için hazırlanan HCl
V_2	: Şahit deney için hazırlanan HCl
$Y_2O_3ZrO_2$: Yitriyumlu stabilize zirkonya
Zn	: Çinko
W	: Genişlik
W_k	: Kuru madde ağırlığı
W_s	: Ürünün içerdiği su ağırlığı
Φ	: Küresellik

Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ASTM	: American Society for Testing and Material
B10	: % 10 Kolza biyodizeli + % 90 Motorin
B2	: % 2 Biyodizel + % 98 Motorin
B3	: % 3 Biyodizel + % 97 Motorin
B5	: % 5 Biyodizel + % 95 Motorin
B10	: % 10 Biyodizel + % 90 Motorin
B20	: % 20 Biyodizel + % 80 Motorin
B25	: % 25 Biyodizel + % 75 Motorin
B50	: % 50 Biyodizel + % 50 Motorin
B80	: % 80 Biyodizel + % 20 Motorin
B100	: % 100 Biyodizel
B85E15	: % 85 Biyodizel % 15 Biyoetanol
B85M15	: % 85 Biyodizel % 15 Metanol
BDE	: Biyodizel – Motorin – Biyoetanol
BE	: Biyodizel – Biyoetanol
BYME	: Balık Yağı Metil Esteri
BYME50	: % 50 Balık Yağı Metil Esteri + % 50 Motorin
D85B5E15	: % 85 Motorin + % 5 Biyodizel + % 15 Biyoetanol
DIK	: Düşük Isı Kaybı
E2.5B2.5 M95	: % 2.5 Biyoetanol + % 2.5 Biyodizel + % 95 Motorin
E2.5B5M92.5	: % 2.5 Biyoetanol + % 5 Biyodizel + % 92.5 Motorin
E5B2.5M92.5	: % 5 Biyoetanol + % 2.5 Biyodizel + % 92.5 Motorin
E5B5M90	: % 5 Biyoetanol + % 5 Biyodizel + % 90 Motorin
E20B20D60	: % 20 Biyoetanol + % 20 Biyodizel + % 60 Motorin
E20B10	: % 20 Biyoetanol + % 10 Biyodizel + % 70 Motorin
E30B20D50	: % 30 Biyoetanol + % 20 Biyodizel + % 50 Motorin
E50B20D30	: % 50 Biyoetanol + % 20 Biyodizel + % 30 Motorin
E-B1-M1	: % 2.5 Biyoetanol + % 2.5 Biyodizel + % 95 Motorin
E-B2-M2	: % 2.5 Biyoetanol + % 5 Biyodizel + % 92.5 Motorin
E-B3-M3	: % 2.5 Biyoetanol + % 7.5 Biyodizel + % 90 Motorin
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
FYME	: Fındık Yağı Metil Esteri
FYME50	: % 50 Fındık Yağı Metil Esteri + % 50 Motorin
LOME	: Keten Yağı Metil Esteri
M100	: Motorin
NEDC	: New European Driving Cycle
PKDY	: Petrol Kökenli Dizel Yakıtı
PM	: Partikül Madde
USA	: United States of America

Şekiller dizini

- Şekil 1.1. : Biyoyakıtların hammadde kaynakları, dönüştürülme yöntemleri ve kullanım alanları
- Şekil 1.2. : Yıllara göre Dünya biyoyakıt üretimi
- Şekil 1.3. : Ülkelerin 2016 yılı biyoyakıt üretim miktarları
- Şekil 1.4. : Türkiye’de biyoetanol üretim, tüketim ve ihracat verileri
- Şekil 1.5. : Biyoetanol üretim prosesi
- Şekil 1.6. : Dünya yağlı tohum üretim miktarları
- Şekil 1.7. : Türkiye’de 2016 yılı yağlı tohum üretim miktarlarının % olarak görünümü
- Şekil 1.8. : Bitkisel yağların yakıt özelliklerini iyileştirme yöntemleri
- Şekil 1.9. : Transesterifikasyon reaksiyonu
- Şekil 1.10. : Biyodizel üretim prosesi
- Şekil 1.11. : Biyoyakıtların motorlarda kullanılması
- Şekil 3.1. : Menengiç bitkisi
- Şekil 3.2. : Dijital kumpas
- Şekil 3.3. : Etüv
- Şekil 3.4. : PLC destekli pilot üretim tesisi
- Şekil 3.5. : PLC destekli pilot üretim tesisi şematik görünümü
- Şekil 3.6. : Biyodizel laboratuvarının genel görünüşü
- Şekil 3.7. : Yoğunluk ölçüm cihazı
- Şekil 3.8. : Kinematik viskozite ölçüm cihazı ve kronometre
- Şekil 3.9. : Parlama noktası tayin cihazı
- Şekil 3.10. : Su içeriği tayin cihazı
- Şekil 3.11. : Kalori tayin cihazı
- Şekil 3.12. : Bakır şerit korozyonu test cihazı
- Şekil 3.13. : Soğuk filtre tıkanma noktası tayin cihazı
- Şekil 3.14. : Bulutlanma ve akma noktası tayin cihazı
- Şekil 3.15. : Setan sayısı ölçüm cihazı
- Şekil 3.16. : Kül muhtevası ölçüm cihazı
- Şekil 3.17. : Homojenizatör
- Şekil 3.18. : Hassas terazi
- Şekil 3.19. : Motor deney ve test düzeneğinin şematik görünümü
- Şekil 3.20. : Deney motoru ve test düzeneği
- Şekil 3.21. : Hidrolik dinamometre
- Şekil 3.22. : Magnetic pick-up
- Şekil 3.23. : S tipi load cell
- Şekil 3.24. : Kütlesel yakıt tüketimi ölçüm cihazı
- Şekil 3.25. : Dinamometre kontrol ünitesi (a) ve kayıt sistemi (b)
- Şekil 3.26. : Egzoz emisyon ölçüm cihazı
- Şekil 3.27. : ICP cihazı
- Şekil 3.28. : Sodyum hidroksit ve metil alkol
- Şekil 3.29. : Menengiç meyvesinin boyutlarının belirlenmesi
- Şekil 3.30. : Menengiç meyvesinin nem oranını belirlemek için etüve konulan numuneler
- Şekil 3.31. : Menengiç meyvesinin yağ elde etme prosesi şematik görünümü
- Şekil 3.32. : Menengiç meyvesine kırma işleminin uygulanması
- Şekil 3.33. : Tavlama işleminin yapılması

- Şekil 3.34. : Hidrolik presten yağ elde edilmesi, menengiç yağı ve küspesi
Şekil 3.35. : Gliserol ve ham biyodizel
Şekil 3.36. : Menengiç biyodizeli
Şekil 3.37. : Hazırlanan karışım yakıtları
Şekil 3.38. : Motor test düzeneğinde döndürme momenti ölçümünün şematik görünümü
- Şekil 4.1. : M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının devir sayısına bağlı olarak motor momenti değerleri
Şekil 4.2. : M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının devir sayısına bağlı olarak efektif motor gücü değerleri
Şekil 4.3. : M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının devir sayısına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değerleri
Şekil 4.4. : M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının devir sayısına bağlı olarak saatlik yakıt tüketimi değerleri
Şekil 4.5. : M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının devir sayısına bağlı olarak CO değerleri
Şekil 4.6. : M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının devir sayısına bağlı olarak CO₂ değerleri
Şekil 4.7. : M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının devir sayısına bağlı olarak HC değerleri
Şekil 4.8. : M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının devir sayısına bağlı olarak O₂ değerleri
Şekil 4.9. : M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının devir sayısına bağlı olarak SO₂ değerleri
Şekil 4.10. : M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının devir sayısına bağlı olarak NO_x değerleri
Şekil 4.11. : M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının çalışma süresine bağlı olarak motor yağlama yağı içerisindeki alüminyum (Al) miktarı
Şekil 4.12. : M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının çalışma süresine bağlı olarak motor yağlama yağı içerisindeki demir (Fe) miktarı
Şekil 4.13. : M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının çalışma süresine bağlı olarak motor yağlama yağı içerisindeki kurşun (Pb) miktarı
Şekil 4.14. : M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının çalışma süresine bağlı olarak motor yağlama yağı içerisindeki bakır (Cu) miktarı
Şekil 4.15. : M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının çalışma süresine bağlı olarak motor yağlama yağı içerisindeki krom (Cr) miktarı

Çizelge dizini

- Çizelge 1.1. : Biyoetanol üretimi için farklı hammaddeler ve bunların karşılaştırmalı üretim potansiyeli
- Çizelge 1.2. : Yıllara göre Türkiye'deki yağlı tohum üretim değerleri
- Çizelge 1.3. : Biyoetanol, biyodizel ve motorin yakıtının yakıt özelliklerinin karşılaştırılması
- Çizelge 1.4. : Aşınma metalleri ve kaynak noktaları
- Çizelge 3.1. : Dijital kumpasa ait teknik özellikler
- Çizelge 3.2. : Etüv cihazına ait teknik özellikler
- Çizelge 3.3. : Kül muhtevası cihazına ait teknik özellikleri
- Çizelge 3.4. : Deney motoruna ait teknik özellikler
- Çizelge 3.5. : Hidrolik dinamometreye ait teknik özellikler
- Çizelge 3.6. : S tipi load cell'e ait teknik özellikler
- Çizelge 3.7. : Egzoz emisyon cihazına ait teknik özellikler
- Çizelge 3.8. : Menengiç yağı yağ asidi konsantrasyonu
- Çizelge 3.9. : Karışım adı ve karışım oranları
- Çizelge 3.10. : TS 2741 EN ISO 2160 referans korozyon şeritlerinin derecelendirilmesi
- Çizelge 4.1. : Menengiç meyvesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri
- Çizelge 4.2. : Menengiç yağının kimyasal özellikleri
- Çizelge 4.3. : Yakıt özellikleri ve analiz sonuçları

1. GİRİŞ

Enerji, günümüzde en önemli tüketim maddelerinden biri ve vazgeçilmez uygarlık aracıdır. Gelişmişlik düzeyi yüksek olan ülkelerin en önemli ihtiyaçlarının başında gelen enerji tüketimi sürekli olarak artmaktadır. Günümüzde tüketmekte olduğumuz enerjinin büyük bir çoğunluğu fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil yakıt kullanımının çevre ve insan sağlığına verdiği zararlar göz önüne alındığında bunun gelecekte telafisi olmayan zararlara yol açacağı kaçınılmaz olacaktır. Enerji üretiminde fosil kaynak kullanımının devam edebilme olanağının kalmadığı bir gerçektir. Günümüzde sanayinin gelişimine paralel olarak kullanımı giderek artan fosil kaynakların kalkınma ve sanayileşme yolunda verdiği zararlar önceleri göz ardı edilse bile şuan bu enerji kaynaklarının yerine çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması gerçeği her geçen gün daha da iyi anlaşılmaktadır (Anonim, 2012b).

Türkiye ekonomisinin yüksek ve istikrarlı büyüebilmesi için mümkün olan bütün yerli kaynakların enerji üretimi amacıyla değerlendirilmesi öncelikli bir husustur. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının hem birincil enerji arzı hem de elektrik üretimi amacıyla değerlendirilmesi sürdürülebilir kalkınmanın temini açısından önem taşımaktadır (Anonim, 2013). Sürdürülebilir kalkınma, insan ve doğa arasında denge kurarak, doğal kaynaklara zarar vermeden, kaynakların bilinçli olarak tüketilmesini sağlayarak gelecek nesillerin ihtiyaçlarının karşılanmasına ve kalkınmasına imkan verecek şekilde bugünün ve geleceğin yaşamının ve kalkınmasının planlanması olarak tanımlanmaktadır (Ergüder, 2011). Bu bağlamda bilim ve teknolojinin ilerlemesi sayesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının bilinçli, daha etkin ve yerinde kullanımı hedeflenmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynakları, yeryüzünde ve doğada çoğunlukla herhangi bir üretim sürecine (prosesine) ihtiyaç duyulmadan temin edilebilen, fosil kaynaklı (kömür, petrol ve karbon türevi) olmayan, özellikle elektrik enerjisi üretilirken CO_2 emisyonu az bir seviyede gerçekleşen, çevreye zararı ve etkisi geleneksel enerji kaynaklarına göre çok daha düşük olan, sürekli bir devinimle yenilenen ve kullanılmaya hazır olarak doğada var olan enerji kaynaklarıdır. Bu kaynaklar, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi ve dalga enerjisi olarak sıralanabilir (Anonim, 2012b).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıyla;

- İthal edilen yakıtlara olan bağımlılık azalacak,
- Yerli kaynaklara öncelik verilmesi sağlanacak,
- Yerli üretim sonucu istihdam artacak,
- Sürdürülebilir ekonomik büyüme ve gelişmeye imkan sağlanacak,
- Enerji arz güvenliği artacak,
- Enerji talebini karşılamada sağlanan güvenlik ile enerjiyi kullanan sektörler olumlu yönde etkilenecek ve yatırım yapmaları teşvik edilecek,
- Üretimde ve tüketimde sağlanan güven ortamı ile istikrar ve sosyal ekonomik hayatta refah artacaktır (Anonim, 2012b).

Her bir yenilenebilir enerji kaynağı, özellikle günümüzde insan hayatında önemli yer teşkil eden elektrik üretimi, ısı sistemleri ve ulaşım sektörü alanlarında kullanılmakta ya da kullanımı yaygınlaştırılmaktadır. Çevresel hassasiyetler de bu enerji kaynaklarının yaygın kullanımını destekleyen unsurlardır. Özellikle ulaşım sektöründe, elektrik enerjisi ile çalışan araçların, yakıt pillerinin ve düşük emisyon değerlerine sahip biyoyakıtların motorlarda kullanımları yaygınlaşmaktadır. Hayatımızın her bölümünde önemli bir yer teşkil eden ulaşım sektörü tarımsal faaliyetlerin gerçekleşmesinde de oldukça önemli bir yere sahiptir. Günümüzde tarımsal faaliyetler için kullanılacak en uygun yakıt çeşidi biyoyakıtlardır. Biyoyakıtlar, biyokütle kökenli yenilenebilir enerji kaynağıdır.

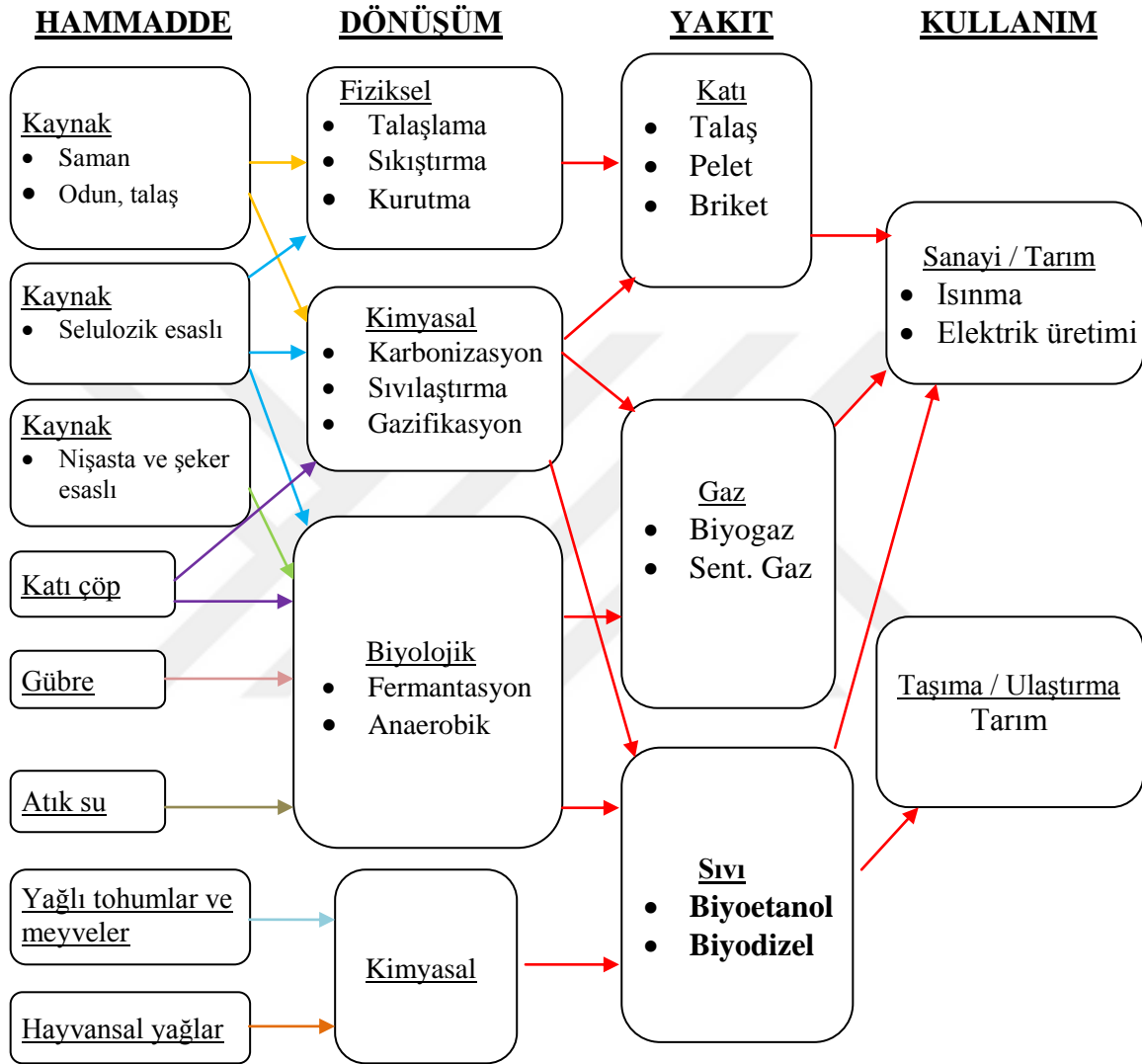
Biyokütle, yenilenebilir bir kaynak olması, çok düşük karbondioksit salınım ve kükürt içeriğine sahip olması ve olumlu çevresel özellikleri nedeniyle önemli bir kaynaktır (Balat ve Balat, 2009). Biyokütle enerji kaynakları, enerjiye dönüştürülürken buldukları fiziksel hale göre katı, sıvı ve gaz biyokütle olarak üç temel kısma ayrılmaktadır. Sıvı biyoküteller genellikle taşıt motorlarında yakıt hammaddesi olarak kullanıldıkları için “biyoyakıt” olarak isimlendirilmekte ve biyoetanol, biyodizel, biyometanol, biyodimetileter, biyoiltersiyerbütileter ve bitkisel yağlardan oluşmaktadır (Ar, 2008).

Günümüzde biyoyakıtlar;

- Çevre kirliliği – iklim değişiklikleri,
- Ülkelerin öz kaynaklarının değerlendirilmesi,
- Kaynak çeşitliliği sağlama,
- Enerji arz ve talep güvenliğine ulaşma,

- Sürdürülebilir kalkınmayı yürütme,

alanlarında ekonomik getiriler kazanma hedefleriyle önemi artmakta ve sektörün işlevi giderek değer kazanmaktadır (Acaroğlu, 2008). Biyoyakıtların hammadde kaynakları, dönüştürülme yöntemleri ve kullanım alanları Şekil 1.1.'de verilmiştir.



Şekil 1.1. Biyoyakıtların hammadde kaynakları, dönüştürülme yöntemleri ve kullanım alanları (Öğüt ve Oğuz, 2006)

Günümüzde yaygın olarak kullanılan sıvı biyoyakıtlar, biyodizel ve biyoetanol'dur. Biyodizelin yeteri kadar yaygınlaşamadığındaki önemli unsurlar hammadde temini ve maliyettir. Maliyetin % 75'ini ise hammadde oluşturmaktadır. Bu nedenle biyodizelin petrol esaslı motorin ile rekabeti için öncelikle hammadde maliyetinin düşürülmesi gerekmektedir (Öğüt ve Oğuz, 2006). Biyodizelin elde edildiği hammadde kaynaklarını tarımsal ürünlerin oluşturması nedeniyle, bu durum gıda

güvenliği açısından dezavantaj olarak değerlendirilmekte ve biyodizelin, gıda niteliği olmayan hammaddelerden elde edilmesi veya kullanılmış atık yağların iyileştirilerek üretilmesine yönelik araştırmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir. Gelecek projeksiyonu için hazırlanan kalkınma planlamaları ve araştırma raporlarında bu hususlara özellikle dikkat çekilmiştir.

Nitekim, 10. Kalkınma Planı çerçevesinde ele alınan yerli kaynaklara dayalı enerji üretim programında, su dışındaki yenilenebilir enerji kaynakların değerlendirilmesi bileşeninde, biyoetanol ve biyodizel yakıtlarının benzin ve motorinle karıştırılması uygulamalarının gıda güvenliği, çevresel etkiler ve tesis kapasitelerinin geliştirilmesi açısından izlenmesinin gerekliliği özellikle vurgulanmıştır (Anonim, 2013).

Menengiç meyvesinin son yıllarda ekonomik değeri artmakta olup farklı alanlarda kullanılmaktadır. Tez çalışmasında, kırsal bölgede kendiliğinden yetişen menengiç ağacından elde edilen meyve kullanılmıştır. Menengiç meyvesinin fiziksel özellikleri ve meyveden elde edilen yağın kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Menengiç yağına transesterifikasyon yöntemi uygulanarak menengiç biyodizeli (menengiç yağı metil esteri) elde edilmiştir. Menengiç yağı metil esteri, biyoetanol (şeker üretiminde yan ürün olarak alınan melastan elde edilen) ve motorin yakıtı ile hacimsel olarak belli oranlarda homojen bir şekilde karıştırılarak E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 karışım yakıtları elde edilmiştir. Bunu takiben motorin (M100) ve karışımlara ait fiziksel ve kimyasal yakıt özellikleri belirlenmiş, bu yakıtlarının dört zamanlı, tek silindirli bir dizel motorunda denenmesi sonucu elde edilen motor performans karakteristikleri ve egzoz emisyon değerlerindeki değişimler karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca, M100 ve karışım (E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3) yakıtlarının her biri için yapılan 100'er saatlik motor denemelerinde farklı zaman dilimleri (0., 20., 40., 60., 80. ve 100. saat) için motor yağlama yağından numuneler alınarak aşınma elementi (Al, Fe, Pb, Cu, Cr) analizleri yapılmış, karışım yakıtları yağlama yağına ait sonuçlar M100 sonuçları ile mukayese edilerek yağlama yağındaki değişimler belirlenmiştir.

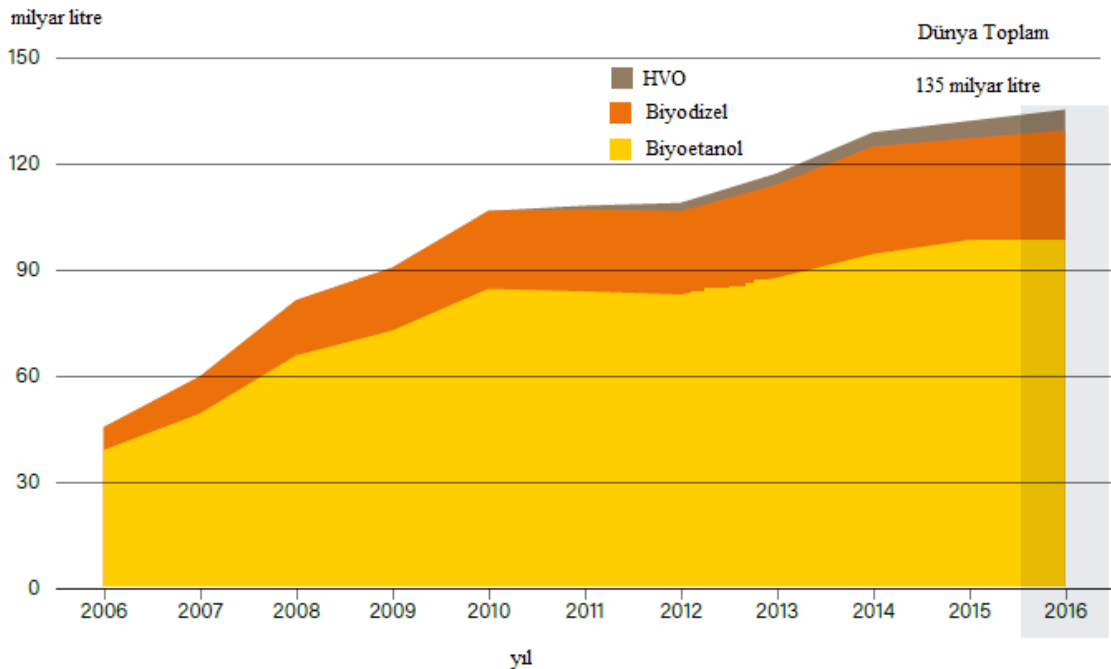
Menengiç meyvesinden elde edilen yağın biyoyakıt olarak kullanılabilirliği ile ilgili çalışmalar olmasına rağmen biyoetanol ilavesi ve motor yağlama yağındaki aşınma elementlerinin incelenmesine yönelik literatürde bir çalışmaya rastlanılmamıştır.

1.1. Biyoyakıtlar

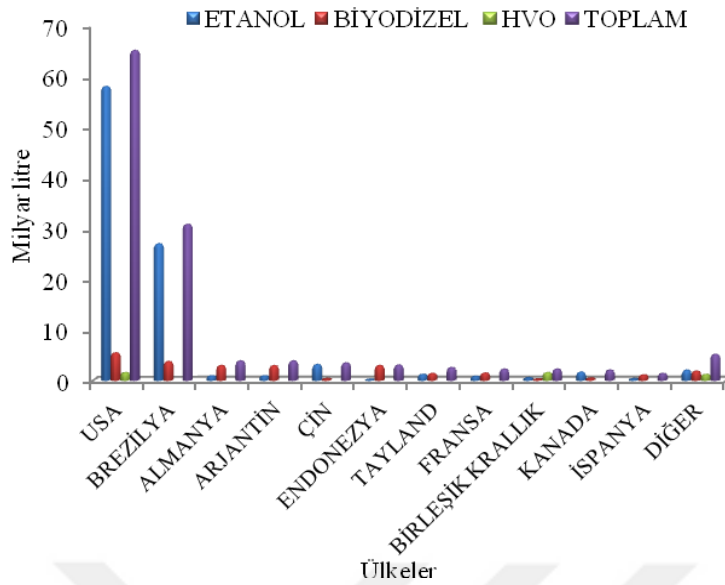
1.1.1. Dünya ve Türkiye’de biyoyakıtların durumu

Biyoyakıtlar, çevresel hassasiyetler, petrolde olan dışa bağımlılık, tarımsal kalkınma gibi konuların ortak noktası olup kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Bu yüzden Dünya’da bir çok ülke biyoyakıt kullanımına yönelik farklı politikalar uygulamaktadır. Günümüzde motorin - biyodizel ve benzin – biyoetanol’ün karıştırılarak kullanımı bunun örneklerindedir.

Şekil 1.2. ve 1.3.’de sırasıyla yıllara göre Dünya biyoyakıt üretimi ile 2016 yılı itibari ile bu üretimi gerçekleştiren ülkeler verilmiştir. Şekillerin incelenmesinden yıllara göre biyoyakıt kullanımının giderek arttığı ve 2016 yılı verileri incelendiğinde biyoyakıt üretiminin 2015 yılına göre yaklaşık % 2 oranında artarak 135 milyar litreye ulaşmış olduğu görülmektedir. 2016 yılı verilerine göre en büyük biyoyakıt üreticileri USA ve Brezilya olur iken bu ülkeleri Almanya, Arjantin, Çin ve Endonezya takip etmektedir.



Şekil 1.2. Yıllara göre Dünya biyoyakıt üretimi (Anonymous, 2017)

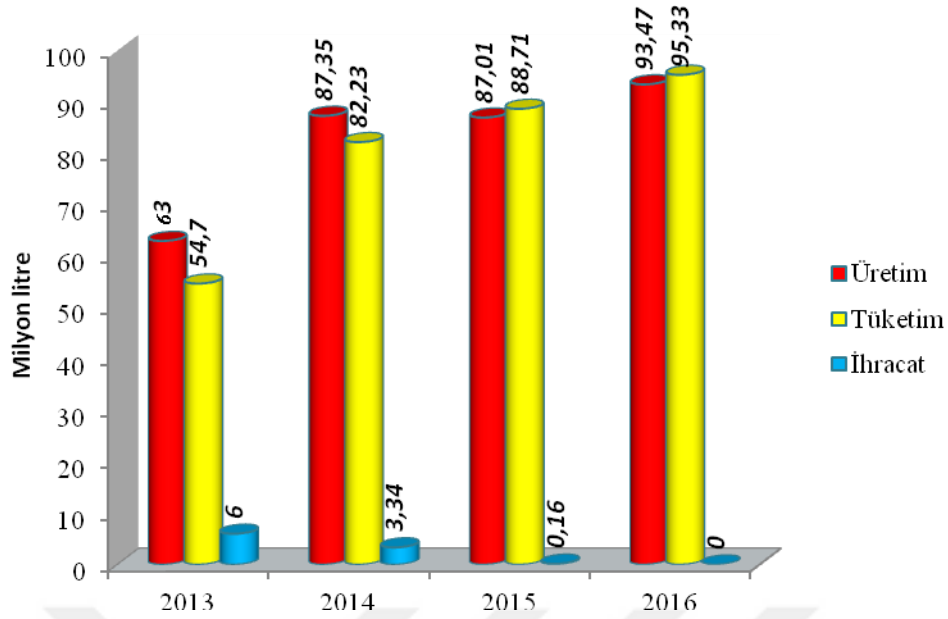


Şekil 1.3. Ülkelerin 2016 yılı biyoyakıt üretim miktarları (Anonymous, 2017)

Ülkemizde ise 2012 yılı itibari ile biyodizel üretimi için işleme lisansı almış 34 adet tesis bulunmakta olup bu tesislerin toplam üretim kapasitesinin 561.217 ton olduğu EPDK tarafından bildirilmiştir. Resmi gazetede yayımlanan 16 Haziran 2017 tarih ve 30098 sayılı “Motorin Türlerine Biyodizel Harmanlanması” hakkında tebliğ’e göre “dağıtıcı lisansı sahipleri tarafından, bir takvim yılı içerisinde, ithal edilen ve kara tankeri dolun üniteleri hariç rafinericiden temin edilen motorininin toplamına, en az % 0.5 (V/V) oranında yerli tarım ürünlerinden ve/veya bitkisel atık yağlardan üretilmiş biyodizelin harmanlanmış olması zorunludur” harmanlama yükümlülüğü 01/01/2018 tarihinde yürürlüğe girecektir (Anonim, 2017b).

Ülkemiz biyoetanol üretim potansiyeli bakımından avantajlı olsa da, bu alanda fazla bir gelişme gösterememiştir. 2013 yılı verilerine göre ülkemizde kurulu biyoetanol üretim kapasitesi 149.5 milyon litredir. Ülkemizde bulunan 3 üretim tesisinden en büyük pay % 56 ile Konya Şeker Tic. ve San. A. Ş. Çumra şeker fabrikasına aittir. Konya Çumra Şeker Fabrikasının yıllık biyoetanol üretim kapasitesi 84 milyon litre’dir (Anonim, 2017i).

Şekil 1.4.’de Türkiye’de biyoetanol üretim, tüketim ve ihracat verileri verilmiştir. Şeklin incelenmesinden yıllara göre biyoetanol kullanımında artış olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 1.4. Türkiye’de biyoetanol üretim, tüketim ve ihracat verileri (Anonim, 2017h)

1.1.2. Biyoyakıt çeşitleri

1.1.2.1. Biyoetanol

Biyoetanol, içerisinde etil alkol bulunan şeker, şekeri çevirebilen selüloz veya nişasta gibi maddelerin fermantasyonu sonucunda elde edilen bir alkol türüdür. Biyoetanol, mısır, patates, tahıllar, şeker kamışı ve şeker pancarı gibi tarım ürünlerinden elde edilmektedir. Biyoetanol, temiz, renksiz ve zehirli olmayan bir sıvıdır (Acaroğlu, 2003). Kimyasal formülü C_2H_5OH şeklindedir (Anonim, 2017i).

Biyoetanol üretimi için kullanılan hammaddeler üç grupta toplanabilir;

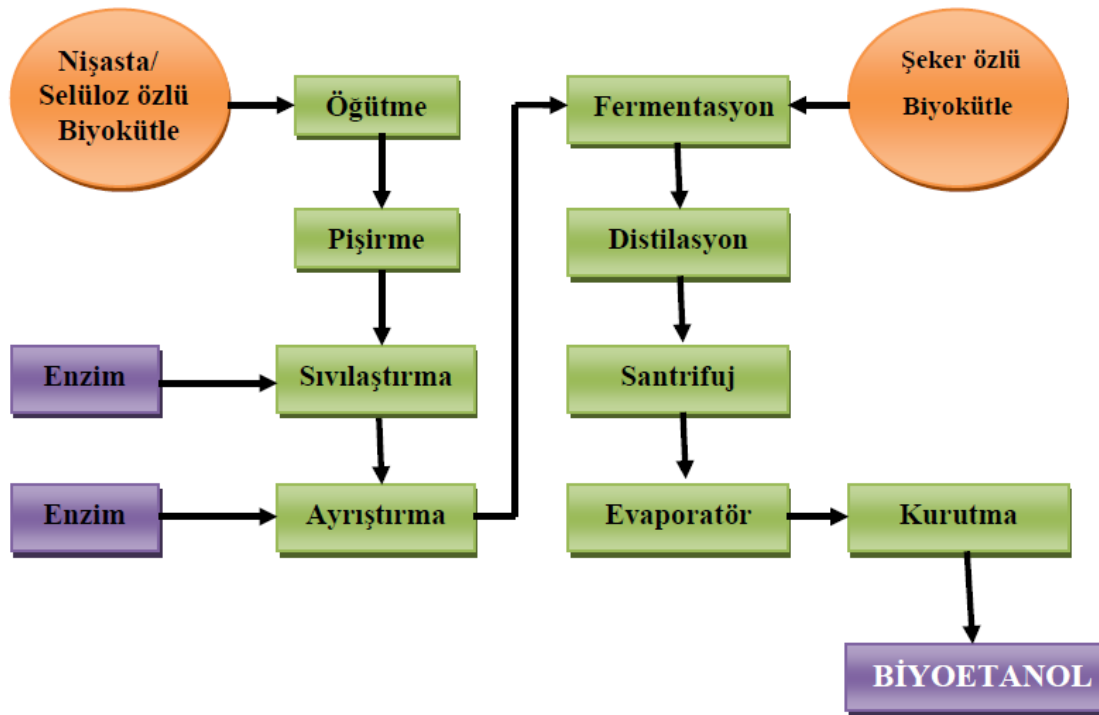
- Sukroz içeren hammaddeler (şeker pancarı, şeker kamışı, tatlı sorgum, meyveler),
- Nişasta içeren hammaddeler (mısır, arpa, buğday, patates),
- Lignoselülozik hammaddeler (odun, saman, çimen)

Günümüzde üretilen biyoetanol’ün büyük kısmı şeker ve nişasta içerikli hammaddelerden üretilmektedir. Lignoselülozik hammaddelerden biyoetanol üretim süreci tam olarak oturtulamamıştır (Balat ve ark., 2008; Bengisu, 2014). Bunun nedeni hammaddenin yapısı ve dönüşüm prosesleri ile ilgili olup bu yönde çalışmalar devam etmektedir.

Çizelge 1.1.'de biyoetanol üretimi için farklı hammaddeler ve bunların karşılaştırmalı olarak üretim potansiyelleri, Şekil 1.5.'de ise biyoetanol'ün üretim prosesi verilmiştir.

Çizelge 1.1. Biyoetanol üretimi için farklı hammaddeler ve bunların karşılaştırmalı üretim potansiyeli (Balat ve ark., 2008)

Hammadde	Biyoetanol üretim potansiyeli (l/ton)
Şeker kamışı	70
Şeker pancarı	110
Tatlı patates	125
Patates	110
Kasava (Manyok)	180
Mısır	360
Pirinç	430
Arpa	250
Buğday	340
Tatlı sorgum	60
Posa ve diğer selülozik biyokütle	280



Şekil 1.5. Biyoetanol üretim prosesi (Anonim, 2017i)

Biyoetanol üretim prosesi aşağıda belirtilen aşamaların gerçekleşmesiyle elde edilmektedir (Anonim, 2017i);

Hazırlama; bu aşamada hammadde öğütülmekte ve *liquefying* enzimi yardımı ile hammaddenin hücresel yapısı parçalanmaktadır. Bu şekilde, hammadde içindeki nişastanın ortaya çıkması ve biyoetanol üretimi için daha iyi verim elde edilmesi

sağlanmaktadır. Ortaya çıkan nişasta, *saccarification* enzimi yardımı ile şekere çevrilmektedir. Parçalanmış nişasta kaynağı, enzim ve sudan oluşmuş bulamaç halindeki sıvı içerisine maya konularak bir sonraki aşama olan fermantasyon ünitesine aktarılmaktadır.

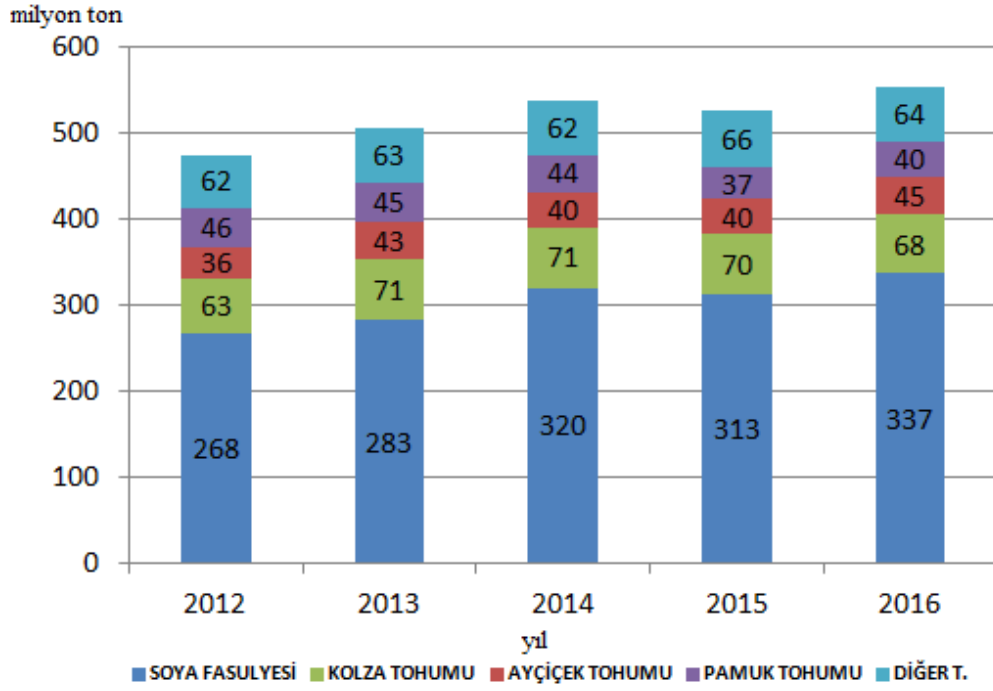
Fermantasyon; eklenen maya, bulamaçta bulunan şeker moleküllerini biyoetanol molekülüne çevirmektedir. Mayanın yüksek verimle çalışması için gerekli koşulların denetlendiği bu işlem yaklaşık 60-80 saat sürmektedir. Fermantasyon prosesi sonunda, bulamacın içinde % 10-12 arası biyoetanol elde edilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca fermantasyon süresince açığa çıkan karbondioksit de ayrılmış olmaktadır.

Distilasyon; fermantasyon sonucu elde edilen bulamaç distile edilerek içindeki biyoetanol ayrıştırılmaktadır. Bu ayrıştırma işlemi, distilasyon kulelerindeki sıvının ısıtılması ile sağlanmaktadır. Distilasyon sonucu % 95 – 96 oranında biyoetanol, fermentasyondan gelen bulamaçtan ayrılmakta ve ayrıştırılan biyoetanol içindeki su, moleküler elek teknolojisi yardımı ile süzülerek % 99.80 – 99.95 saflığında biyoetanol elde edilmektedir.

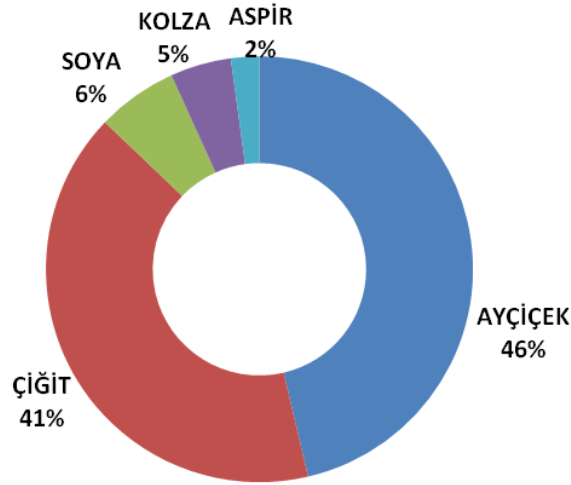
1.1.2.2. Biyodizel

Biyodizel, bitkisel yağların yeni yada kullanılmışlarından, hayvansal yağlardan diğer bir ifade ile her türlü biyolojik orjinli yağdan kimyasal yöntemler yardımıyla elde edilen, biyoyakıtlar kapsamında olan çevre dostu ve yenilenebilir nitelikli sıvı haldeki biyoyakıttır (Öğüt ve Oğuz, 2006).

Ham bitkisel yağlar, lokanta ve yemek fabrikaları atık yağları, bozulmuş acılaştırmış yağlar, mezbaha atıkları olan hayvansal yağlar biyodizel elde edilmesi için uygundur (Anonim, 2011c). Biyodizel için en yaygın kullanım, yağlı tohum bitkilerinden elde edilen bitkisel yağlardır. Şekil 1.6.'da yıllara göre Dünya yağlı tohum üretim miktarları (milyon ton), Şekil 1.7. ve Çizelge 1.2.'de ise sırasıyla Türkiye'de 2016 yılı yağlı tohum üretim miktarlarının % olarak görünümü ve Türkiye'deki yağlı tohum üretim değerleri (bin ton) görülmektedir.



Şekil 1.6. Dünya’da yağlı tohum üretim miktarları (Büyükhelvacıgil, 2017)



Şekil 1.7. Türkiye’de 2016 yılı yağlı tohum üretim miktarlarının % olarak görünümü (Büyükhelvacıgil, 2017)

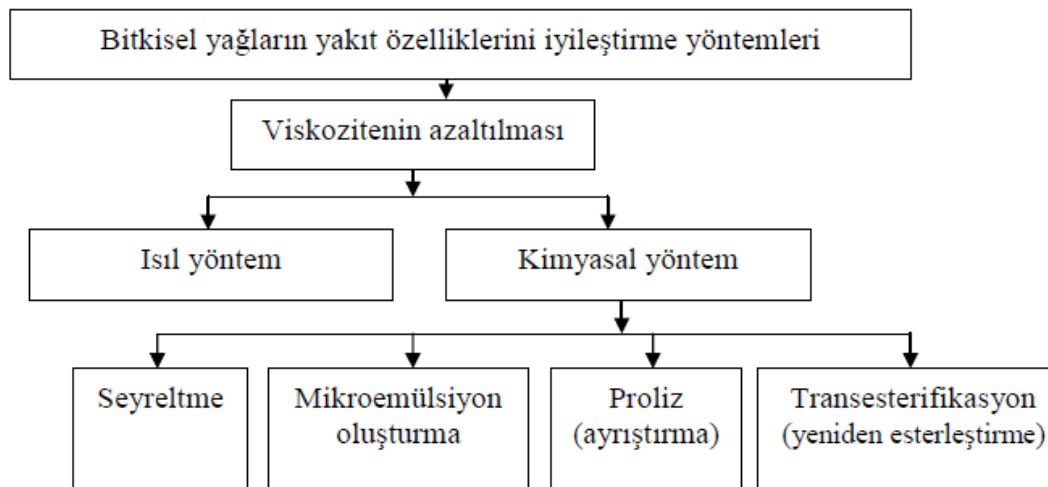
Çizelge 1.2. Yıllara göre Türkiye’deki yağlı tohum üretim değerleri (Büyükhelvacıgil, 2017)

	2011 (Bin ton)	2012 (Bin ton)	2013 (Bin ton)	2014 (Bin ton)	2015 (Bin ton)	2016 (Bin ton)
Ayçiçeği tohumu	950	1050	1400	1200	1200	1250
Pamuk tohumu	1500	1250	950	1200	1000	1100
Soya fasulyesi	75	112	180	153	161	165
Kolza tohumu	88	100	102	112	120	125
Aspir tohumu	18	20	45	76	70	58
Toplam	2631	2532	2677	2741	2551	2698

1.1.2.3. Bitkisel yağlar ve yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi

Bitkisel yağlar, bazı tarım ürünlerinin meyve, çekirdek ve tohumlarının işlenmesi neticesinde elde edilmektedir. Bunlar, petrol esaslı yağlardan farklı kimyasal yapıya sahiptirler. Motorin büyük oranlarda parafinler ve aromatiklerden oluşmasına karşılık, bitkisel yağlar yağ asitlerinin gliserinle yapmış olduğu esterlerdir. Bu esterler gliserid olarak isimlendirilmektedir. Triglicerid ise gliserin molekülünü oluşturan 3 alkol grubu yağ asitlerinin esterleşmesi şeklinde ifade edilmektedir. Trigliceriddeki doymamış yağ asitlerinin cinsi ve miktarı, bitkisel yağın özelliklerini oluşturmaktadır (Erdoğan ve Mohammed, 1997; Oğuz, 2004).

Bitkisel yağlar saf olarak direkt püskürtmeli motorlarda kullanılamamaktadır. Kısa bir çalışma süresini takiben, yağ bozulmakta ve uzun sürede de motorun ilgili kısımlarında kalıntılar oluşmaktadır. Enjektörler, yanma odası, piston ve subaplarda meydana gelen kalıntılar zamanla motorda güç kaybına ve arızalara sebep olmaktadır. Kalıntıların oluşmasının ana sebebi ise bitkisel yağın viskozitesinin ve karbon içeriğinin petrodizel ve bitkisel yağ esterine (biyodizel) göre yüksek olmasındandır. Bu nedenle, bitkisel yağların motorin alternatifi olarak değerlendirilmesi için öncelikle yüksek viskozite probleminin çözülmesi gerekmektedir (Öğüt ve Oğuz, 2006). Bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılmasında, ısıl ve kimyasal yöntem olmak üzere iki yöntem uygulanmakta olup Şekil 1.8.'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1.8. Bitkisel yağların yakıt özelliklerini iyileştirme yöntemleri (Ulusoy ve Alibaş, 2002)

a) Isıl yöntem; bu yöntemde, yakıt olarak kullanılacak bitkisel yağın ön ısıtma ile sıcaklığını yükseltmek ve dolayısıyla viskozitenin düşürülmesi amaçlanmaktadır. Ancak bu yöntemin özellikle hareketli araç motorunda uygulanabilirliğinde zorluklarla karşılaşmaktadır (Altun ve Gür, 2005; Eryılmaz, 2009).

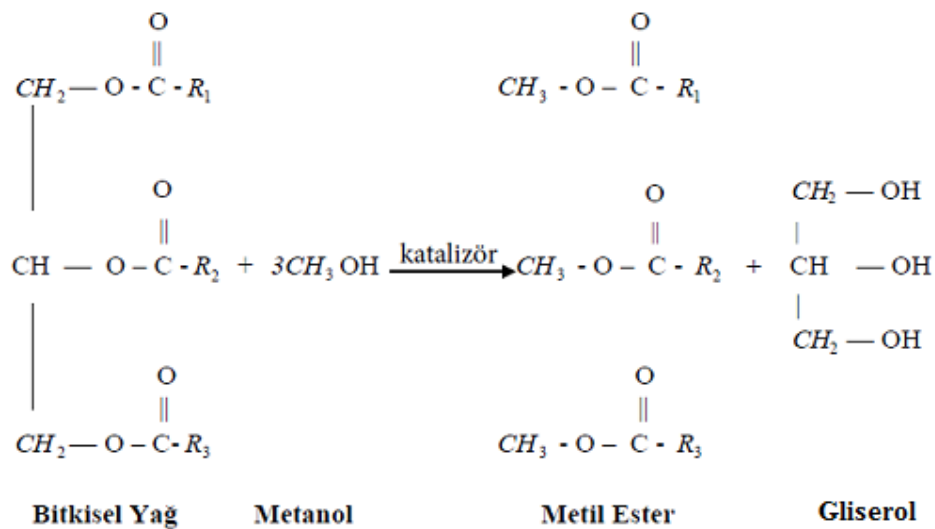
b) Kimyasal yöntem;

Seyreltme yöntemi; bitkisel yağların belirli oranlarda motorine karıştırılması şeklinde tanımlanmaktadır (Ulusoy ve Alibaş, 2002).

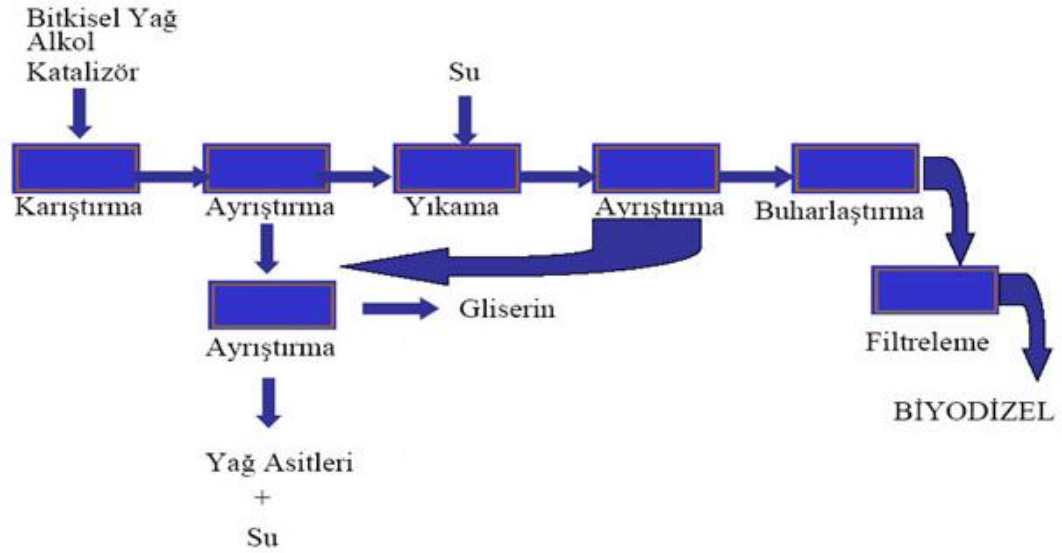
Mikroemülsiyon oluşturma yöntemi; metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle bitkisel yağın mikroemülsiyon haline getirilme işlemidir. Böylece viskozite değeri düşmektedir. Bu yöntemin sakıncası, alkollerin setan sayılarının düşük olması nedeniyle emülsiyonun setan sayısının düşük olması ve düşük sıcaklıklarda karışımın ayrışma eğilimi göstermesindedir (Oğuz ve Öğüt, 2001).

Piroliz (ayırıştırma) yöntemi; moleküller yüksek sıcaklıkta daha küçük moleküllere parçalanmaktadır. Bu yöntem sayesinde viskozite oldukça düşürülmekte fakat işlemler ilave masraf gerektirmektedir (Oğuz ve Öğüt, 2001).

Transesterifikasyon yöntemi; bitkisel yağların bir katalizör vasıtasıyla alkolle reaksiyona sokularak yeniden esterleştirilmesi işlemidir. Bu yöntem kısa reaksiyon süresi ve yüksek verim nedeniyle viskoziteyi azaltmada halihazırda en etkili yöntemdir (Öğüt ve Oğuz, 2006). Şekil 1.9. ve 1.10.'da sırasıyla transesterifikasyon reaksiyonu ve bu yöntemle biyodizel üretim prosesi verilmiştir.



Şekil 1.9. Transesterifikasyon reaksiyonu (Zhang, 2002; Oğuz, 2004)



Şekil 1.10. Biyodizel üretim prosesi (Anonim, 2017e)

Biyodizel üretim prosesi aşamaları aşağıda açıklanmıştır (Anonim, 2017e);

Alkol ve katalizörün karıştırılması; katalizör olarak; sodyum hidroksit, potasyum hidroksit veya sodyum metilat kullanılmaktadır. Katı katalizör kullanımında ise katalizör, metanol içerisinde eritilerek hazırlanan metoksit çözeltisi kullanılmaktadır.

Reaksiyon; metoksit çözeltisi (alkol ve katalizör karışımı) kullanılacak olan ham yağ ile birlikte reaksiyonun yapılacağı hazne (reaktör) içerisine konulmaktadır. Alkol kaybının önlenmesi için reaktörün tamamen atmosfere kapalı olması gerekmektedir. Reaksiyonun tamamlanabilmesi için uygun sıcaklık ve uygun karıştırma yöntemi gerekmektedir. Kullanılan sistemlere göre değişmekle birlikte reaksiyon 55 - 65 °C sıcaklıkta, 1 – 2.5 saat arasında gerçekleşmektedir. Modern sistemlerde reaktörde kullanılan turbo mikserler ve sonik aygıtlar sayesinde reaksiyon süresi daha da kısaltılabilmektedir.

Reaksiyonla oluşan su, biyodizel üretiminde transesterifikasyon (ester oluşum reaksiyonu) reaksiyonunun ilerleyişini durdurmaktadır. Biyodizel üretiminde karşılaşılan en büyük problemlerden biri yan ürün olarak sabun oluşmasıdır. Biyodizel reaksiyon ortamında su bulunması yan ürün olarak sabun oluşmasını tetiklemektedir. Eğer optimum reaksiyon koşulları sağlanamaz ve katalizör gerekli etkinliği gösteremezse oluşan gliserin, ortamdaki serbest yağ asitleri ile reaksiyona girip mono-digliserid oluşmakta ve oluşan mono-digliserid elde edilmek istenen ürünün sağlığını bozmaktadır. Aynı şekilde; yeterli etkinlik sağlanamadığında reaksiyon ortamında biyodizele dönüşmemiş yağ kalabilmektedir. Bu da biyodizelin içindeki

trigliserid miktarını arttırdığından dolayı TSE standardında ürün oluşumunu engellemektedir.

Dinlendirme ile biyodizel - gliserol ayrışması; reaksiyon tamamlandıktan sonra iki ana ürün ortaya çıkmakta olup bunlar biyodizel ve gliserol şeklindedir. Biyodizel ve gliserolün birbirinden ayrışması için 6-10 saat civarında dinlendirme işlemine tabii tutulması gerekmektedir. Kullanılan biyodizel üretim proseslerine göre dinlendirme işlemi, daha uzun veya daha kısa sürede tamamlanabilmekte ve dinlendirme yapılan hazneden alta çöken gliserol kolayca alınabilmektedir. Modern sistemlerde dinlendirme yapmadan biyodizel ve gliserol separatör yardımı ile ayrıştırılması mümkün olabilmektedir.

Alkolün uzaklaştırılması ve nötralizasyon; gliserol ve biyodizel fazları ayrıldıktan sonra, her iki ürün içerisinde de metanol kalmaktadır. Biyodizel içerisindeki alkolün uzaklaştırılması için vakum evaporasyon işlemi uygulanmaktadır. Sıcaklığın ise reaksiyon sıcaklığında olması önerilmektedir. Bu aşamada nötralizasyon işlemine gerek duyulabilmektedir.

Yıkama ve kurutma işlemi; biyodizel, gliserolden ayrıldıktan sonra içerisinde kalan katalizör, sabun, gliseridler ve safsızlıkları uzaklaştırmak amacıyla yıkama işlemine tabii tutulması gerekmektedir. Yıkama işleminde günümüzde iki yöntem kullanılmakta olup bunlar sulu yıkama ve kuru yıkamadır. Sulu yıkama, saf veya yumuşak su ile uygulanmakta iken kuru yıkama, magnesol ile yapılmaktadır. Sulu yıkamalarda yıkama suyu alındıktan sonra biyodizelin kurutulması gereklidir. Biyodizel içerisinde arta kalan su ve alkol ise vakum evaporasyon işlemi ile uzaklaştırılmaktadır. Kuru yıkama işlemi yüksek sıcaklık altında, vakum tanklarda yapıldığından arta kalan su ve alkolün uzaklaştırılması için tekrar kurutma işlemi yapılmamaktadır. Son aşamada, kurutma yapılan (sulu yıkama) veya yapılmayan (kuru yıkama) biyodizel filitre edilerek kullanıma hazır hale getirilmekte ve uygun koşullardaki depolama tanklarında muhafaza edilmektedir.

1.1.3. Biyoyakıtların yakıt özellikleri

Yakıt özellikleri, motor performansı ve egzoz – emisyon değişimlerini etkilemektedir. Sıvı biyoyakıtların, motorin yakıtına göre üstünlükleri olduğu gibi olumsuzlukları da bulunmaktadır.

Çizelge 1.3.'de farklı kaynaklardan yararlanılarak elde edilen Biyoetanol, biyodizel ve motorin yakıtlarının yakıt özellikleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 1.3. Biyoetanol, biyodizel ve motorin yakıtlarının yakıt özelliklerinin karşılaştırılması (Mofijur ve ark., 2016; Anonim, 2017i; 2017e)

Yakıt özellikleri	Birim	Biyoetanol	Biyodizel	Motorin
Kapalı formül	-	C_2H_5OH	$C_{19}H_{35.2}O_2$	$C_{12.226}H_{23.29}S_{0.0575}$
Yoğunluk (15 °C)	kg/l	0.79	0.87-0.88	0.82 – 0.86
Kalori Değeri	Mj/kg	26.95	37.1	42.7
Kinematik viskozite (40 °C)	mm ² /s	1.4	4.3	2.5 – 3.5
Parlama noktası	(°C)	13	76-208	65-68
Kükürt içeriği	% kütlese	-	< 0.01	< 0.05
Setan sayısı	-	-	37.9 - 65	49 - 55
Kül	% kütlese	-	< 0.01	< 0.01
Su miktarı	mg/kg	-	< 300	< 200
Oktan sayısı (R+M)/2	-	98-100	-	-

1.1.3.1. Yoğunluk

Yoğunluk, motor performansını doğrudan etkileyen önemli bir yakıt özelliğidir. Yakıt atomizasyonu, setan sayısı ve ısı değer gibi birçok performans karakteristiği yoğunluk ile ilişkilidir (Ryan ve ark., 1984; Tat ve Van Gerpen, 2000; Alptekin, 2013). Yakıtın yoğunluğu ne kadar düşük ise yakıt o kadar kolay tutuşur (Haşimoğlu, 2005). Yoğunluk değerinin yüksek çıkması esterleşme işleminde gliserinin yeterince uzaklaştırılmamış olduğunu ifade etmektedir (Akyarlı ve ark., 2004). Yoğunluğun belirlenmesinde EN ISO 3675 ve EN ISO 12185 deney yöntemleri kullanılmaktadır.

1.1.3.2. Kinematik viskozite

Viskozite, yakıtlar için önemli bir karakteristik özelliktir. Bu bağlamda yakıtın viskozitesi, yakıt enjektörden veya dar bir kanaldan hava içerisine püskürtüldüğünde oluşacak hava demetini etkilemektedir. Viskozite büyüdükçe yakıtın zerrelere ayrılması azalmakta dolayısıyla iri yakıt zerreciklerinin nüfuz derinliği fazlalaşmaktadır. Viskozitesi çok yüksek olan yakıtlar nispeten soğuk olan silindir cidarlarına çarpmadan zerrelere halinde ayrılmayacaklarından dolayı yanma tam olarak gerçekleşmemekte ve bu durum egzozdaki duman konsantrasyonunun artmasına sebep olmaktadır (Borat ve ark., 1992; Haşimoğlu, 2005). Yüksek viskozite enjektörlerde tıkanmalarla başlayıp yetersiz püskürtme, kötü yanma, segmanlarda karbon birikmesi, güç kaybı ve yağlama

yağının bozulmasına sebep olmaktadır (Oğuz, 2004; Erol ve ark., 2006). Biyoetanolün viskozitesi biyodizele göre düşüktür. Ayrıca biyodizelin viskozitesinin yüksek çıkması bitkisel yağa uygulanan transesterifikasyonun tam olarak gerçekleşmemesi sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu durum biyodizel içerisinde gliserolün olduğunun göstergesidir. Reaksiyon sonrası yapılan yıkama aşamasında gliserol uzaklaştırılmakta fakat yeterince uzaklaştırılmayan gliserol viskozitenin artmasına neden olmaktadır (Eryılmaz, 2009). Kinematik viskozitesinin belirlenmesi için EN ISO 3104 deney yöntemi uygulanmaktadır.

1.1.3.3. Parlama noktası

Parlama noktası, sıvı buharının parlayabilir bir atmosfer meydana getirdiği en düşük sıcaklık olarak ifade edilmektedir (Yavuz ve ark., 2008). Biyodizelin, motorin karşısındaki başlıca üstünlüklerinin birisi de parlama noktasının yüksek olmasıdır. Bu özellik depolama ve taşıma esnasındaki güvenliğini de beraberinde getirmektedir. Biyodizelin üretim prosesinde bünyeden alkolün tam olarak uzaklaştırılmaması parlama noktasının düşük çıkmasına sebep olmaktadır (Eryılmaz, 2009). Biyoetanolün parlama noktası 13 °C dir. Parlama noktası EN ISO 3679 deney yöntemi ile belirlenmektedir.

1.1.3.4. Setan sayısı

Setan sayısı, motorinin enjektörden püskürtülmesi ile birlikte kendiliğinden tutuşabilirliğinin bir göstergesidir (Alptekin ve Çanakçı, 2006). Setan sayısı arttıkça yakıtın kendi kendine tutuşma eğilimi artmaktadır. Böylece ilk hareket kolaylaşmakta, tutuşma gecikmesi azalmakta ve yanma odasında biriken yakıtın ani yanması ile oluşan hızlı basınç artışı önlenmektedir. Setan sayısının fazla yüksek olması durumunda ise tutuşma gecikmesi çok kısılacığından, yakıt yanma odası içerisinde iyi dağılamamakta ve sonuçta yakıtın tamamen buharlaşmadan tutuşması gerçekleşmektedir. Bu durumda dumanlı bir yanma oluşmakta ve tutuşma enjektör memesinin daha yakınında başlayacağından enjektör deliği üzerinde karbonlaşma tehlikesi doğabilmektedir (Bilginpek, 1991; Kutlar ve ark., 1998; Haşimoğlu, 2005). Biyodizelin setan sayısı motorine göre daha fazladır. Biyoetanolün oktan sayısının yüksek olmasına rağmen setan sayısı düşüktür. Setan sayısının düşük olması dizel motorlarda kullanım açısından

problemler oluşturmaktadır. Setan sayısının belirlenmesi EN ISO 5165 deney yöntemine göre yapılmaktadır.

1.1.3.5. Sülfatlanmış kül içeriği

Yakıt içerisinde kül oluşumu, katı halde aşındırıcı katı parçacıklar ve çözünmüş haldeki metalik sabunlardan kaynaklanmaktadır. Katı parçacıklar yakıt pompası, enjektörler, segman ve pistonların aşınmasına neden olduğu gibi motor parçaları üzerinde de birikintilere (depozitlere) neden olmaktadır (Keskin, 2005).

Biyodizelde kül, aşındırıcı-katı, çözünebilir ve uzaklaştırılmamış katalizör formlarında olabilmektedir. Aşındırıcı-katı ve uzaklaştırılmamış katalizörler enjektör, yakıt pompası, piston ve segmanlar da aşınmaya sebep olurken, motorda tortuya neden olmaktadır. Çözünebilir form ise filtrelerde tıkanmaya ve motorda tortuya neden olmaktadır (Eryılmaz, 2009). Sülfatlanmış kül içeriğinin belirlenmesi için ISO 3987 deney yöntemi kullanılmaktadır.

1.1.3.6. Su içeriği

Yakıt içerisindeki su ve nem filtrelerde tıkanmaya, enjektör ve yakıt pompası parçalarının zarar görmesine neden olmaktadır (Keskin, 2005).

Biyodizel içerisinde su miktarının yüksek olması biyodizelin depolanması ve kullanılması sırasında oksitlenmeye ve bakteri oluşumuna sebep olmaktadır. Bu durum ise biyodizelde asitleşmeyi ve çamur oluşumunu tetiklemektedir (Demir, 2006; Erol ve ark., 2006 ; Eryılmaz, 2009). Su içeriği, EN ISO 12937 deney yöntemi ile tespit edilmektedir.

1.1.3.7. Asit sayısı

Bu özellik hem yakıtın ömrü hakkında bilgi vermekte hem de yakıt kalitesinin bir göstergesi olmaktadır. Biyodizelin asit değeri, hem Avrupa hem de Amerika biyodizel standartlarında 0.5 mg KOH/g olarak belirlenmiştir. Üretilen biyodizellerin asit değerlerinin bu standart değerlerin üstünde olması durumu, yakıt sisteminde tortulara neden olacağından, böylelikle yakıt pompası ve yakıt filtresinin ömrü azalacaktır

(Tyson, 2001; Alptekin, 2013). Asit sayısının belirlenmesi için EN 14104 deney yöntemi kullanılmaktadır.

1.1.3.8. İyot sayısı

İyot sayısı, yakıtın doymamışlık derecesinin bir göstergesi olup bitkisel yağların özelliği ve çift bağ sayısına göre değişmektedir. İyot sayısının yüksek olması karbon kalıntısını arttırmakta ve bu durum enjektör deliklerinin tıkanmasına veya yanma odasında hasar meydana gelmesine sebep olmaktadır (Oğuz, 2004). Bundan dolayı iyot sayısı düşük olan yağlar tercih edilmelidir. İyot sayısı, EN 14111 deney yöntemi ile belirlenmektedir.

1.1.3.9. Kalori değeri (ısıl değer)

Bir yakıttan elde edilebilecek enerji miktarının ölçüsüdür. Yakıtın ısıl değeri doğrudan yakıt tüketimine etki etmektedir (Graboski ve McCormick, 1998; Van Gerpen ve ark., 2007; Alptekin, 2013). Düşük ısıl değeri ise motorda güç kaybı ve özgül yakıt tüketiminin artması ile sonuçlanmaktadır (Altun, 2010). Yakıtın ısıl değerinin fazla olması hem enjeksiyon sisteminin aldığı miktarı azaltmak hem de enjeksiyon sistemindeki parçaların kullanım ömrünü arttırması bakımından önemlidir (Altın, 1998; Haşimoğlu, 2005). Biyodizel ve biyoetanolün ısıl değeri motorine kıyasla biraz daha düşüktür. Kalori değerinin belirlenmesinde DIN 51900-1, DIN 51900-2 ve DIN51900-3 deney yöntemleri kullanılmaktadır.

1.1.3.10. Soğuk akış özellikleri

Soğuk akış özellikleri, bulutlanma noktası (BN), soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN) ve akma noktası (AN) terimleriyle tanımlanmaktadır. Biyoetanolün soğuk akış özellikleri biyodizele göre daha iyidir.

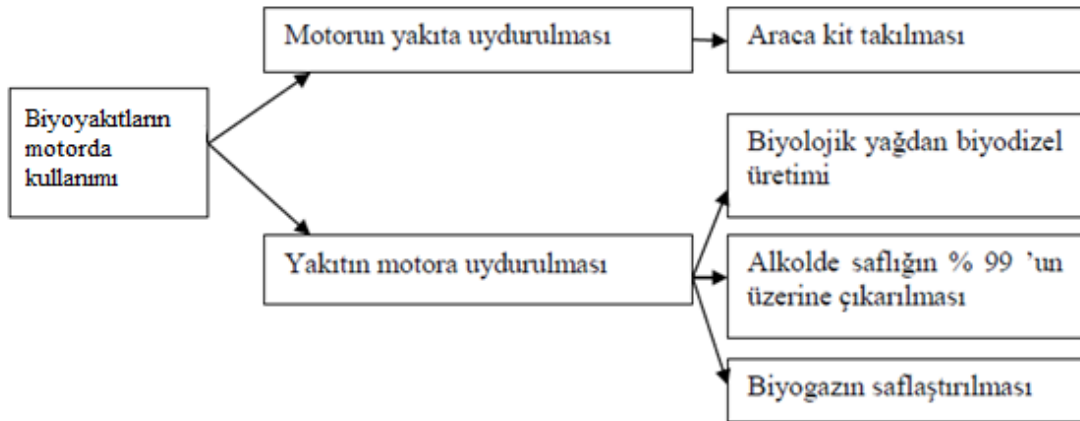
Bulutlanma noktası; sıvı durumdaki biyodizelde wax (*parafinik hidrokarbon*) kristallerinin ilk görüldüğü andaki sıcaklık değerini ifade etmektedir. Diğer bir ifadeyle soğuk iklim şartlarında kalan yakıtta, küçük katı parçacıkların görüldüğü andır. Sıcaklık bu değer üzerinde ise yakıt sorunsuz olarak kullanılabilen fakat sıcaklığın bu değer altına düşmesi durumunda filtre tıkanmaları görülmektedir.

Soğuk filtre tıkanma noktası; bulutlanma noktasında oluşan kristallerin sıcaklığın daha da düşmesi ile kristallerin kümeleştiği noktadır. SFTN, dizel motor yakıtının soğukta akış özelliklerini bulutlanmaya göre daha iyi karakterize etmektedir (Öğüt ve Oğuz, 2006). Bu özellik , IP309/80, DIN EN 116'da belirtilen standart yöntemlerle belirlenmektedir.

Akma noktası; biyodizelde akışın mümkün olduğu en düşük sıcaklıktır ve kristal kümeleşmenin daha da büyüdüğü noktadır. Bu noktadan itibaren sıcaklığın daha da düşmesi yakıtta jelleşmeye (*yarı katı*) ve akamaz duruma gelmesine neden olmaktadır. Bu özellik daha çok yakıtın pompalanabilmesini ifade etmesinden dolayı akaryakıt istasyonları ve dağıtıcılar için anlam taşımaktadır (Öğüt, 2006; Eryılmaz, 2009).

1.1.4. Biyoyakıtların motorda kullanım imkanları

Biyoyakıtların motorlarda kullanımıyla ilgili iki yaklaşım bulunmaktadır. Bu durum Şekil 1. 11.'de şematik olarak gösterilmiştir. Biyoyakıtların saf olarak motorda kullanımına yönelik araştırmalar devam etmekte olup günümüzde yaygın kullanılan biyoyakıt çeşitleri biyoetanol ve biyodizeldir.



Şekil 1.10. Biyoyakıtların motorlarda kullanılması (Öğüt, 2007)

1.1.4.1. Biyoetanol

Günümüzde biyoetanolün motorlarda yaygın kullanımı benzin ve motorin ile belli oranlarda karıştırılması şeklindedir. Benzin ile her oranda karışabilen biyoetanolün motorine göre oldukça polar bir yapıya sahip olması motorin ile homojen karışmasını

engellemektedir (Hansen ve ark., 2001; He ve ark., 2003; Usta ve ark., 2005). Bu konu ile ilgili yapılan araştırmalar neticesinde % 20 oranına kadar biyoetanol, motorin yakıtı ile karıştırılabilmektedir (Abu-Qudais ve ark., 2000; Uslu, 2006; Chen ve ark., 2008; Aydoğan, 2011).

Motorin ile biyoetanol karışım uygulaması E-D (En fazla + % 15 oranında alkol içeren motorin) olarak ifade edilmektedir. E–Dizel kullanımı sayesinde motorinin soğuk akış özellikleri iyileşmekte, yakıtının korozyon dayanımı, ısıl kararlılığı, yağlayıcılık özelliği artmakta, egzoz gazı ve yaşam döngüsü emisyonları ile yakıtın kükürt içeriğinin azaltılması şeklinde avantajlar sağlanmaktadır. Ancak E-Dizelin bu üstünlüklerine rağmen setan sayısının düşük olması nedeniyle yakıt tkretiminde meydana gelen artış dezavantaj oluşturmaktadır (İşler ve Karaosmanoğlu, 2007; Horuz ve ark., 2015).

E-Dizel uygulamasında setan sayısını arttırmak için biyodizel ilave edilmesi bu olumsuzluğu ortadan kaldırmaktadır.

Ülkemizde 27 Eylül 2011 tarihinde yayınlanan resmi gazetede ki 28067 sayılı ‘‘Benzin Türlerine İlişkin Teknik Düzenleme Tebliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ’e’’ göre, piyasaya akaryakıt olarak arz edilen benzin türlerinin, yerli tarım ürünlerinden üretilmiş etanol içeriğinin; 1/1/2013 tarihi itibariyle en az % 2, 1/1/2014 tarihi itibariyle en az % 3 olması zorunlu kılınmıştır (Anonim, 2017i).

1.1.4.2. Biyodizel

Biyodizel motorlarda saf olarak kullanılabileceği gibi günümüzde yaygın kullanımı motorin ile karışımlı olarak olabilmektedir. Bu yöntem ile dizel motorda herhangi bir değişiklik yapmaya gerek kalmamaktadır. Karışım oranındaki miktara göre yakıt eşitleri;

- B2 (% 2 biyodizel + % 98 motorin)
- B5 (% 5 biyodizel + % 95 motorin)
- B20 (% 20 biyodizel + % 80 motorin)
- B50 (% 50 biyodizel + % 50 motorin)
- B80 (% 80 biyodizel + % 20 motorin)
- B100 (% 100 biyodizel) olarak isimlendirilmektedir.

Biyodizel yakıtının motorinden daha düşük ısıl değere (% 10 – 15) sahip olması, yüksek yoğunluğu, % 11 dolayında oksijen içeriği ve yüksek setan sayısı özellikleri

motor performansı ve egzoz emisyonlarında farklılıklar oluşmasına yol açmaktadır. Bu nedenle düşük ısı değer, biyodizel ve motorin-biyodizel karışımlarında motor gücü ve torku azaltırken, yakıt tüketimini ise arttırmaktadır. Diğer taraftan biyodizelin motorine göre daha iyi yağlayıcılık özelliğine sahip olması ise motorun daha rahat çalışmasına sebep olmaktadır (Eryılmaz, 2009).

Ülkemizde biyodizel için Resmi gazetede yayımlanan 16 Haziran 2017 tarih ve 30098 sayılı Motorin Türlerine Biyodizel Harmanlanması hakkında tebliğ'e göre "dağıtıcı lisansı sahipleri tarafından, bir takvim yılı içerisinde, ithal edilen ve kara tankeri dolun üniteleri hariç rafinericiden temin edilen motorininin toplamına, en az % 0.5 (V/V) oranında yerli tarım ürünlerinden ve/veya bitkisel atık yağlardan üretilmiş biyodizelin harmanlanmış olması zorunludur" harmanlama yükümlülüğü 01/01/2018 tarihinde yürürlüğü girecektir (Anonim, 2017b).

Ülkemizde biyodizel için TS EN 14213 (Yakıt Biyodizel) ve TS EN 14214 (Otobiyodizel) Avrupa Birliği Standartları ile EN standartları temel alınarak hazırlanmış karışımlar için TS 3082 EN 590 (Otomotiv Yakıtları – Dizel) standardı kullanılmaktadır.

1.1.5. Biyoyakıtların avantaj ve dezavantajları

1.1.5.1. Biyoetanol

Avantajları;

- Biyoetanol yakıt içindeki oksijen seviyesini arttırmanın en kolay şeklidir. Yakıtın oksijen seviyesini arttırmak, yakıtın daha verimli yanmasını sağlayarak, egzoz çıkışındaki zararlı gazları azaltmaktadır.
- Benzinde oktan sayısını arttırmak amacı ile kullanılabilir. Bu nedenle biyoetanol "**oktan sayısı arttırıcı**" olarak tanımlanmaktadır (Öğüt, 2007).
- Yüksek seviyeli biyoetanol karışımları NO_x (azot oksit) emisyonlarında % 20'ye kadar düşüş sağlamaktadır.
- Biyoetanol, sülfür dioksit ve partikül emisyonlarında belirgin bir düşüş sağlamaktadır.

- Tarım ürünleri için katma değeri yüksek yeni bir pazar oluşturarak, biyoetanol hammaddesi olarak kullanılan bitkilerin tarımının gelişmesine katkı sağlamaktadır.
- Enerji amaçlı tarım faaliyetlerinin gelişmesi ile yeni ve yerli yatırım - istihdam olanakları sağlamaktadır.
- İthal petrol ihtiyacına alternatif yerli, yenilenebilir ve stratejik bir enerji kaynağı oluşturmaktadır.
- Doğaya zarar vermeden çözünmektedir.
- Biyoetanol ihtiva ettiği yüksek oksijen seviyesi sayesinde CO (karbon monoksit) seviyesini % 25-30 arasında azaltmaktadır. Bu herhangi başka bir oksijen zenginleştirici katkıdan daha yüksektir. CO, hava kirliliğine yol açan zehirli bir gaz olmasından dolayı özellikle araçların düşük sıcaklıklarda çalıştığı zamanlarda daha çok ortaya çıkmaktadır. Biyoetanol ise daha iyi bir yanma sağlayarak CO seviyesinde azalmaya yol açmaktadır (Anonim, 2017i).
- Soğuk hava şartlarında kullanım özellikleri daha iyidir.

Dezavantajları;

- Biyoetanol, motorine göre oldukça polar bir yapıya sahiptir ve motorin ile homojen olarak karışmayı reddetmektedir (Hansen ve ark., 2001; He ve ark., 2003; Usta ve ark., 2005).
- Biyoetanolün düşük setan sayısına sahip olması ve kendi kendine tutuşma direnci nedeni ile dizel motorlarında kullanımında bir takım sorunlar oluşturmaktadır (Acaroğlu, 2003).
- Etanolün parlama sıcaklığı dizel yakıtı göre düşük olduğundan bu durum depolanmasında dikkat edilmesini gerektirmektedir (Usta ve ark., 2005).

1.1.5.2. Biyodizelin avantaj ve dezavantajları

Avantajları;

- Biyodizel, aromatik içermeyen ve yapısında % 10 -12 oksijen içeren alternatif bir yakıttır (Graboski ve McCormick, 1998). Bu özellikleri ile birlikte biyodizel, motorine belirli oranda eklenerek kullanıldığında, egzoz emisyonlarından CO,

HC ve partikül miktarında azalma tespit edilmiştir. (Monyem ve ark., 2001; Çanakci ve Van Gerpen, 2003).

- Biyodizelin en önemli özelliklerinden birisi yağlayıcılık özelliğidir. Özellikle düşük sülfürlü dizel yakıtlarında azalan yağlayıcılığı biyodizel kullanarak arttırmak mümkün olabilmektedir (Boehman, 2005). Biyodizelin yağlayıcılığını etkileyen ana bileşikler yağ asidi metil esterleri ve monogliseritlerdir (Hu ve ark., 2005).
- Biyodizelin yapısında sülfür bulunmamaktadır. Yakıtların içinde bulunan sülfür yanma sonucu havadaki nem ile birleşerek asit yağmurlarına sebep olduğundan, biyodizelin içinde sülfür bulunmaması çevreci bir yakıt olduğunu göstermektedir.
- Biyodizel üretilirken yan ürün olarak elde edilen gliserol kozmetik ve ilaç sanayi gibi birçok alanda kullanılmaktadır.
- Biyodizel doğada % 99.6 oranında biyolojik olarak parçalanabilmektedir. Biyodizeli oluşturan C16-C18 metil esterleri kolayca ve hızla parçalanarak bozunmaktadır. Biyodizel suya bırakıldığında 28 günde % 95'i bozunurken, motorinin sadece % 40'ı bozunabilmektedir. Bu özelliği ile birlikte biyodizelin bozunabilme özelliği şekere benzemektedir (Karaosmanoğlu, 2002).
- Tarım sektöründe enerji girdisinin, sektörün kendi imkanlarıyla temin etmesine imkan sağlamaktadır (Oğuz ve Öğüt, 2005).
- Biyodizelin parlama noktası yüksektir. Bu durum yanmaya doğrudan etki etmemesine rağmen, biyodizeli depolanması ve taşınabilirliği açısından daha güvenli hale getirmektedir (Owen, 1995; Monyem ve ark., 2000; Ençınar ve ark., 2005; Alptekin ve Çanakçı, 2006).

Dezavantajları;

- NOx emisyonlarında ve özgül yakıt tüketiminde artış gözlemlenmektedir.
- Biyodizelin soğuk akış özellikleri dizel yakıtlarına oranla daha kötüdür ve bu durum soğuk havalarda ilk çalıştırma esnasında sorunlara neden olmaktadır. Ayrıca, yüksek miktarda doymuş yağ asidi içeren biyodizeller, kış aylarında yakıt filtresinin ve yakıt hattı borularının tıkanmasına sebep olabilmektedirler (Kerschbaum ve Rinke, 2004; Alptekin ve Çanakçı, 2006).

- Biyodizelin diğer bir dezavantajı da oksitlenmeye karşı olan eğilimidir. Havayla temas eden biyodizel, özellikle yüksek sıcaklıklarda hızla oksitlenmeye başlamaktadır.
- Hammadde kaynaklarının tarımsal ürünler olması gıda güvenliğini tehdit etmektedir.
- Saf (B100) kullanımı motor malzemelerinde özellikle yakıt donanımındaki hortum, bağlantı elemanı ve contaların uygun malzeme ile değiştirilmesini gerektirmektedir.

1.2. Dizel Motorlarda Yağlama Yağının Görevi ve Önemi

Genel olarak iki katı cismi birbirinden ayırmak ve sürtünme gücünü minimuma indirerek hareketin kolaylaşmasını sağlamak için kullanılan maddelere “yağlayıcı” veya “yağ” denir. Bu iki cisim arasındaki maddenin yaptığı iş de yağlamadır (Anonim, 2011d).

Motor yağlarının görevi, hareket halindeki yüzeyler arasında ince bir film tabakası oluşturarak mekanik aşınmayı önlemek ve güç kaybını azaltmaktır. Ayrıca yağlama yağlarının makinenin hareketli parçalarının yağlanması dışında sürtünme kayıplarını azaltmak, piston gibi hareketli parçalarda sürtünmeden doğan ısıyı absorbe ederek yüzeylerin soğutulmasını sağlamak, yanma sırasında oluşan asitleri nötrleştirmek ve yüzeylerde tortu birikimini önlemek gibi görevleri de vardır. Motor yağ analizleri, kullanılmış motor yağının durumunu kontrol etmek için yapılmaktadır. Çeşitli yağ analiz teknikleri sayesinde motor yağının ilk durumundan ne kadar uzaklaştığı tespit edilebilmektedir (Müjdeci, 2009).

Motorun karterine konulan yağ, sistemde dolaşmaya başladığı andan itibaren kirlenmeye ve yağlama yeteneğini kaybetmeye başlamaktadır. Yağın yağlama niteliğini kaybetmesi, içinde toplanan yabancı artıkların oranına bağlıdır. Motorun çalışması sırasında yanma odası yüzeylerinde karbon birikintileri oluşmaktadır. Bu karbon birikintileri parçalanarak yağa karışmakta ve sakızlaşmaya neden olmaktadır. Yakıtın yanması sonucunda oluşan sakızlaşmış atıklar, asitler, reçineleşmiş atıklar, yüksek sıcaklık altında çalışan motor yağında da görülebilmektedir. Motorda yağ filtresi olmasına rağmen, yabancı maddelerin bir kısmı süzölemeden yağın içinde kalacağından zamanla yağ güvenli bir şekilde kullanılamayacak duruma gelmektedir. Bu nedenle motor yağı ve yağ filtresi periyodik olarak değiştirilmelidir (Anonim, 2011b).

Motor yağ analizinin faydaları ;

- Ekipmanın ömrünü uzatmak,
- Yağ değişim aralıklarını uzatmak,
- Yağın durumu hakkında bilgi sahibi olmak,
- Bakım masraflarını düşürmek,
- Aşınma eğilimlerini ölçmek,
- Uygun bakım aralıklarını tespit etmek,
- Yedek parça envanterini azaltmak,
- Ekipman yenileme maliyetini düşürmek,
- Onarım programlamasını düzenlemek,
- Ekipmanın güvenilirliğini arttırmak şeklinde sıralanabilir (Gökalp, 2005).

Motor içerisinde aşınmadan kaynaklanan metallerin konsantrasyonun tayin edilmesi ile motorun hangi parçasında aşınma olduğu, aşınmanın miktarı ve filtrenin işlevini yapıp yapmadığı belirlenebilmektedir. Yağ analizleri sayesinde aşınmış ürünlerin tespiti ile hasar oluşmadan koruyucu önlem alınabilmektedir. Yağlama yağında analiz edilmesi gereken aşınma metalleri Al, B, Cr, Cu, Fe, Pb, Mg, Mo, Ni, Si, Ag, Na, Sn, Ti ve Zn'dir (Gökalp ve ark., 2007).

Aşınma metallerin ölçümü spektrometrik yağ analizi ile yapılmakta olup bu işlem için iki analitik cihaz mevcuttur. Bunlar; atomik emisyon ve atomik adsorbsiyondur. Başlangıçta atomik adsorpsiyon spektrofometresi kullanılsa da günümüzde daha verimli bir cihaz olan plazma spektrofometresi (ICP) ya da benzer bir cihaz olan doğru akım plazma spektrofometresi kullanılmaktadır (Gökalp, 2005). ICP tekniği (*Inductively Coupled Plasma*), yağın içinde metalik partikül birikimi oluşturan elementleri milyon ölçek (ppm) bazında tespit etmek için kullanılan bir tekniktir (Özçelik, 2011).

Aynı çalışma süreleri sonunda yapılan ve birbirini izleyen analizler metal parçacıkların sayısında bir artış gösteriyor ise ekipmanın belirli bir parçasında aşınmanın hızlanması söz konusudur. Aşınma metalleri ve aşınmanın kaynağı Çizelge 1.4.'de görülmektedir.

Çizelge 1.4. Aşınma metalleri ve kaynak noktaları (Anonim, 2017g)

Aşınma Metalleri ve Kirleticiler	Kaynak
Demir	Silindir, dişli, rulman, gövde, pas, segman, krank, gömlek
Silisyum	Kirlilik, debriyaj diskleri, contalar
Sodyum	Antifriz
Potasyum	Antifriz
Krom	Segmanlar, yataklar, rulmanlar, miller, kaplamalar, hidrolik miller
Molibden	Segmanlar, contalar
Bakır	Yataklar, burçlar, baskı pulları, yağ radyatörü, debriyaj diskleri, turbo ve soğutucusu
Kurşun	Yatak yüzeyleri, yakıt katkısı
Çinko	Yataklar, pistonlar, kaplamalar
Nikel	Kompresör tüpü, çelik parçalar, valfler
Gümüş	Yataklar, kaplamalar
Vanadyum	Yakıt, çelik parçalar, valfler
Fosfor	Fosfor alaşımlı bronz
Boron	Antifriz
Lityum	Gres
Alüminyum	Kirlilik, piston/yatak, pompalar, baskı pulları
Titanyum	Kirlilik ve boya
Manganez	Döküm metal, çelik parçalar, segmanlar, gömlekler

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Menengiç Meyvesi (*Pistacia Terebinthus*) ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Menengiç meyvesi (*Pistacia terebinthus*) ile ilgili yapılan çalışmalar, meyvenin yağ oranı ve oleik asit miktarının yüksek olduğunu bu nedenle biyodizel üretimi için uygun bir hammadde kaynağı olabileceğini göstermektedir.

(**Certel ve ark., 2007**) yaptıkları çalışmada termal ve mikrodalga fırında değişik sıcaklık ve güç seviyelerinde gerçekleştirilen kavurma ve daha sonra öğütme işlemlerinin menengiç meyvesinin bileşimi, fiziksel yapısı, duyuşal özellikleri ve raf ömrü üzerine etkilerini araştırmışlardır.

(**Çağran, 2007**) menengiç meyvesindeki (*pistacia terebinthus*) metallerin ve yarı metallerin tayinini ICP-OES (İndüktif olarak eşleşmiş plazma optik emisyon spektrometresi) cihazı ile tespit etmiştir. Sonuç olarak menengiç'in element bakımından zengin olduğunu, nem içeriğinin % 4.7±1 ve meyvenin bileşiminin % 56.84±0.52 C, % 7.91±0.38 H, % 2.23±0.10 N ve % 0.089±0.005 S elementlerini içerdiğini belirlemiştir.

(**Sidar, 2011**) yaptığı çalışmada *Anacardiaceae* familyasından olan *Pistacia* türlerinden halk arasında menengiç diye bilinen *Pistacia terebinthus* tohumları ile yine halk arasında menengül ve cüce antep fıstığı olarak bilinen tohumlardan elde ettiği yağların analizini yapmıştır. Sonuç olarak menengiç, menengül ve cüce antepfıstığı tohumlarında sırası ile % 44.3, % 56.0 ve % 55.5 oranlarında yağ bulunduğunu belirlemiştir. Tohumlardan elde ettiği yağların yağ asitleri bileşimlerini inceleyip, tüm tohumların oleik asit (% 53-68) bakımından zengin olduğunu ifade etmiştir.

(**Kaya, 2012**) yaptığı çalışmada Elazığ yöresinde yetişen menengiç'in (*çedene*) tohumlarından çözücü ekstraksiyonu yöntemi ile yağ elde etmiş ve elde edilen yağın fiziko-kimyasal özellikleri ile yağın yağ asidi bileşimini belirlemiştir. Sonuçta menengiç tohumlarının % 47 oranında yağ içerdiği ve yağ içeriği bakımından önemli bir hammadde olduğunu belirtmiştir.

2.2. Biyoyakıtların Yakıt Özellikleri ve Yakıt Olarak Kullanımına Yönelik Çalışmalar

(Oğuz ve Öğüt, 2005) yaptıkları çalışmada, çeşitli bitkisel yağlardan biyodizel üretmek için 100 lt/h kapasiteli pilot tesis tasarımı yapmışlardır. Yapmış oldukları tesiste biyodizel üretimi gerçekleştirmişlerdir. Üretilen biyodizelin yakıt özelliklerini inceleyerek motorin ile mukayese etmişlerdir. Sonuç olarak alternatif yakıt olarak üretilen biyodizelin dizel motorlarında yakıt olarak güvenle kullanılabilceğini belirtmişlerdir. Ayrıca biyodizel üretmek için kullanılacak yağın oleik ve linoleik yağ asidi oranlarının uygun olması gerektiğini, uygulanan yöntemde kullanılan alkol ile katalizörün elde edilen metil esterin yakıt özelliklerini direkt etkilediğini ve biyodizel üretilen kaynakların temini konusunda yemeklik olarak kullanılmayan yağ bitkilerinin tarımının yaygınlaştırılmasının gerekliliğini vurgulamışlardır.

(Balcı, 2009) yaptığı çalışmada, Konya Bölgesi'nde yetişen menengiç ağacı meyvelerinden elde ettiği yağa transesterifikasyon yöntemi uygulayarak menengiç yağı metil esteri (B100) elde etmiştir. Menengiç yağı metil esterini motorin ile belli oranlarda harmanlayarak (B50, B20, B5, B2) elde ettiği yakıtlar ile motorin ve B100'ün yakıt özelliklerini incelemiştir. İncelemeler neticesinde B50 yakıtının yoğunluğu ve su muhtevası değerlerini standart değerlerden sırasıyla % 1,4 ve % 45,68 oranında yüksek olduğunu, B100 yakıtının parlama noktası değerini de standartta verilen değerden % 0,5 oranında düşük olduğunu tespit etmiştir. Elde ettiği değerleri motorin ile kıyaslandığında rahatlıkla kullanılabilceğini ancak B100 yakıtının ve karışımlarının standartlara göre yaz mevsiminde TİP A'da rahatlıkla kullanılabilceği sonucuna varmıştır.

(Öğüt ve Oğuz, 2011) yaptıkları çalışmada tarımsal üretim potansiyeli yüksek olan Konya ilinin biyoyakıt merkezi olma kapasitesi ve bu yönde yapılması gerekenleri belirtmişlerdir. Araştırmacılar gıda krizlerinin yaşandığı günümüzde, tarıma, çevreye ve ülke ekonomisine önemli katkıları olacak biyoyakıt üretiminin sağlıklı olabilmesi için "Havza Modeli"nin de desteğiyle çok iyi bir planlama yapılması ve "Enerji Tarımı" yoluyla gıda niteliği olmayan enerji amaçlı bitkilerin tarımının yaygınlaşmasının gerekliliğini vurgulamışlardır.

2.2.1. Biyodizelin ve biyodizel – motorin karışımlarının yakıt olarak kullanımı

(Yücesu ve ark., 2001) yaptıkları çalışmada tek silindirli bir dizel motorda yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Deneylede No 2-D dizel yakıtı ile birlikte dokuz değişik bitkisel yağ (ham ayçiçek yağı, ham pamuk yağı, ham soya yağı ve bunlardan elde edilen ayçiçek yağı metil esterleri, pamuk yağı metil esterleri, soya yağı metil esterleri ile rafine edilmiş haşhaş yağı, kanola yağı ve mısır yağı) kullanılmıştır. Motor performansı ve egzoz emisyon karakteristiklerini belirlemek amacıyla motor, tam gazda farklı ve sabit devirlerde yük deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan testler sonucunda bitkisel yağların performans ve duman koyuluğu değerlerinin No 2-D dizel yakıtına göre daha düşük, NO_x emisyonlarının ise daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca, esterleştirme işlemi ile ham yağların fiziksel ve kimyasal özelliklerinde bir miktar iyileşme olduğunu, üretilen bitkisel yağ metil esteri esaslı yakıtların motor performans değerlerinin ham yağlardan daha iyi ve motorin performans değerlerine daha yakın sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir.

(Oğuz, 2004) çalışmasında, fındık yağından transesterikasyon yöntemi ile fındık yağı metil esteri elde etmiştir. Fındık yağı metil esterinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemiştir. Fındık yağı metil esterini bir dizel motorda (4 zamanlı, dört silindirli, 60 kW gücünde direkt püskürtmeli) denemiş ve motorin ile motor performansı ve egzoz emisyonları açısından karşılaştırmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, alternatif yakıt olarak düşünülen fındık yağı ve bundan üretilen fındık yağı metil esterinin dizel motorlarda yakıt olarak kullanılabileceğini belirtmiştir.

(Haşimoğlu, 2005) yaptığı çalışmada ayçiçeği yağından biyodizel üretmiştir. Motorin ve ayçiçeği biyodizelini direkt püskürtmeli aşırı doldurmalı, 4 silindirli dizel motorda yakıt olarak kullanmıştır. Daha sonra motorun silindir kapağı ve subaplarını plazma sprey yöntemiyle 0.15 mm nikel-krom-alüminyum (NiCrAl) astar tabaka ve 0.35 mm yitriyumlu stabilize zirkonya ($Y_2O_3ZrO_2$) ile kaplayarak deney motorunu düşük ısı kayıplı (DIK) durumuna getirmiştir. DIK motorunda standart motor ile aynı şartlarda motorin ve biyodizel yakıtlarını yeniden kullanmıştır. Sonuçları karşılaştırarak; her iki yakıt için seramik kaplama ile deney motorunun özgül yakıt tüketimi ve efektif veriminde iyileşme, egzoz gazı sıcaklıklarında yükselme olduğunu, NO_x ile CO_2

emisyonlarının artmasına rağmen duman emisyonlarında azalma olduğunu tespit etmiştir.

(Özsezen, 2007) palmiye kökenli atık kızartma yağından elde ettiği biyodizeli ve karışımlarını (B5, B20, B50) bir dizel motorda (4 silindirli, doğal emişli, indirekt püskürtmeli) tam yükte, 60, 40, 20 Nm sabit yük ve farklı devirlerde deneyerek motora ait performans, yanma, püskürtme ve egzoz emisyon karakteristiklerini belirlemiş ve bu değerleri referans yakıt petrol kökenli dizel yakıtı (PKDY) ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak B100 ve karışımların özgül yakıt tüketiminde artış gözlenirken motor performansında ise PKDY'na göre biraz düşme olduğunu belirtmiştir. Genel olarak B100 ve karışımlarının kullanılması ile silindir gaz basıncının PKDY'na göre yüksek olduğunu ve üst ölü noktaya biraz daha yaklaştığını gözlemlemiştir. Tüm test şartlarında biyodizel kullanıldığı zaman test motorunda tutuşma gecikmesi kısalmış ve püskürtme başlangıcı PKDY'na göre erken gerçekleşmiştir. Emisyon testi sonuçlarına göre, HC, CO ve duman koyuluğunda önemli azalmalar gözlemlenmiş ancak biyodizel ve karışımların kullanımı ile NO_x emisyonunda artış olmuştur.

(Aydoğan, 2008) yaptığı çalışmada bitkisel yağ olarak kanola, atık yağ ve tütün tohumu yağı ,katalizör olarak sodyum hidroksit/ sülfürik asit, alkol olarak ise metanol kullanarak biyodizel elde etmiştir. Elde ettiği biyodizelleri farklı oranlarda oda sıcaklığında dizel yakıt No.2 ile karıştırmış ve karışım yakıtlarını ve dizel yakıt No.2'yi ön yanma odalı turbo dizel bir motorda tam yükte farklı devirlerde denemiştir. Dizel Yakıt No 2'ye göre biyodizel ilavesinin NO_x , CO, SO_2 , is ile performans parametrelerine etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak, CO, SO_2 , is emisyonları azalır iken NO_x emisyonunda artış olduğunu belirlemiştir. NO_x emisyonundaki artışın karışım yakıtlarındaki biyodizel miktarı ile motorun çalışma şartlarına bağlı olduğunu vurgulamıştır.

(Haşimoğlu ve ark., 2008) kullanılmış rafine ayçiçeği yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel elde etmişlerdir. Elde ettikleri yakıtı aşırı doldurmalı direkt püskürtmeli bir dizel motorda kısmi yük şartlarında performans ve egzoz emisyonları deneylerine tabii tutmuşlardır. Araştırma sonuçlarına göre; biyodizelin motorine göre alt ısıl değerinin düşük olmasının motor performans ve egzoz emisyonlarında değişim gösterdiğini buna ilaveten özgül yakıt tüketimi ve NO_x emisyonlarının arttığını, egzoz gazı sıcaklığı ile duman koyuluğunun azaldığını tespit etmişlerdir.

(Eryılmaz, 2009) yaptığı çalışmada yabancı hardal tohumundan elde ettiği yağa transesterifikasyon yöntemi uygulayarak yabancı hardal yağı metil esteri elde etmiştir. B100 (Yabancı hardal metil esteri), B20 (% 20 yabancı hardal metil esteri + % 80 motorin), B2 (% 2 yabancı hardal metil esteri + % 98 motorin) ve motorin yakıtlarının fiziksel ve kimyasal yakıt özelliklerini incelemiştir. B100, B20 ve B2 yakıtlarını bir dizel motorda (dört zamanlı, 3 silindirli, 60 BG direkt püskürtmeli) deneyerek moment, güç, yakıt tüketimi ile motor gürültü ve duman koyuluğu değerlerini belirlemiştir. Elde ettiği verileri motorin ile mukayese etmiştir. Araştırmacı çalışması sonucunda yabancı hardal yağı biyodizelinin ve karışımlarının sahip oldukları özellikler bakımından dizel motorlarda kullanılmasının uygun olduğunu vurgulamıştır.

(Özcanlı, 2009) çalışmasında hint yağı, menengiç yağı ve atık tavuk yağından biyodizel elde etmiştir. Elde ettiği yakıtların motor performans ve egzoz emisyonlarını inceleyip potansiyel biyodizel kaynağı olarak kullanılabilirliklerini araştırmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, menengiç yağı biyodizelinin kükürt içeriğinin düşük, oksijen içeriği, parlama noktası ve setan sayısının yüksek olmasının motorine göre önemli bir avantaj olduğunu belirtmiştir. Ayrıca araştırmacı, menengiç yağı biyodizelinin setan sayısı geliştirici olarak kullanılabileceğini ön görmüştür.

(Özsezen ve Çanakçı, 2009) yaptıkları çalışmada atık palmye yağı kökenli biyodizel ve petrol kökenli motorin (PKDY) ile karışımlarını dizel motordaki performans ve egzoz emisyon karakteristiklerini tam yük ve farklı devir testlerine tabi tutarak elde ettikleri verileri üç boyutlu haritalar üzerinde analiz etmişlerdir. Analiz sonuçlarına göre; karışımlardaki biyodizel oranı arttıkça PKDY'na göre özgül yakıt tüketiminde artış, motorun döndürme momentinde azalma meydana geldiğini, emisyon analizlerinde ise biyodizel oranı ile ilişkili olarak PKDY'na kıyasla HC, CO ve duman koyuluğunda iyileşmeler olduğunu bununla birlikte CO_2 ve NO_x emisyonlarının motor devrine göre kararlı bir yapı sergilemediğini tespit etmişlerdir.

(Sugözü ve ark., 2009) ayçiçeği yağına transesterifikasyon metodu uygulayarak ayçiçeği metil esteri (B100) elde etmişlerdir. B100, B50 (% 50 ayçiçek metil esteri + % 50 motorin) ve motorini tek silindirli, dört zamanlı ve ön yanma odalı bir dizel motorda farklı motor hızlarında test etmişlerdir. Test sonuçlarına göre B100 ve B50 yakıt kullanılması durumunda motor momenti, motor gücü ve CO emisyonlarında azalma, özgül yakıt tüketimi ve NO_x emisyonlarında ise artış olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca araştırmacılar çalışma sonunda, kısa süreli deneylerde B100

ve B50 yakıtlarının dizel motorda sorun olmadan alternatif yakıt olarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

(Eliçin, 2011) çalışmasında bir dizel motorda (4 zamanlı, tek silindirli, 350 cm³ silindir hacminde, 3600 min⁻¹'da maksimum 5,5 kW güç üreten), motorin ile belirli oranlarda harmanladığı biyodizel karışımlarının (% 2, % 5, % 10, % 20, % 50 ve % 75) kullanımını performans ve egzoz emisyonları açısından değerlendirmiştir. Ayrıca dizel motora eklediği süperşarj düzeni ile farklı hava giriş basınçları kullanarak denemeler yapmıştır. Araştırma sonuçlarına göre;

- B100 ve karışımlardaki biyodizel oranının artmasıyla moment ve güç değerlerinde düşme olduğu ancak giriş hava basıncının artırılmasıyla güç ve moment değerlerinde oluşan düşüşlerin azaldığı görülmüştür.
- Biyodizel kullanımlarında özgül yakıt tüketimleri de artmış, buna karşılık hava giriş basıncındaki artışla beraber yakıt tüketimindeki farkın azaldığı gözlemlenmiştir.
- Biyodizel kullanımı ile emisyonlardaki iyileşmenin yanı sıra emme havası basıncının artırılmasıyla CO₂, SO₂ ve CO emisyonlarının daha düşük seviyelerde gerçekleştiği ve buna karşılık NO_x emisyonunda ise belirgin bir artışın olduğu görülmüştür.

(Özcanli ve ark., 2011), transesterifikasyon yöntemi ile menengiç yağından ürettikleri menengiç biyodizeli ile motorin ve motorin + biyodizel karışımlarını (B5, B10, B25, B50) 3 silindirli, 4 zamanlı, direkt enjeksiyonlu dizel motorda, tam yük koşullarında test etmişlerdir. Sonuç olarak güç değerleri biyodizel yakıtlarında azalma, özgül yakıt tüketimi değerleri ise biyodizel miktarına bağlı olarak artma eğilimi göstermiştir. Ayrıca araştırmacılar çalışmalarında, biyodizel kullanımıyla CO ve CO₂ emisyon değerlerinin sırasıyla % 34.54 ve % 10.69 azaldığını, NO_x emisyonlarının ise % 32.97 oranında arttığını ifade etmişlerdir.

(Şahin, 2013) keten tohumu yağından elde ettiği yağa transesterifikasyon işlemi uygulayarak keten yağı metil esteri (keten biyodizeli) elde etmiştir. Elde ettiği biyodizeli B2, B5, B20 ve B50 yakıt formlarında petrodizel yakıtı ile karıştırmıştır. Tüm yakıt çeşitlerinde ayrı ayrı kinematik viskozite, yoğunluk, su miktarı, ısıl değeri, parlama noktası, bulutlanma noktası, donma ve akma noktaları, soğukta filtre tıkanma noktası ile bakır çubuk korozyon testi analizleri ve motor performans denemeleri yapmıştır. Elde ettiği tüm verileri motorine göre kıyaslamış ve sonuç olarak keten

tohumundan elde edilen biyodizel ile hazırlanan karışım yakıtlarının hem analiz verilerine göre hem de performans açısından motorin ile benzer özellikler gösterdiğini belirtmiştir.

(Behçet ve Oral, 2014) yaptıkları çalışmada balık yağı ve fındık yağına tansesterifikasyon yöntemi uygulayarak balık yağı metil esteri (BYME) ve fındık yağı metil esteri (FYME) elde etmişlerdir. Elde ettikleri metil esterlerini (BYME ve FYME) motorinle hacimsel olarak % 50 oranında karıştırarak yeni yakıt karışımlar elde etmişlerdir. Elde ettikleri karışımları tek silindirli, dört zamanlı, direkt püskürtmeli ve hava soğutmalı dizel motorda yakıt olarak kullanarak performans ve egzoz emisyonlarını incelemişlerdir. Elde ettikleri veriler neticesinde, BYME50 ve FYME50'nin motor torku, motor gücü, CO, HC ve SO_2 değerleri motorine göre azalma gösterirken özgül yakıt tüketimi ve NO_x emisyonlarının arttığını tespit etmişlerdir. Ayrıca, karışım yakıtlarının iyi yanma özellikleri ve çevre üzerindeki olumlu etkilerinden dolayı dizel motorlarda hiçbir değişiklik yapılmadan kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

(Özer, 2015) fuzel yağı (alkol karışımı) kullanımı ile ham prina yağını esterleştirerek biyodizel üretimi gerçekleştirmiş ve dizel motorda yakıt olarak (B5, B10, B25, B50 ve B100) kullanılmasının motor performansına ve emisyon değerlerine etkisini araştırmıştır. Araştırmacının elde ettiği sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Biyodizelin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin incelenmesi neticesinde kinematik viskozite'nin ($6,208 \text{ mm}^2/\text{s}$) standart sınırları dışında olduğu diğer özelliklerin ise sınırlar içerisinde kaldığı tespit edilmiştir.
- Motor devrine ($1600, 2000, 2400, \text{ ve } 2800 \text{ min}^{-1}$) bağlı olarak, biyodizel miktarı arttıkça motor gücü ve motor momentinde azalma, fren özgül enerji tüketiminde ise bir miktar artış olmuştur.
- Motorine göre NO_x emisyonunda azalma, HC, CO ve is emisyonlarında ise bir miktar artış olmuştur.
- Motor yüküne ($4.05 \text{ Nm}, 7.9 \text{ Nm}, 10.3 \text{ Nm}$) bağlı deney sonuçları göre; NO_x ve CO emisyonları değerleri her bir karışımda ve kısmi yüklerde düşük değerler, yaklaşık tam yükte ise motorine göre yüksek değerler göstermiştir.

- Motorine biyodizel ilavesi ile birlikte maksimum silindir basıncı azalmış ve maksimum basıncın oluştuğu krank mili açısı değerinin üst ölü noktaya doğru yaklaşmış olmasıyla basınç artış oranında hızlı bir artış olduğu görülmüştür.

(Yaşar, 2016) yaptığı çalışmada yosun yağından transesterifikasyon reaksiyonu ile biyodizel elde etmiştir. Elde ettiği biyodizelin fiziksel ve kimyasal analizlerini gerçekleştirmiştir. Elde ettiği biyodizeli motorin ile hacimsel olarak % 20 oranında harmanlayarak dört zamanlı ve direk püskürtmeli dizel motorda sabit motor devrinde farklı motor yüklerinde yakıt olarak kullanmıştır. Motor denemelerinde yanma, performans ve egzoz emisyonları değerlerini motorin ile karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Sonuç olarak, karışım yakıtının (biyodizel+motorin) özgül yakıt tüketimi değerinin motorine göre arttığını, efektif verimin ise biraz azalma gösterdiğini tespit etmiştir. Emisyon testlerinde ise biyodizelin yanmamış hidrokarbon (HC) emisyonları ve duman koyuluğu değerlerinde azalmalar olmasına rağmen NO_x emisyonlarında artış olduğu görülmüştür.

(Abdulvahitoğlu ve Tüccar, 2017), yaptıkları çalışmada karpuz çekirdeği biyodizeli (KÇB) ve KÇB20 (hacimsel olarak %80 dizel ile % 20 KÇB) yakıt karışımının fiziksel yakıt özelliklerini belirlemişlerdir. Ölçülen fiziksel yakıt değerleri, yoğunluk, setan sayısı, viskozite akma noktası ve parlama noktasıdır. Buna ilaveten çalışmada, yakıtlar (KÇB ve KÇB20) bir dizel motorda motor performansı ve egzoz emisyonları (NO_x , CO) açısından değerlendirmek amacıyla test etmişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre; KÇB100 ve KÇB20 kullanımıyla test motorunda tork ve fren güç değerlerinin biraz azaldığı, emisyon değerlerinin ise iyileştiği gözlemlenmiştir. Sonuçta, karpuz çekirdeği yağı metil esteri çevre dostu yanma profiliyle alternatif dizel yakıt katkısı olarak tavsiye edilmiştir.

2.2.2. Biyoetanol - biyodizel - motorin karışımlarının yakıt olarak kullanımı

(Kwanchareon ve ark., 2007), farklı oranlarda motorin – biyodizel – biyoetanol karışımlarının yakıt özellikleri (yoğunluk, yanma ısısı, setan sayısı, parlama noktası ve akma noktası) ve emisyon ve performans değerlerini, motorin ile karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Çalışma sonucunda;

- Karışımların yakıt özelliklerinin motorine göre yakın sonuçlar verdiğini ancak parlama noktasının farklılıklar gösterdiğini,

- Biyodizelin setan sayısının yüksek olmasının biyoetanol içeren karışımlarda setan sayısı değerinin düşmesini engellediğini,
- % 10'dan daha az biyoetanol içeren karışımlarda yanma ısısı değerinin motorine yakın değerler gösterdiğini,
- Emisyon değerleri, motorin ile kıyaslandığında yüksek motor yüklerinde CO ve HC'nun motorine göre önemli ölçüde azaldığını ancak NO_x emisyonlarının arttığını,
- % 80 dizel, % 15 biyodizel ve % 5 biyoetanol karışımının emisyon ve yakıt özellikleri (parlama noktası hariç) açısından en uygun yakıt olduğunu vurgulamışlardır.

(Alakel, 2008) bitkisel soya yağından biyodizel elde etmiş ve dizel, biyodizel ve sırası ile % 5, % 10, % 15 ve % 20 oranında biyoetanolün hacimsel olarak karışımlarını oluşturmuştur. Deneysel çalışmada % 99.8 saflıkta biyoetanolü kullanmıştır. Hazırlanan karışım yakıtlarının analizlerini yaparak yakıtları dizel bir motorda, farklı devirlerde performans açısından deneysel olarak incelemiştir. Sonuç olarak hazırlanan karışım yakıtları içerisinde en iyi sonucun, % 75 motorin, % 15 biyodizel ve % 10 biyoetanol içeren yakıt karışımından elde edildiğini ifade etmiştir.

(Baydan, 2008) aspir metil esteri – biyoetanol - motorin yakıtlarını belli oranlarda karıştırarak yakıt özellikleri, motor performansı ile duman yoğunluğunu incelemiştir. Elde ettiği verileri motorin yakıtı ile karşılaştırmıştır. Çalışma sonunda biyoetanolün % 15'e kadar aspir metil esteri ile beraber motorine ilave edilebileceğini ve dizel araçlarda güvenle kullanılabilceği ifade edilmiştir.

(Özdemir, 2011) çalışmasında dizel, biyodizel ve biyoetanol karışımlarının doğrudan püskürtmeli bir dizel motor da kullanılmasının performans ve egzoz emisyon değerlerine etkilerini incelemiştir. Araştırmacı, karışım yakıtlarından elde ettiği test sonuçlarını motorinden elde ettiği sonuçlar ile karşılaştırmıştır. Araştırma sonucunda, motorin - biyodizel karışımlarında motor momenti ve gücünde bir miktar azalma olduğu ve bu azalmanın karışım içerisindeki biyodizel oranının artmasıyla orantılı olduğu belirlenmiştir. Motorin-biyodizel-biyoetanol karışımlarında ise yanma veriminin yükseldiği, yanmanın iyileştiği ancak karışım içerisindeki biyodizel oranı arttıkça motor momenti ve gücünün azaldığı görülmüştür. Ayrıca çalışmada, alternatif yakıt karışımlarının CO ve HC emisyonları azalır iken NO_x emisyonlarının ve özgül yakıt tüketiminin ise arttığı sonucuna varılmıştır.

(**Randazzo ve Sodre, 2011**) yaptıkları çalışmada motorin ve soya yağı biyodizeli karışımlarının (B3, B5, B10 ve B20) ve B20 karışımına % 2 ve % 5 oranında susuz biyoetanol ilave edilmesinin araçlardaki egzoz emisyon değerlerine etkilerini araştırmışlardır. Gerçekleştirdiği emisyon testlerini NEDC (New European Driving Cycle) göre gerçekleştirmiştir. Sonuçta, karışım yakıtlarında biyodizel konsantrasyonu arttıkça CO_2 ve NO_x emisyonları artmış, CO, HC ve PM emisyonları ise azalmıştır. B20 karışımına biyoetanol ilavesi ise NO_x ve CO_2 değerlerinde azalmaya neden olmuştur.

(**Zhu ve ark., 2011**) çalışmalarında Euro5 motorin, biyodizel ve biyoetanol-biyodizel karışımlarını (BE5, BE10, BE15) 4 silindirli, direkt enjeksiyonlu dizel bir motorda 5 farklı motor yükünde ve 1800 min^{-1} motor hızında test ederek yanma, performans ve emisyon karakteristiklerine etkilerini incelemiştir. Biyoetanol – biyodizel karışımları biyodizel ile karşılaştırıldığında yanma karakteristiklerinin değiştiğini ve BE5 (%5 biyoetanol içeren biyodizel) de motor performansı değerlerinin biraz iyileştiğini belirlemiştir. Genel olarak Euro5 motorin ile BE karışımlarında hem NO_x hem de dizel motor emisyon partiküllerinde azalma olduğunu tespit etmişlerdir. NO_x ve partiküllerin azalmasında karışımlardaki artan biyoetanolin etkili olduğunu ve BE karışımlarında biyoetanol oranı yüksek olan karışımlarda HC ve CO emisyonunun arttığını ifade etmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar, BE5 karışımının, HC ve CO emisyonlarını azaltmak için motorlarda kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

(**Yılmaz ve Sanchez, 2012**) tarafından yapılan çalışmada motorin, biyodizel, B85M15 (% 85 biyodizel % 15 metanol) ve B85E15 (% 85 biyodizel % 15 biyoetanol) yakıtları 2 silindirli 4 zamanlı direkt enjeksiyonlu su soğutmalı dizel motor da 3000 min^{-1} de yüksüz ve tam yük arasında 5 yükte test edilmiş ve performans ve egzoz emisyon karakteristikleri açısından karşılaştırmışlardır. % 70 yük altında tüm biyodizel – alkol karışımları motorin ile karşılaştırıldığında NO emisyonlarının azalmasına rağmen CO ve HC emisyonları artmıştır. Ayrıca motor performansı ve egzoz emisyon değerlerinin düşmesinde biyodizel-metanol karışımlarına göre biyodizel – biyoetanol karışımlarının daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

(**Alptekin, 2013**) yaptığı çalışmada farklı rendering tesislerinden alınan atık tavuk deri yağından hayvansal kökenli biyodizel üretmiştir. Hayvansal kökenli biyodizeli saf halde, biyoetanol ve PKDY (Petrol Kökenli Dizel Yakıtı) ile belirli

oranlarda karıştırarak, bir dizel motorda, motor performansı, yanma ve egzoz emisyon karakteristikleri yönünden incelemiştir. Araştırmacı sonuç olarak;

- Biyodizel ve biyoetanol karışımlarının özgül yakıt tüketimi değerlerinin PKDY'na göre daha yüksek gerçekleştiğini,
- PKDY'nın efektif veriminin biyodizellere göre düşük motor yüklerinde daha yüksek iken, yüksek yüklerde bir miktar azalma olduğunu,
- PKDY'nın maksimum silindir gaz basıncı değerlerinin biyodizellere kıyasla bir miktar düşük olduğunu,
- Biyodizelerde yanma başlangıçları PKDY'ye kıyasla daha erken krank açılarındaki gerçekleşirken, yakıt karışımındaki biyoetanol miktarının artması ile yanma başlangıçlarının daha geç krank açılarındaki meydana geldiğini,
- Biyodizel yakıtının HC ve CO emisyonu değerlerinin PKDY'ye göre düşük olduğu fakat yüksek CO_2 ve NO_x emisyonu ürettiğini, biyoetanol içeren karışımlarda B20 yakıtlarına kıyasla HC emisyonunun arttığı ve CO_2 emisyonu değerlerinin azaldığını, düşük yüklerde ise CO emisyonu artar iken NO_x emisyonunun azaldığını, yüksek yüklerde ise CO emisyonu azalır iken NO_x emisyonunun arttığını belirlemiştir.

(Doğru ve Ejder, 2013) yaptıkları çalışmada, biyoetanol-kanola biyodizeli-motorini hacimsel olarak % 5 (B5 veya E5), % 10 (B10 veya E10) ve % 15 (B15 veya E15) oranlarında karıştırarak elde ettikleri karışımları direkt püskürtme sistemli bir traktör motorunda tam yükte test etmişler ve karışım yakıtlarının motor performans karakteristiklerini (motor momenti, efektif güç, fren özgül yakıt tüketimi, efektif verim) incelemiştir. Sonuçları referans motorin ile karşılaştırmışlardır. Deneysel sonuçlarını tek boyutlu bir termodinamik model ile bir araya getirmişlerdir. Deneysel ve teorik sonuçlarının değerlendirilmesiyle B5 ve B10 karışımlarının orta motor devirlerinde yakıt ekonomisi sağladığını, B5 ve E15'in referans motorine göre veriminin yükseldiğini, E5 karışımının ise yakıt tüketimi yüksek devirlerde belirgin bir şekilde arttığını tespit etmişlerdir.

(Guido ve ark., 2013) yaptıkları çalışmada % 10 kolza biyodizeli – % 90 dizel (B10) ve % 20 biyoetanol - % 10 biyodizel - % 70 dizel (E20B10) karışım yakıtlarını 2500 motor devrinde tam yük ve sekiz kısmi yük motor koşullarında son jenerasyon dizel motorunda performans ve emisyon değerleri bakımından incelemiştir. Elde ettikleri sonuçlara göre, E20B10 yakıtında bulunan biyoetanolün oksijen içeriğinden

dolayı duman emisyonlarında ve NO_x emisyonlarında azalma olduğunu bildirmişlerdir. Bununla birlikte araştırmacılar, biyoetanol karışımlarında yüksek oranda CO ve HC emisyonlarının olmasının önemli olduğunu vurgulamışlardır.

(**Vijayan, 2014**) yaptığı çalışmada motorin, hint fıstığı biyodizeli ve farklı dizel – biyoetanol – biyodizel (DEB) karışımlarını tek silindirli, direk enjeksiyonlu bir dizel motorda, 1500 motor devrinde ve farklı yüklerde test ederek performans ve egzoz emisyon karakteristiklerini araştırmıştır. Sonuç olarak;

- Motorin, biyodizel ve DEB karışımları karşılaştırıldığında, DEB karışımlarının özgül yakıt tüketiminde, düşük motor yüklerinde % 34.38 artış olduğunu,
- Karışım yakıtlarının termik verimliliğinin motorinden biraz daha yüksek olduğunu,
- % 85 oranında motorin içeren karışım yakıtlarında yüksek yüklerde CO emisyonunun daha az düşüş göstermiş olduğunu,
- Motorin ile karşılaştırıldığında karışım yakıtlarında daha yüksek yüklerde NO_x emisyonun arttığını,
- Yanmamış hidrokarbonun(HC) orta yüklerde karışımların çoğunda azaldığını,
- D80B5E15 yakıtının diğer yakıt ve karışımlarına göre daha iyi performans ve egzoz emisyon özelliklerine sahip olduğunu belirtmiştir.

(**Yılmaz ve ark., 2014**) biyodizel-motorin karışımlarına yüksek ve düşük biyoetanol ilavesi ile dizel motor emisyonlarında biyoetanol konsantrasyonunun etkilerini incelemişlerdir. Biyodizel – dizel – biyoetanol (BDE) karışımlarında % 3, % 5, % 15 ve % 25 oranlarında biyoetanol ilavesine karşın biyodizel ile dizel oranları eşit tutulmuştur. Araştırmacılar, BDE karışımlarında, farklı motor yüklerinde elde ettikleri emisyon değerlerini motorin emisyon değerleriyle karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, emisyon değerlerinin hem motor çalışma şartlarına hem de yakıt karışım konsantrasyonlarına bağlı olduğunu vurgulamışlardır. Genel olarak, motorine göre CO emisyonları, alkol karışım yakıtlarında artmış, NO_x emisyonları ise biyoetanol içeren tüm konsantrasyonlarda azalmıştır. HC emisyonlarında bu durumun hem çalışma koşullarına hem de biyoetanol içeriğine dayandığı tespit edilmiştir.

(**Aydoğan, 2015**) common-rail püskürtme sistemine sahip bir dizel motorda, biyoetanol - aspir biyodizeli - dizel yakıtı karışımlarının kullanılmasının motor performans parametreleri, egzoz emisyonları ve yanma karakteristikleri üzerine etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Yakıt çeşidi olarak E20B20D60 (hacimce % 20

biyoetanol, % 20 biyodizel, % 60 dizel yakıtı), E30B20D50, E50B20D30 ve dizel yakıtı (D) kullanılmıştır. Motor deneyleri tam gaz ve farklı devirlerde gerçekleştirilmiştir. Yapılan testler sonucu, biyoetanol – biyodizel - dizel yakıtı karışımlarının kullanımında motor gücü, motor torku, karbonmonoksit (CO), hidrokarbon (HC) ve duman yoğunluğu değerlerinde azalma, azotoksit (NO_x) ve özgül yakıt tüketimi değerlerinde ise artma olduğu belirlenmiştir. Yanma karakteristikleri değerlerinin ise birbirine yakın olduğu sonucuna varılmıştır.

(**Hatkar ve ark., 2015**) yaptıkları çalışmada atık yağlardan elde ettikleri biyodizeli, % 10 motorin ile karıştırarak B10 yakıtını ve % 71 dizel, % 21 biyodizel, % 11 biyoetanol ile karıştırarak BDE yakıtını elde etmişlerdir. Elde ettikleri yakıtları tek silindirli, su soğutmalı dizel motorda deneyerek tüm yüklerde çalışma karakteristiklerini incelemişlerdir. Araştırma sonuçlarına göre; B10 ve BDE yakıtları motorin ile karşılaştırıldığında, özgül yakıt tüketimi değerlerinin arttığı, CO emisyonunun azaldığı, NO_x emisyonu değerlerinin ise motorine göre B10'da biraz artış olur iken BDE'de düşük değerlerin olduğu ifade edilmiştir.

(**Mofijur ve ark., 2016**) yaptıkları çalışmada taşıma sektörü ile oluşan sera gazı emisyonlarını ve dünya biyoyakıt standartları ile farklı ülkelerin izlediği biyoyakıt politikalarını incelemişlerdir. Motor emisyonlarının motor çalışma şartlarına, biyoyakıt tiplerine ve karışımlar gibi faktörlere bağlı olduklarını belirtmişlerdir. Hem biyodizel-motorin hem de biyoetanol-biyodizel-motorin karışımlarının egzoz gazı emisyonlarında CO, HC, partikül maddenin azalmasında önemli olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca % 5-10 biyoetanol ile % 20-25 biyodizelin petrodizelle harmanlanmasının sera gazı emisyonlarını azaltacağını böylece çevre ve insan sağlığının daha iyi korunacağını ifade etmişlerdir.

(**Roy ve ark., 2016**) yaptıkları çalışmada kanola yağından elde ettikleri B100, B50, B20 ve biyodizel – motorin karışımlarına hacimce % 5 ve % 15 biyoetanol ile dietil eter ekleyerek elde ettikleri karışımları 4 silindirli direk enjeksiyonlu dizel motorda deneyerek yakıt karışımlarının egzoz emisyonlarına (CO, CO_2 , NO, NO_2 , NO_x ve yanmamış hidrokarbon) etkilerini incelemişlerdir. Denemeleri rölanti (yüksüz) durumunda düşük 800 min^{-1} , orta 1000 min^{-1} ve yüksek 1200 min^{-1} 'de yapmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre; motorin-biyodizel katkılı karışımların dizele göre düşük CO emisyonu ürettiği, biyoetanol ve DEE (Diethyl ether) katkılı motorin-biyodizel

karışımların NO_x emisyonlarını, artan biyodizel içeriğinin HC emisyonlarını azalttığını tespit etmişlerdir.

2.2.3. Dizel motorlarda kullanılan yağlama yağı

(**Karaosmanoğlu ve ark., 1995**) ortak çalışmalarında, yağlama yağını, üretim ve özellikleri, sınıflama, kullanım ve geri kazanımları açılarından incelemişlerdir. Yağlama yağlarının özelliklerinin iyileştirilmesi, uzun ömürlü, ucuz ve kolay bulunacak şekilde piyasaya sunulması, sentetik yağlarının kullanımının artacağı ve sentetik yağlayıcılar içinde ise yenilenebilir kaynaklara dayalı yağların değerlendirilmesi gerekliliğini vurgulamışlardır.

(**Kılıç, 1998**) yaptığı çalışmada, tarım traktörlerinde kullanılan motor yağlarında oluşan fiziksel ve kimyasal etkileri incelemek için kullanılmış ve kullanılmamış yağlara ait viskozite, parlama noktası, özgül kütle, toplam baz numarası ve element analizleri yapmıştır. Sonuç olarak viskozite indeksi, kinematik viskozite, parlama noktası ve toplam baz numarası değerleri kullanılmamış yağlara göre azalırken sadece özgül kütleyle ait değerler kullanılmamış yağa göre artmıştır. Artmanın nedenin dış ortamdan gelen kirleticilerin neden olduğunu belirtmiştir. Ayrıca element analizinde, elementlerin motor yağı bileşiminden, yağlara katılan katıklardan ve kirleticilerden meydana geldiğini belirlemiştir.

(**Agarwal ve ark., 2003**) yaptıkları çalışmada keten yağı metil esteri, motorin karışımlarını ve motorini sırasıyla iki benzer motorda kullanarak motorları optimum şartlarda uzun süreli dayanıklılık testlerine tabi tutmuşlardır. Her iki motorda sabit aralıklarla yağlama yağı numunesi olarak ICP element (Fe, Cr, Mg, Cu, Co, Zn, Pb) analizi yapmışlardır. Biyodizel ile çalışan motor sisteminde aşınma metallerinin % 30 oranında daha düşük olduğunu belirlemişlerdir. Sonuçların deneysel olarak doğrulanması için uzun süreli testlerde SRV optimal aşınma testinde aşınma oranı, sürtünme katsayısı vb. değerlendirmeleri gerçekleştirmişlerdir. Hasarın derecesi, sürtünme katsayısı ve aşınma oranları biyodizel karışımlarında keten yağı metil esteri oranı arttıkça azalmıştır. Aşınmaya maruz kalan yüzeyde tarama, elektronik mikroskopla gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak biyodizel yakıtının mineral dizel yağına faydalı olduğunu belirtmişlerdir.

(**Gökalp ve ark., 2007**) dizel motorda, aşınma değerlerini bir yağ analiz programı ile deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada, yağın metal seviyesinde anormal bir artış, performans değerlerinde anormal değişim tespit edildiğinde yağ değişimi yerine aşınan metalin ilgili olduğu makine parçasının kontrol edilmesi ve gerekirse değiştirebileceği ancak bahse konu olan yağın metal değerlerinde anormal bir artış gözlemlenmemiş ve performans değerlerinde anormal bir durum var ise yağın değiştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

(**Müjdeci, 2009**) çalışmasında A, B, C, şeklinde 3 farklı motor yağı katkı maddesi kullanarak, yağ katkılarının sürtünmeyi önleme üzerinde oluşturdukları olumlu veya olumsuz etkileri araştırmıştır. Aynı zamanda motor performans deneyleri ile yağ katkılarının motorda moment, güç, yakıt sarfiyatı ve egzoz emisyonları açısından meydana getirdikleri değişiklikleri karşılaştırmış olup, deney sonunda yağ analizi ile aşınma elementlerini incelemiştir. Sonuç olarak, ticari yağ katkı maddelerinin sürtünmeyi azaltması, aşınmayı önlemesi, motor gücünün artırılması ve yakıt sarfiyatının düşürülmesi üzerinde pozitif etkilerinin bulunmadığını belirtmiştir.

(**Niyet, 2009**) yaptığı çalışmada belirli bir çalışma süresi boyunca dizel motorda yakıt olarak biyodizel kullanarak, sonrasında egzoz gazı emisyonları ve yağlama yağı üzerindeki değişimleri incelemiş ve sonuçları değerlendirmiştir. Biyodizel bütün yüklerde motorine oranla CO, CO₂ ve HC yönünden daha düşük, NO_x yönünden daha yüksek emisyon değerleri göstermiştir. Motor yağlama yağı incelemesinde ise aşınma elementlerinin çalışma süresine bağlı olarak arttığını B100 yakıtının motorine göre daha çabuk bozunduğu tespit edilmiştir.

(**Özçelik, 2011**) aspir yağından transesterifikasyon yöntemi ile Aspir Biyodizeli (Aspir Yağı Metil Esteri) elde etmiştir. B2 (% 2 biyodizel + % 98 motorin), B20 (% 20 biyodizel + % 80 motorin), B100 ve motorin yakıtlarının viskozitesi, yoğunluğu, su miktarı, ısıl değeri, parlama noktası, bulutlanma, donma ve akma noktası, kül miktarı, bakır çubuk korozyonu testi ve STFAN analizlerini yapmış ve hazırlanan yakıtların dört zamanlı, tek silindirli, su soğutmalı, direk püskürtmeli yakıt sistemine sahip bir dizel motorda performans ve egzoz emisyon değerlerini incelemiştir. Her yakıttan belirli saat aralığında motor yağlama yağı numunesi almıştır. Alınan numunelerin, aşınma elementleri (demir, alüminyum, kurşun, bakır ve krom) durumlarını incelemiştir. Araştırmacı sonuçta, aspir yağından üretilen biyodizelin dizel motorlarda alternatif bir yakıt olarak kullanılabilirliğini ve remzibey çeşidi aspir biyodizelinin motorin yakıtına

göre yağlama yağını biraz daha inceltmesi ve içindeki aşınma elementlerinin miktarının artmasına rağmen motor yağlama yağına zararlı bir etkisinin olmadığını ifade etmiştir.

(Aydın, 2014) çalışmasında, aspir yağına transesterifikasyon yöntemi uygulayarak aspir yağı metil esteri elde etmiş ve aspir yağı metil esteri ile motorini % 2.5 ve % 5 oranında biyoetanol ilavesi ile birlikte ters oranlarda hacimsel olarak karıştırmıştır. Elde edilen yakıtlar (E2.5-B2.5-M95; E5-B5-M90; E5-B2.5-M92.5 ve E2.5-B5-M92.5) ile motorinin yakıt özelliklerini incelemiştir. Motorin ve elde edilen karışımları dizel motorda (4 zamanlı, tek silindirli, direk püskürtmeli yakıt sistemine sahip su soğutmalı) denemeye almıştır. Her yakıtta motoru, kısmi yük altında 100 saat çalıştırmış ve belirli saatlerde motor yağından numuneler almış ve aşınma elementlerini incelemiştir. Test sonuçları, performans açısından en uygun yakıtın M100, egzoz emisyonları ve yağlama yağı açısından ise E2.5-B5-M92.5 yakıtı olduğunu göstermiştir.

Literatür taramalarında menengiç yağından elde edilen biyodizelin, motorin ile belli oranlarda karıştırılarak motor denemeleri çalışmaları olmasına karşılık menengiç biyodizeli-biyoetanol-motorin karışımlarından elde edilen karışım yakıtın motor denemeleri ve motor denemeleri süresince kullanılan yağlama yağının aşınma elementleri açısından incelenmesine yönelik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yönüyle çalışma literatüre katkı sağlayacaktır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Araştırmada kullanılan materyaller

3.1.1.1. Menengiç (*pistacia terebinthus* L.)

Menengiç (*Pistacia terebinthus*), sakız ağacıgiller (*Anacardiaceae*) familyasından bir ağaç türüdür (Anonymous, 2016). Maki formasyonunda bir tür olup, ışık isteği fazla ve 2-6 m yüksekliğinde yapraklarını döken ağaçlıklardır. Ağustos ayı sonu ile Eylül ayı başında olgunluğa erişen meyve ve yaprak mazıları elle veya amaca uygun kesici bir alet yardımıyla kesilerek toplanmaktadır. Toplanan meyve ve yaprak mazıları ayrı ayrı güneşe serilerek geleneksel yöntemlerle kurutulmaktadır (Anonim, 2016a). Başlangıçta kırmızımsı bir renge sahip olan meyve kurutulduktan sonra yeşilimsi bir görünüm kazanmaktadır. Şekil 3.1.'de menengiç bitkisi görülmektedir.

Menengiç'in ülkemizde 17.637 ha alanda yayılışı vardır. Meyvenin tahmini potansiyeli ise 247.750 ton/yıl'dır. Menengiç ağacından güçlü kök sistemi nedeniyle erozyon kontrol çalışmalarında faydalanılmaktadır. Meyveleri, odunu ve yaprak mazıları kullanılmaktadır. Yapraklarında *Pemphigus conniculatus* Pass. İsimli böcek tarafından oluşturulan mazılar, kıymetli ipek kumaşların boyanmasında ve tütsü maddesi olarak kullanılmaktadır. Halk arasında meyvelerinden elde edilen yağdan her türlü yemek ve helva yapımında faydalanılırken; iştah açıcı olarak da, özel köy ekmeklerinde, kahve ve çay şeklinde tüketilmektedir. Ayrıca meyveleri idrar söktürücü ve kuvvet verici etkiye sahiptir. Menengiç meyveleri "Çedene" adıyla pestile katılmakta ya da kavrulularak menengiç kahvesi yapımında kullanılmaktadır. Meyvelerinden elde edilen yağ, sabun imalinde kullanılmakta olup piyasa da "bıttım" sabunu olarak bilinmektedir. Sabun, saç dökülmesine iyi gelmekle birlikte antiseptik özelliği ile de deri hastalıklarının pek çoğuna etkilidir. Pres artığı küspesi hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Aynı zamanda menengiç ağacına kalem aşısı ile Antep fıstığı (*Pistacia vera* L.) aşılabilen ve bu yolla önemli gelir elde edilebilmektedir (Anonim, 2016a; 2017f)

Araştırmamıza konu olan menengiç meyvesi (Konya ili Hadim ilçesi ve ilçeye bağlı etraf köylerinden hasat edilmiştir) piyasadan temin edilmiştir.



a) Menengiç ağacı (*Taşkent bölgesi kırsalı*)



b) Hasat edilen yaş meyve (Yıldız, 2013)



c) Kurutulmuş meyve

Şekil 3.1. Menengiç bitkisi

3.1.1.2. Biyoetanol

Araştırmada kullanılan biyoetanol Konya Şeker Sanayi ve Ticaret A. Ş.'den temin edilmiştir.

4 milyon litre/yıl üretim kapasiteli Biyoetanol Tesisi şeker pancar melasından, doğrudan pancardan veya şekerden üretim yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Tesiste üretilen biyoetanol araçlarda yakıt harmanlama ürünü olarak kullanılmakta matbaacılık sektöründe değerlendirilebilmektedir. Ülkemizin biyoetanol kurulu kapasitesinin yüzde 56'sına sahip tesis büyük akaryakıt dağıtım şirketlerine ürün vermektedir (Anonim, 2017d)

3.1.1.3. Motorin

Araştırmada motorin yakıtı olarak Euro Dizel kullanılmış olup piyasadan temin edilmiştir.

3.1.1.4. Motor yağlama yağı

Araştırmada kullanılan tek silindirli dizel motor için uygun olan 20W50 motor yağı piyasadan temin edilmiştir.

3.1.2. Meyvenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan alet ve cihazlar

3.1.2.1. Dijital kumpas

Menengiç meyvelerinin kalınlıklarını belirlemek için Mitutoyo marka CD-15CP model dijital kumpas kullanılmıştır. Çizelge 3.1.'de cihaza ait teknik özellikler ve Şekil 3.2.'de dijital kumpas görülmektedir

Çizelge 3.1. Dijital kumpasa ait teknik özellikler

Teknik özellik	Birimi	Değeri
Ölçüm aralığı	mm	0-150
Hassasiyet	mm	0.01
Tekrarlanabilirlik	mm	0.01
Ağırlık	g	164
Açma/Kapama Tuşu		Var
Ekran		LCD
Sıfırlama		Var
inch ve mm ölçebilme		Var



Şekil 3.2. Dijital kumpas

3.1.2.2. Etüv

Menengiç meyvelerinin nem oranını belirlemek için Memmert marka etüv cihazı kullanılmıştır. Çizelge 3.2.'de cihaza ait teknik özellikler, Şekil 3.3.'de ise etüvün genel görünüşü görülmektedir.

Çizelge 3.2. Etüv cihazına ait teknik özellikler

Teknik özellikler
• + 300 °C'ye kadar ısıtma
• 0.1 °C yüksek hassasiyet
• Dijital ve renkli ekran
• Doğal hava sirkülasyonu
• Paslanmaz çelik iç ve dış yapı
• Yüksek sıcaklık koruma



Şekil 3.3. Etüv

3.1.3. Menengiç metil esterinin üretilmesinde kullanılan pilot üretim tesisi

Menengiç yağından biyodizel üretmek için, Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi bünyesinde, DPT 2007/ 4 nolu proje desteğiyle kurulan “PLC Destekli Pilot Üretim Tesisinden”, çalışma boyunca kullanılan ve üretilen yakıtların ve karışımlarının yakıt özelliklerinin belirlenmesinde ise yine aynı proje bünyesinde

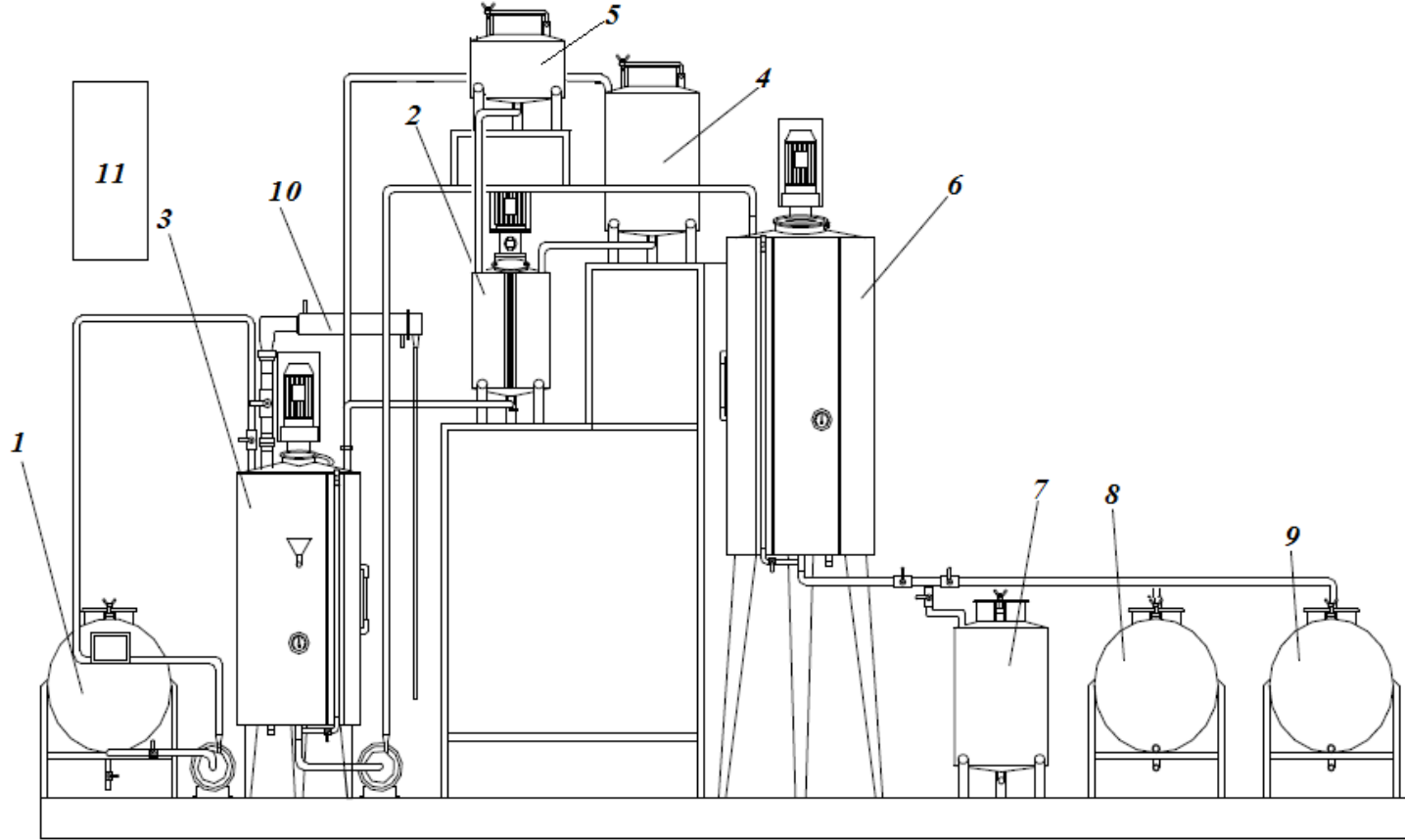
oluşturulan “biyodizel laboratuvarından” yararlanılmıştır. Pilot üretim tesisinin genel ve şematik görünüşü ile biyodizel laboratuvarının genel görünüşü sırasıyla şekil 3.4., 3.5 ve 3.6.’da verilmiştir.

Pilot üretim tesisi;

- Ham yağ tankı,
- Reaktör tankı,
- Metoksit tankı,
- Katalizör tankı,
- Metanol tankı,
- Dinlendirme tankı,
- Biyodizel tankı,
- Gliserin tankı,
- Atık tankı
- Kontrol paneli ünitelerinden oluşmaktadır.



Şekil 3.4. PLC destekli pilot üretim tesisi



- | | | | |
|-------------------|----------------------|--------------------|--------------------|
| 1. Ham yağ tankı | 4. Metanol tankı | 7. Gliserin tankı | 10. Eşanjör |
| 2. Metoksit tankı | 5. Katalizör tankı | 8. Biyodizel tankı | 11. Kontrol Paneli |
| 3. Reaktör tankı | 6. Dinlendirme tankı | 9. Atık Tankı | |

Şekil 3.5. PLC destekli pilot üretim tesisi şematik görünümü (Oğuz ve Ögüt, 2005)



Şekil 3.6. Biyodizel laboratuvarının genel görünüşü

3.1.4. Fiziksel, kimyasal yakıt özelliklerin belirlenmesinde kullanılan cihazlar

3.1.4.1. Yoğunluk ölçüm cihazı

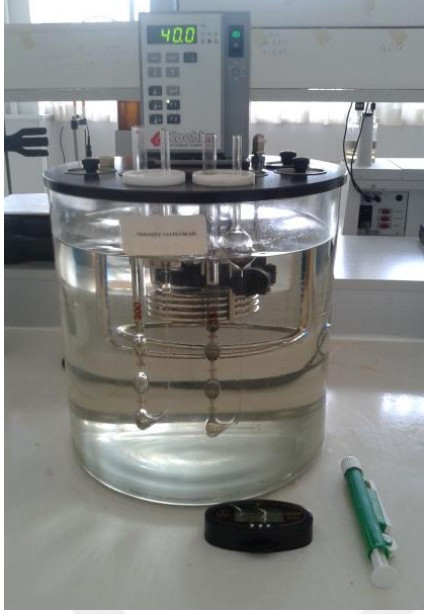
Motorin, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3, menengiç yağı, biyoetanol ve menengiç metil esteri ölçümü için, biyodizel laboratuvarı'nda bulunan ve EN 61326 standarda göre ölçüm yapabilen “Kem Kyoto marka DA-130N model” cihaz kullanılmıştır. Cihaz hatası $\pm 0.001 \text{ g/cm}^3$ olup ölçüm aralığı 0.0000 ile 2.0000 g/cm^3 , ölçüm sıcaklığı aralığı 0 ile 40 °C dir. Cihaz ölçüm sonuçlarını 15 °C'ye çevirerek g/cm^3 olarak değer vermektedir. Şekil 3.7.'de yoğunluk ölçüm cihazı görülmektedir.



Şekil 3.7.Yoğunluk ölçüm cihazı

3.1.4.2. Kinematik viskozite ölçüm cihazı

Motorin, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3, menengiç yağı, biyoetanol ve menengiç metil esterinin viskozitelerinin ölçülmesinde biyodizel laboratuvarında bulunan ASTM D 445, DIN 51550 ve ISO 3104 standartlarına göre ölçüm yapabilen “Koehler marka K23377 model” cihaz kullanılmıştır. Cihazın çalışma sıcaklığı aralığı 25 ...150 °C olup sıcaklık derecesi hassasiyeti ± 0.01 'dir. Şekil 3.8.'de kinematik viskozite ölçüm cihazı ile viskozitenin ölçümü esnasında kullanılan kronometre görülmektedir. Kronometre cihazı “Hanhart 7 jewels shockproof marka” olup 15 dakika kapasiteli ve 0.1 saniye hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir.



a) Kinematik viskozite ölçüm cihazı



b) Kronometre

Şekil 3.8. Kinematik viskozite ölçüm cihazı ve kronometre

3.1.4.3. Parlama noktası tayin cihazı

Motorin ve menengiç metil esterinin parlama noktalarının belirlenmesinde, ASTM D 93, DIN 51758 ve ISO 2719 standartlarına göre ölçüm yapabilen “Koehler marka K16270 model” cihaz kullanılmıştır. Parlama noktası tayin cihazı Şekil 3.9.’da görülmektedir.



Şekil 3.9. Parlama noktası tayin cihazı

3.1.4.4. Su içeriği tayin (karl-fischer titrasyon) cihazı

Motorin, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3, menengiç yağı, biyoetanol ve menengiç metil esterinin su içeriği tayini için, “Kem Kyoto Electronics marka MKC-501 model” cihaz kullanılmıştır. Cihazın ölçüm aralığı 10 mikrogram – 100 mg su aralığında olup ölçüm sıcaklığı aralığı 5 - 35 °C arasındadır. Cihazın ekranı 16 karakterli LCD’dir.

şekil 3.10.’da su içeriği tayin cihazı görölmektedir.



şekil 3.10. Su içeriği tayin cihazı

3.1.4.5. Kalori tayin cihazı

Motorin, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3, biyoetanol ve menengiç metil esteri yakıtlarının kalori değerlerinin belirlenmesinde EN 61010, EN 50082, EN 55014 ve EN 60555 standartlarına göre ölçüm yapabilen “ IKA marka cihaz” kullanılmıştır.

şekil 3.11.’de, ölçüm aralığı maksimum 40.000 J olan kalori tayin cihazı görölmektedir.



Şekil 3.11. Kalori tayin cihazı

3.1.4.6. Bakır şerit korozyonu test cihazı

Motorin, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3, menengiç yağı, biyoetanol ve menengiç metil esterinin bakır ve alaşımları üzerindeki korozyon etkisinin tayini için, biyodizel laboratuvarında bulunan ve ASTM D 130, DIN 51759 ve ISO 2160 standartlarına göre ölçüm yapılabilen “Koehler marka K 25330 model” cihaz kullanılmıştır. Banyo sıcaklığı, kontrollü olarak 190 ± 1 °C’ye kadar çıkabilmektedir.

Şekil 3.12.’de bakır şerit korozyonu test cihazının genel görünümü verilmiştir.



Şekil 3.12. Bakır şerit korozyonu test cihazı

3.1.4.7. Soğuk filtre tıkanma noktası tayin cihazı

Motorin, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3, biyoetanol ve menengiç metil esterinin soğuk filtre tıkanma noktasının belirlenmesinde “TANAKA marka AFP-102 model” cihaz kullanılmıştır. Cihazda, ASTM D 6371 test standardına göre petrol türevi ve biyoyakıtlar da soğuk filtre tıkanma noktası testi otomatik olarak yapılabilmektedir. Cihaz, tek pozisyonlu, masa üstü tip ve peltier soğutma ünitesidir. Soğutmalı sirkülatör ünitesi ile -60 °C’ye kadar kontrol edilebilmektedir. VFD ekran modüllü kontrol ünitesinde, test sonucu otomatik olarak alınabilmektedir.

Şekil 3.13.’de soğuk filtre tıkanma noktası tayin cihazı görülmektedir.



Şekil 3.13. Soğuk filtre tıkanma noktası tayin cihazı

3.1.4.8. Bulutlanma ve akma noktaları tayin cihazı

Motorin, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 ve menengiç metil esterinin, bulutlanma ve akma noktalarının belirlenmesinde ASTM D 97 standardına göre ölçüm yapabilen “Koehler marka, K 46000 model” cihaz kullanılmıştır.

Şekil 3.14.’de bulutlanma ve akma noktası tayinlerinde kullanılan cihaz görülmektedir.



Şekil 3.14. Bulutlanma ve akma noktası tayin cihazı

3.1.4.9. Setan sayısı ölçüm cihazı

Motorin, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3, menengiç yağı, biyoetanol ve menengiç metil esterinin setan sayısı analizleri, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü yakıt analizi laboratuvarında yaptırılmıştır.

Şekil 3.15.'de “Zeltex marka ZX 440 model” setan sayısı ölçüm cihazı görülmektedir.



Şekil 3.15. Setan sayısı ölçüm cihazı

3.1.4.10. Kül muhtevası ölçüm cihazı

Menengiç yağı ve menengiç biyodizeli kül muhtevası analizleri Konya Gıda Kontrol laboratuvarında yaptırılmıştır. Yanma sonucu sülfatlanmış kül miktarını tespit etmek için “Nabertherm marka LT15/11 model” cihaz kullanılmıştır.

Şekil 3.16.’da kül muhtevası ölçüm cihazı, çizelge 3.3.’de ise cihaza ait teknik özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.3. Kül muhtevası cihazına ait teknik özellikler (Anonim, 2017c)

Özellik	Birimi	Değerler
T(max)	°C	1100
İç ebatlar (g x d x y)	mm	230 x 340 x 170
Hacim	l	15
Dış ebatlar (g x d x y ¹)	mm	415 x 555 x (515+240)
Bağlantı	kW	3.5
Elektrik bağlantı	-	1 fazlı
Ağırlık	kg	40

¹kaldırılmalı tip kapak, açık iken dahil olmak üzere



Şekil 3.16. Kül muhtevası ölçüm cihazı

3.1.4.11. Homojenizatör

Laboratuvarda yapılan analizlerde homojen bir karışım sağlamak için kullanılan homojenizatör, “Yellow line marka DI 18 basic model” olup maksimum 24000 min^{-1} karıştırma devir sayısına sahiptir. Şekil 3.17.’de cihazın genel görünümü görülmektedir.



Şekil 3.17. Homojenizatör

3.1.4.12. Hassas terazi

Biyodizel üretim aşamasında katalizör miktarının belirlenmesi ve laboratuvarda yapılan analizlerde (su muhtevası, kalori tayini, meyvenin nem içeriği, bindane ağırlığı) tartım işlemlerini gerçekleştirmek için 210 g kapasiteli ve 0.1 mg hassasiyetle ölçüm yapabilen “Denver Instrument marka” hassas terazi kullanılmıştır. Şekil 3.18.’de hassas terazi görülmektedir.



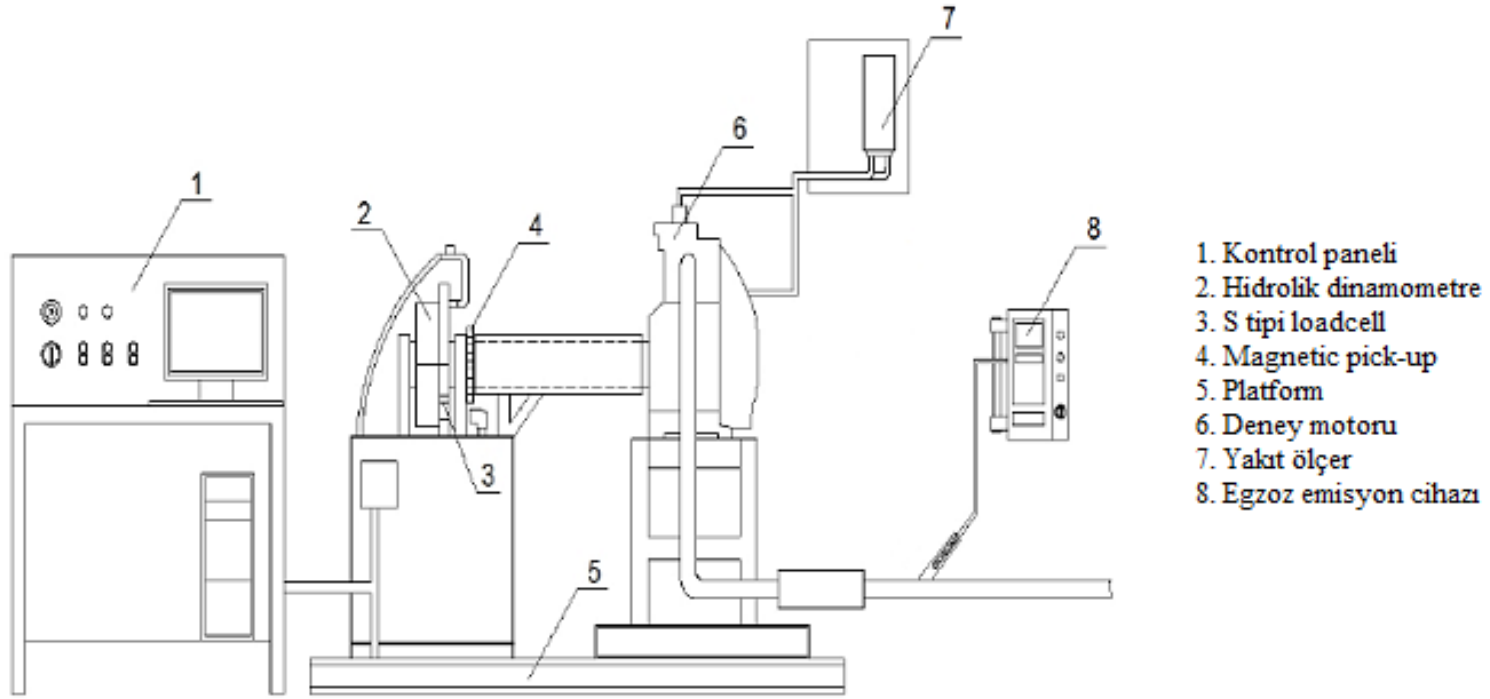
Şekil 3.18. Hassas terazi

3.1.5. Motor deney ve test düzeneği

Motor denemeleri, Selçuk üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknoloji Mühendisliği bölümü bünyesinde bulunan motor deney ve test düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.19.'da şematik görünümü verilen motor deney ve test düzeneği;

- Hidrolik dinamometre
- Magnetic pick-up
- S tipi loadcell
- Kütleli yakıt tüketimi ölçüm cihazı
- Dinamometre kontrol ünitesi ve
- Egzoz emisyon ölçüm cihazı kısımlarından oluşmaktadır.

Motor deney ve test düzeneği ile; motor devri, motor torku ve motor gücü ile bunlara ilaveten yakıt sarfiyatı, motor yağ sıcaklığı, motor yağ basıncı, soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklığı, motor soğutma suyu debisi, egzoz gazı sıcaklığı, emiş hava debisi de ölçülerek veriler gerçek zamanlı olarak bilgisayara kayıt edebilmektedir (Anonim, 2016b).



Şekil 3.19. Motor deneş ve test düzeneğinin şematik görünümü

3.1.5.1. Deney motoru

Araştırmada kullanılan ‘‘Süper Star’’ marka tek silindirli dizel deney motoru Şekil 3.20.’de gösterilmiş olup, deney motoruna ait teknik özellikler ise Çizelge 3.4.’de verilmiştir.



Şekil 3.20. Deney motoru ve deney düzeneği

Çizelge 3.4. Deney motoruna ait teknik özellikler (Anonim, 2009)

Teknik özellikler	Birimi	Değeri / Markası
Markası	-	Süper star
Çalışma prensibi	-	4 zamanlı, direkt enjeksiyonlu, dizel motor
Silindir çapı	mm	108
Strok	mm	100
Silindir sayısı	adet	1
Silindir hacmi	l	0.92
Yakıt deposu kapasitesi	l	16
Sıkıştırma oranı	-	17:1
Yağ kapasitesi (<i>filtre dahil</i>)	l	2.3
Max. güç	hp	15
Max. tork	Nm	60
Yağlama sistemi	-	Tam basınçlı (dişli yağ pompalı)
Soğutma sistemi	-	Su soğutmalı
Soğutma suyu kapasitesi	l	3
Yakıt pompası	-	Süper star / Bosch tipi
Enjektör kütüğü	-	Bosch / Lucas
Enjektör memesi	-	Bosch / Lucas
Püskürtme basıncı	kg/cm ²	175
Püskürtme başlangıcı	°	28-35 (Ü.Ö.N'dan önce)

3.1.5.2. Hidrolik dinamometre

Hidrokinamik Dinamometre motorun hızını, torkunu ve bunlara bağı olarak motor gücünü ölçmek amacı ile kullanılmaktadır. Dinamometre, stator ve rotordan grubundan oluşmaktadır. Rotor ve stator paslanmaz çelikten yapılmış olup yüksek korozyon mukavemetlidir. Rotor mili kardan mili vasıtası ile motor volanına irtibatlandırılacak şekilde konstrükte edilmiştir. Rotor ile stator arasında su kullanılmakta ve sistem, harici bir yağlamaya gerek duymadan çalışmaktadır. Dinamometrenin frenleme gücü ısı enerjisine çevrildiğinden dinamometre yağının soğutulması için ayrıca soğutma sistemi bulunmaktadır (Anonim, 2016b). Hidrolik dinamometre ve dinamometreye ait teknik özellikler sırasıyla Şekli 3.21. ve Çizelge 3.5.'de görülmektedir.



Şekil 3.21. Hidrolik dinamometre (Anonim, 2016b)

Çizelge 3.5. Hidrolik dinamometreye ait teknik özellikler (Anonim, 2016b)

Teknik özellikler	Birimi	Değeri
Frenleme Torku Aralığı	Nm	0-1700
Çalışma Hızı	min ⁻¹	0- 7500
Gövde Çapı	mm	350
Tork Kolu Uzunluğu	mm	350

3.1.5.3. Magnetic pick-up

Magnetic Pick-Up, dinamometre mili üzerine yerleştirilen dişlinin dönme esnasındaki dişlerini sayarak motor yada dinamometre devir sayısını ölçmek için

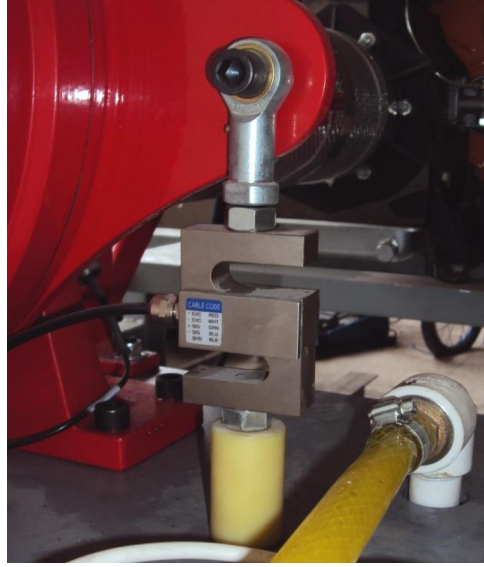
kullanılmaktadır. Sabit mıknatıslı sensörün (algılayıcı) önünden geçen her bir diş için pulse üretilmekte ve birim zamanda üretilen pulse'lar bilgisayara bağlı counter (sayısı) ile sayılarak motor devri ölçülmektedir (Anonim, 2016b). Şekil 3.22.'de magnetic pick-up görülmektedir.



Şekil 3.22. Magnetic pick-up

3.1.5.4. S tipi load cell

S Tipi Load Cell, dinamometrenin torkunu ölçmek için kullanılmaktadır. Mil merkezinden 350 mm uzaklıktaki tork koluna bağlanan loadcell'e etkiyen kuvvet ölçülerek motor momenti yada dinamometrenin frenleme momenti tanımlanmakta, ölçülen değerler bilgisayara aktarılarak burada motor gücü hesaplanmaktadır (Anonim, 2016b). S tipi load cell ve load cell'e ait teknik özellikler sırasıyla Şekli 3.23. ve Çizelge 3.6.'da verilmiştir.



Şekil 3.23. S tipi load cell

Çizelge 3.6. S tipi load cell'e ait teknik özellikler (Anonim, 2016b)

Teknik özellikler	Birimi	Değeri
Malzemesi	-	Paslanmaz çelik
Ölçme aralığı	daN	0- 250
Aşırı yükleme	daN	350
Hassasiyeti	-	C3 sınıfı (1/3000)

3.1.5.5. Kütleli yakıt tüketimi ölçüm cihazı

Motor test düzeneğinin de, birim yüke göre birim zamandaki yakıt tüketimini ölçmek için yakıt deposu ve pompası arasında kütleli olarak ölçüm yapabilme özelliğine sahip yakıt tüketimi ölçüm cihazı bağlanmıştır. Ölçüm sonuçları cc/s, g/s, kg/h ve g/kWh cinsinden bilgisayar ekranında görülebilmekte ve aynı zamanda test dosyasına kayıt edilebilmektedir. Şekil 3.24.'de kütleli olarak yakıt tüketimi ölçümü yapabilen cihaz görülmektedir.



Şekil 3.24. Kütlesel yakıt tüketimi ölçüm cihazı

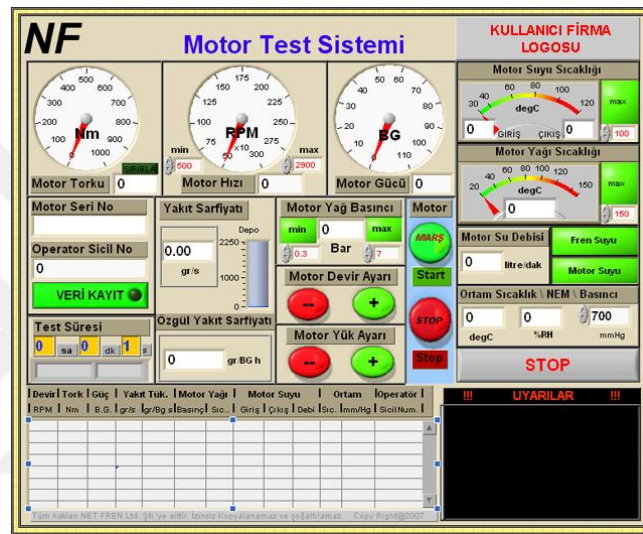
3.1.5.6. Dinamometre kontrol ünitesi

Dinamometre kontrol ünitesi motor testi esnasında ölçülmesi istenen bütün parametrelerin sensörlerden gelen sinyalleri değerlendirerek ölçmek için kullanılan ünedir. Dinamometre kontrol ünitesi aynı zamanda ölçülen değerlerin sınır şartları dışına çıkması durumunda önce ikaz vererek operatörü uyaracak özelliktedir. Bu durum önce sesli ve ışıklı ikazla başlamakta tehlikeli sınıra girmesi durumunda da otomatik stop devreye girecek şekilde sistem çalışmaktadır. Diğer yandan dinamometre kontrol ünitesi test motorunun hızını ve dinamometrenin yükünü ayarlamak gibi fonksiyonlara sahiptir (Anonim, 2016b).

Motorun çalıştırılması ve stop edilmesi doğrudan kontrol panosu üzerindeki şarteller vasıtası ile yapılmaktadır. Şekil 3.25.'de dinamometre kontrol ünitesi ve kayıt sistemi görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.25. Dinamometre kontrol ünitesi (a) ve kayıt sistemi (b)

3.1.5.7. Egzoz emisyon ölçüm cihazı

Egzoz emisyon değerlerinin belirlenmesinde “Mobydic marka” egzoz emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır. Egzoz emisyon ölçüm cihazı ve cihaza ait teknik özellikler sırasıyla Şekli 3.26.’da ve Çizelge 3.7.’de verilmiştir.



3.26. Egzoz emisyon ölçüm cihazı

Çizelge 3.7. Egzoz emisyon cihazına ait teknik özellikler

Ölçüm aralıkları	Birim	Ölçüm aralığı
CO	% Vol	0-10
CO_2	% Vol	0-20
HC	ppm Vol	0-20000
O_2	% Vol	0-21
SO_2	ppm	0-5000
NO_x	ppm	0-500

3.1.6 . ICP analiz cihazı

Motor yağlama yağındaki aşınma elementlerinin analizlerinde Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarında bulunan “Perkin Elmer Elan DRC-e marka” ICP cihazından yararlanılmıştır. ICP-MS cihazı, katı ve sıvı örneklerde çok sayıda elementin hızlı, hassas ve doğru biçimde ölçülmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede katı veya sıvı örneklerde 76 element aynı anda ve çok düşük derişimlerde (ng-pg/l) hassas ve hızlı bir şekilde analiz edilebilmektedir. ICP-MS ile tek bir örnek içindeki 35 kadar elementin analizi üç dakika kadar az bir sürede ölçülebilmektedir (Anonim, 2017a). Şekil 3.27.’de cihazın genel görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.27. ICP cihazı

3.1.7. Araştırmada kullanılan kimyasallar

3.1.7.1. Metil alkol ve katalizör

Menengiç yağından, biyodizel (menengiç metil esteri) elde etmek için uygulanan transesterifikasyon yönteminde reaksiyonun gerçekleşmesi için merk marka metil alkol (CH_3OH) ve katalizör olarak ise sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Şekil 3.28.'de araştırmada kullanılan metil alkol ve katalizör sodyum hidroksit görülmektedir.



Şekil 3.28. Sodyum hidroksit ve metil alkol

3.2. Yöntem

3.2.1. Menengiç meyvesinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi

Çalışmada, meyvenin bin dane ağırlığı, boyutlar ve şekil, geometrik ortalama çap, küresellik, projeksiyon alanı, kritik hız ve nem oranı özellikleri belirlenmiştir.

3.2.1.1. Bindane ağırlığı

Menengiç meyvesinin bin dane ağırlığının belirlenmesi için 10 adet numune kabına 100 tane meyve rastgele alınmıştır. Meyveler, her bir numune kabının darası alınarak 0.01 g hassasiyet ölçme özelliğine sahip hassas terazide tartılmıştır. Bin dane ağırlığı (m_1), gram olarak aşağıda verilen formülle hesaplanmıştır (Anonim, 2011a).

$$m_1 = \frac{m_t \times 1000}{N_d} \quad (3.1)$$

m_1 = Bin dane ağırlığı (g)

m_t = Bütün danelerin kütlesi (g)

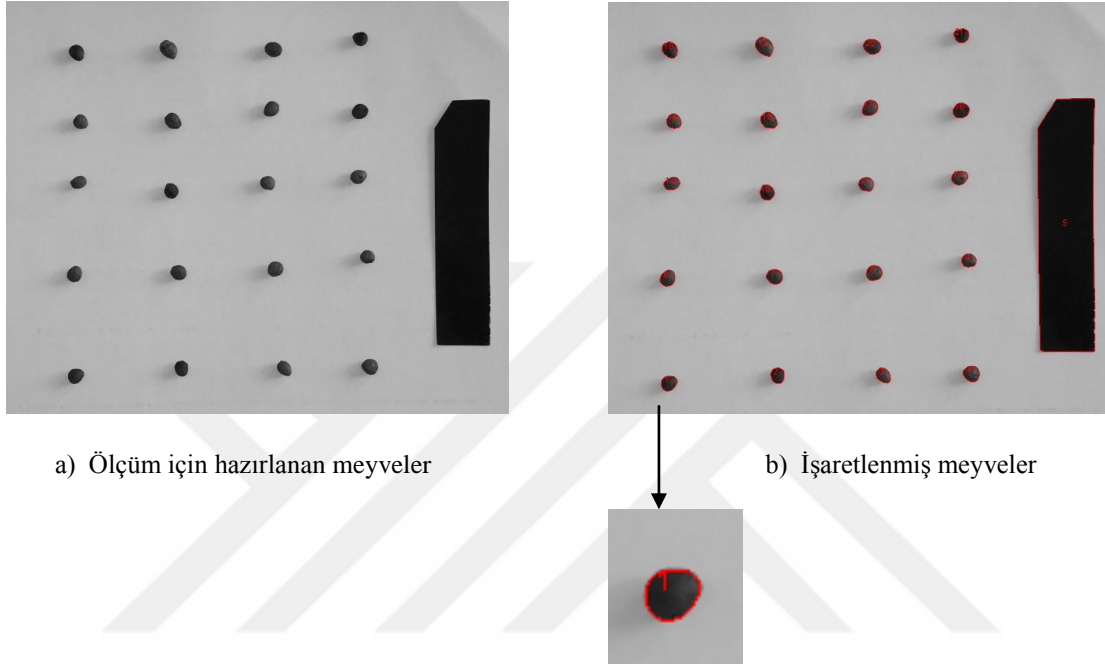
N_d = Danelerin sayısı

3.2.1.2. Boyutlar ve şekil

Menengiç meyvesinin uzunluk ve genişlik ölçülerinin belirlenmesi için görüntü işleme tekniği kullanılmıştır. Bu amaçla "Canon" marka dijital fotoğraf makinesi, 2.4 GHz işlemcili bir bilgisayar ve UTHSCSA Image Tool Version 3.0 programı kullanılmıştır. Menengiç taneleri genişlik ve uzunluk yatay ile paralel olacak şekilde beyaz bir zemin üzerine yerleştirilmiştir. Meyvelerin yanına uzunluğu bilinen bir kalibrasyon parçası konulmuş ve 50 cm yükseklikten uygun ışıkta resimleri çekilmiştir. Çekilen görüntüler programa yüklenmiş ve renkli görüntüler grayscale resme dönüştürülmüştür. Obje tespiti menüsünden tohumlar obje olarak tanımlanmıştır. Kalibrasyon parçasının uzunluğu programa tanıtılmış ve obje analiz menüsünden objeler analiz edilerek iz düşüm alanları belirlenmiştir (Kayahan ve Aydın, 2014).

Şekil 3.29.'da menengiç meyvesinin boyutlarının belirlenmesine yönelik uygulanan işlem görülmektedir.

Menengiç meyvesinin kalınlık ölçüsü ise dijital kumpas ile tespit edilmiştir. Kalınlığının belirlenmesi için 100 adet meyve kullanılmış olup ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır.



Şekil 3.29. Menengiç meyvesinin boyutlarının belirlenmesi

3.2.1.3. Geometrik ortalama çap ve küresellik

Menengiç meyvesinin geometrik ortalama çap ve küresellik değerlerinin belirlenmesinde aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır (Mohsenin, 1970; Aydın ve Özcan, 2002).

$$D_p = (L_u \times W \times T)^{1/3} \quad (3.2)$$

D_p = Geometrik ortalama çap (mm)

L_u = Uzunluk (mm)

W = Genişlik (mm)

T = Kalınlık (mm)

$$\Phi = \frac{(L_u \times W \times T)^{1/3}}{L_u \times 100} \quad (3.3)$$

Φ = Küresellik (%)

L_u = Uzunluk (mm)

W = Genişlik (mm)

T = Kalınlık (mm)

3.2.1.4. Projeksiyon alanı

Materyallerin projeksiyon (iz düşüm) alanının belirlenmesi için görüntü işleme tekniği kullanılmıştır. Bu amaçla ‘‘Canon’’ marka dijital fotoğraf makinesi, 2.4 GHz işlemcili bir bilgisayar ve UTHSCSA Image Tool Version 3.0 programı kullanılmıştır (Kayahan ve Aydın, 2014).

3.2.1.5. Nem tayini

Üründe bulunan su miktarı, ürünün yaş veya kuru ağırlığına oranlanarak ‘nem oranı’ şeklinde ifade edilmektedir. Ürünün içerdiği su ağırlığının (W_s), kuru madde ağırlığı (W_k) ile su ağırlığının toplamına (yaş ağırlık) bölümüyle ‘yaş baza göre nem oranı (N_y)’; W_s değerinin, W_k değerine bölümüyle ise ‘kuru baza göre nem oranı (N_k)’ elde edilmektedir (Yağcıoğlu, 1999).

$$N_y = \frac{W_s}{(W_s + W_k)} \times 100 \quad (3.4)$$

N_y = Yaş baza göre nem oranı (%)

W_s = Ürünün içerdiği su ağırlığı (g)

W_k = Kuru madde ağırlığı (g)

$$N_k = \frac{W_s}{W_k} \times 100 \quad (3.5)$$

N_k = Kuru baza göre nem oranı (%)

W_s = Ürünün içerdiği su ağırlığı (g)

W_k = Kuru madde ağırlığı (g)

Nem tayini için etüvde kurutma yöntemi kullanılmıştır. Etüvde nem tayini kurutma yöntemi, belli bir sıcaklıkta ürünlerdeki suyun uçurulması ve ağırlık kaybından nem miktarının belirlenmesi ilkesine dayanmaktadır. Meyvenin nem tayini 3 tekerrürlü yapılmıştır. Şekil 3.30.'da görüldüğü gibi ısıya dayanıklı kağıt üzerine 3 ayrı numune tartıldıktan sonra 72 °C de 48 saat bekletilmek üzere etüve konulmuştur. 24. Saat sonunda numuneler hızlı bir şekilde tartılarak etüve tekrar konulmuştur. 48. Saatin sonunda numuneler tekrar tartılmıştır (Anonim, 2007). Her bir numunenin yaş baza ve kuru baza göre nem oranı 3 numunenin ortalaması alınarak belirlenmiştir.

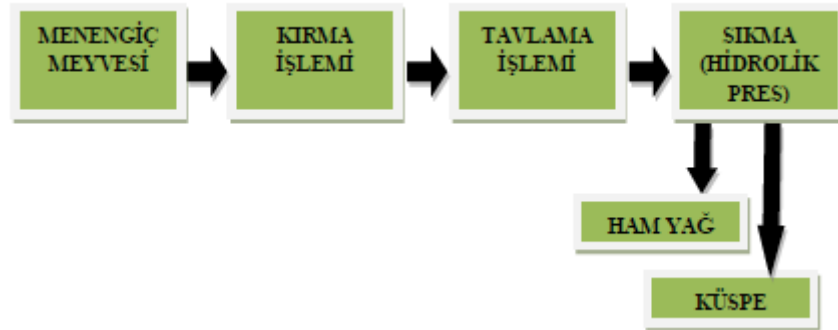


Şekil 3.30. Menengiç meyvesinin nem oranını belirlemek için etüv içerisine konulan numuneler

3.2.2. Menengiç meyvesinden yağ elde edilmesi

Araştırmada kullanılan menengiç meyvesinden yağ elde etme prosesi Konya ili Ilgın ilçesinde gerçekleştirilmiştir. Menengiç sert kabuklu bir meyve olduğu için ilk aşamada kırma makinesinde ön işleme tabi tutulmuş, daha sonra ısıtılarak tavlı hale getirilmiş ve 200 tonluk hidrolik preste sıkılarak yağı elde edilmiştir. Araştırmada kullanılmak üzere alınan 100 kg menengiç meyvesinden yaklaşık 36.4 kg (40 litre) yağ

elde edilmiştir. Şekil 3.31.'de menengiç meyvesinden yağ elde etme prosesi, her bir prosesin uygulama işlemi ise Şekil 3.32.... Şekil 3.34. arasında görülmektedir.



Şekil 3.31. Menengiç meyvesinden yağ elde etme prosesi şematik görünümü



b) Kabuk kırma makinesi



a) Makine içerisine konulan ürün



c) Kırma işleminden sonra elde edilen ürün

Şekil 3.32. Menengiç meyvesine kırma işleminin uygulanması



a) Tavlama işlemi ve tavllanmış ürün alımı



b) Tavlama işleminde ürün

Şekil 3.33. Tavlama işleminin yapılması



a) Hidrolik presten yağ elde edilmesi



b) Köspe



c) Menengiç yağı

Şekil 3.34. Hidrolik presten yağ elde edilmesi, menengiç yağı ve köspeşi

Biyodizelin üretildiği hammaddenin yağ asit bileşimi, bu bileşimden etkilenen yakıt özellikleri motorun püskürtme, yanma ve emisyon karakteristiklerinde farklılıklara sebep olmaktadır (Özsezen ve ark., 2008). Doymamış yağ asidi içeren hammaddeler daha doymuş hammaddelere göre önemli miktarda daha yüksek NOx emisyonu üretmektedirler (Graboski ve ark., 2003; Altun, 2010).

Biyodizel üretimi için istenen yağ çoğunlukla monodoymamış, polidoymamış zincirler ve minimum doymuş zincirlerin karışımına sahip olmalıdır (Oğuz ve Öğüt, 2001). Bitkisel yağlarda bulunan en yaygın doymuş yağ asitleri palmitik asit, stearik asit olup doymamış yağ asitleri ise palmitoleik asit, oleik asit, linoleik asit, araşhidonik asit, eikosapentaenoik asit ve dokosaheksaenoik asit şeklindedir (Nas ve ark., 1998; Karaca ve Aytaç, 2007). Çizelge 3.8.'de ise menengiç yağının yağ asidi kompozisyonu bileşimi verilmiştir. Çizelge'de görüldüğü gibi menengiç yağı % 17.56 doymuş yağ asiti, % 41.55 tekli doymamış yağ asiti ve % 32.97 çoklu doymamış yağ asidi içermekte olup biyodizel üretimi için istenen yağ özelliklerini taşımaktadır.

Çizelge 3.8. Menengiç yağı yağ asidi kompozisyonu bileşimi (Balci ve Mengeş, 2010)

Yağ Asitleri		Menengiç Yağı Konsantrasyonu
Laurik asit	(C12:0)	-
Miristik asit	(C14:0)	-
Palmitik asit	(C16:0)	15.58
Stearik asit	(C18:0)	1.98
Oleik asit	(C18:1)	41.55
Linoleik asit	(C18:2)	18.40
Linolenik asit	(C18:3)	14.57
Araşidik asit	(C20:0)	-
Behenik asit	(C22:0)	-
Erusik asit	(C22:1)	-
Lignoserik asit	(C24:0)	-
Diğer		7.89

3.2.3. Menengiç yağının kimyasal özelliklerinin belirlenmesi

3.2.3.1. Nispi yoğunluk

Menengiç yağının nispi yoğunluk analizi Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölüm yemeklik ve uçucu yağ laboratuvarında gerçekleştirilmiş olup, analizin yapılmasında piknometrik yöntem kullanılmıştır. Yöntem aşağıda açıklanmıştır;

Piknometreler önce yıkama çözeltisiyle sonra çeşme suyu ile yıkama işleminin ardından saf sudan geçirilir. Alkolle çalkalanır ve kurutma dolabına konmadan önce iyice kurutulur ve ayrı ayrı daraları alınır. Piknometrelere, 15-18 °C’de içinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde saf su doldurulur. Piknometreler boğazlarına kadar su banyosuna daldırılıp, 30 dakika süre ile sıcaklığın 20 °C’ ye gelmesi beklenir. Sürenin tamamlanmasının ardından piknometreler su banyosundan çıkarılır ve silinir. Tamamen kurularak 0,0001 g duyarlılıkla tartılır. Piknometreler içindeki su boşaltılarak iyice kurutulur. 15-18 °C’ deki bitkisel yağ hava kabarcığı oluşmayacak şekilde doldurulup kapakları kapatılır. 20 °C’ lik su banyosuna daldırılıp 30 dakika bekletilir. Sürenin tamamlanmasının ardından piknometreler su banyosundan alınarak iyice silinir, kurularak ve hassas bir şekilde tartılır.

Tüm bu işlemlerin ardından aşağıdaki eşitlik kullanılarak nispi yoğunluk (özellik ağırlık) belirlenmiştir (Nas ve ark., 1998).

$$\text{Özellik ağırlık} = \frac{m - a}{m_{1p} - a} \quad (3.6)$$

a = 20 °C de piknometrenin darası (g)

m = 20 °C de yağ dolu piknometrenin ağırlığı (g)

m_{1p} = 20 °C de su dolu piknometrenin ağırlığı (g)

3.2.3.2. Sabunlaşma sayısı

Yağların sabunlaşma sayısı, 1 g yağ örneğinin tamamen hidroliz olması sonucunda meydana gelen yağ asitlerinin nötralizasyonu için gerekli olan KOH’in mg olarak miktarı şeklinde tanımlanmaktadır (Kaya, 2012). Sabunlaşma sayısı, yağların ve yağ asitlerinin saflığının belirlenmesinde ve bunun dışında yağ işleme teknolojisinde serbest asitliğin giderilmesi için kullanılmaktadır (Anonim, 2012a).

Menengiç yağının sabunlaşma sayısı analizi, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü yemeklik ve uçucu yağ laboratuvarında yapılmıştır. Analiz yöntemi; 1 g yağın sabunlaşması için gerekli olan potasyum hidroksitinin mg olarak ağırlığının bulunması ilkesine dayanmakta olup, aşağıda açıklanmıştır;

Cam balon içerisine 2 g örnek konarak 0.001 duyarlılıkla tartılır. Üzerine 25 ml 0.5 N KOH eklenir. Balon geri soğutucuya bağlanır ve zaman zaman karıştırılarak yavaş bir şekilde 60 dakika süreyle kaynatılır. Bu süre sonunda, geri soğutucunun üstünden bir pipet yardımıyla geri soğutucunun içi balona doğru yıkanır. 4-5 damla fenol fitalein ilave edip 0.5 N HCl ile renksiz nokta yakalanıncaya kadar titre edilir. Aynı işlemler bir de şahit deney için yapılır. Hesaplama sonucunda belirlenen sabunlaşma sayısı tam sayı olarak ifade edilir.

Tüm bu işlemlerin ardından aşağıda verilen formüle göre sabunlaşma sayısı hesaplanmıştır (Anonim, 2012a).

$$SS = \frac{V_2 - V_1}{m_o} \times 28.05 \quad (3.7)$$

SS = Sabunlaşma sayısı (mg KOH / g yağ)

V_2 = Şahit deney için hazırlanan HCl miktarı (g)

V_1 = Yağ örneği için harcanan HCl miktarı (g)

m_o = Kullanılan örnek miktarı (g)

3.2.3.3. Peroksit sayısı

Peroksit sayısı, yağlarda bulunan aktif oksijen miktarının ölçüsü olup, 1 kg yağda bulunan peroksit oksijeninin miliekivalent gam olarak miktarıdır. Yağdaki peroksit miktarının belirlenmesi yağın bozulma derecesi ve daha ne kadar saklanabileceği hakkında bir fikir vermektedir (Anonim, 2012a).

Menengiç yağının peroksit sayısı analizi, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü yemeklik ve uçucu yağ laboratuvarında yapılmıştır. Analiz yöntemi işlem basamakları aşağıda açıklanmıştır;

Erlenmayer içerisine 2 g numune konularak 0,001 g duyarlılıkta tartılır. Üzerine 10 ml kloroform ilave edildikten sonra erlenmayer hızla çalkalanarak yağ çözülür. Sıra ile 15 ml asetik asit ve 1 ml potasyum iyodür ilave edilerek, erlenmayerin ağzı kapatılır ve 1 dakika süre ile çalkalanır. 5-10 dakika karanlık bir yerde bekletilir. Bu süre sonunda 75 ml saf su, 1 ml'de nişasta çözeltisi ilave edilir. 0,0002 N sodyum tiosülfat çözeltisi ile titre edilir. Örnek konmaksızın yapılan şahit deney sonucunda serbest iyot eseri bulunmamalıdır.

Tüm bu işlemlerin ardından aşağıdaki eşitlik yardımı ile peroksit sayısı belirlenmiştir (Nas ve ark., 1998).

$$\text{Peroksit sayısı} = \frac{V_t}{m_o} * 2meqqO_2 / kg \quad (3.8)$$

V_t = Deney için hazırlanan tiosülfat miktarı (g)

m_o = Kullanılan örnek miktarı (g)

3.2.3.4. Sabunlaşmayan madde sayısı

Sabunlaşmayan madde sayısı, ham yağın kostik ile sabunlaştırılması sırasında sabunlaşmadan kalan madde sayısı olarak tanımlanmaktadır (Kaya, 2012). Menengiç yağının sabunlaşmayan madde sayısı analizi, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü yemeklik ve uçucu yağ laboratuvarında yapılmıştır.

Kullanılan yöntemin ilkesi; yağın alkolde hazırlanmış baz çözeltisi ile sabunlaştırılması, sabunun çözücü ile birkaç kez ekstraksiyonu ve yıkanan ekstraktın kuruyuncaya kadar buharlaştırılmasıdır (Anonim, 2012a).

İşlem basamakları aşağıda açıklanmıştır;

2.5 g örnek 0,001 g duyarlılıkta 250 ml'lik erlene tartılır. Üzerine 25 ml etanol ve 1.5 ml derişik KOH çözeltisi ilave edilir. Erlen geri soğutucu düzeneğine takılarak 1 saat süre ile yavaşça kaynatılarak sabunlaştırılır. Süre sonunda erlen muhteviyatı soğumadan 500 ml'lik bir ayırma hunisine aktarılır. Erlen birkaç defa 50 ml su ile yıkanır. Yıkama sularına da ayırma hunisi eklenir. Erlen birkaç defa da toplam 50 ml eterle yıkanarak, eter de ayırma hunisine eklenir. Ayırma hunisinin kapağı kapatılarak kuvvetle çalkalanır ve fazların ayrılması için beklenir.

Sulu ve biyoetanollü faz sabunlaşma da kullanılan erlene, eterli faz ise içinde 20 ml su bulunan ikinci bir ayırma hunisine alınır. Birinci ayırma hunisinin ucu eterle yıkanarak eter ikinci ayırma hunisine eklenir. Sulu ve biyoetanollü sabun çözeltisi her defasında 50 ml eter ile iki kez daha aynı şekilde ekstrakte edilir ve eter ekstraktları ikinci ayırma hunisinde toplanır. İçinde 20 ml su ve eter ekstraktları bulunan ayırma hunisi, fazla çalkalanmadan döndürülür. Fazın ayrılması için bekletilir. Su fazı akıtılarak atılır. Eter fazı kuvvetle çalkalamak sureti ile iki defa 20'şer ml su ile yıkanır. Eter fazı daha sonra 20 ml 0.5 N KOH çözeltisi ile ve arkasından 20 ml su ile kuvvetlice

çalkalanır. Bu işlem 3 kez tekrar edilir. KOH çözeltisi ile çalkalama ve yıkama sırasında emülsiyon meydana gelmesi durumunda, su fazı mümkün olduğunca akıtılır. Emülsiyon bölgenin hunide kalmasına dikkat edilir. Üçüncü KOH uygulamasından sonra su ile yıkama işlemine, yıkama suyuna birkaç damla fenol ftalein katılır ve alkalilik kayboluncaya kadar (fenol ftaleinin rengi kayboluncaya kadar) yıkama işlemine devam edilir. Ayırma hunisindeki eterli çözelti bir daha önceden darası alınmış bir erlene aktarılır. Ayırma hunisi eterle yıkanır ve eter erlene aktarılır. Erlen içindeki eter 5 ml kalıncaya kadar buharlaştırılır. Eterin büyük kısmı buharlaştırıldıktan sonra 2-3 ml aseton eklenir ve buharlaştırmaya devam edilir. 100 °C deki etüvde sabit tartıma gelinceye kadar kurutulur ve desikatörde soğutularak tartılır. Erlen içeriği 2 ml eter ilavesi ile çözülür ve fenol ftaleine karşı nötralleştirilmiş etanolden 10 ml ilave edilir. 0.1 N alkollü KOH ile pembe renk oluşana kadar titre edilir. Bir de yağ kullanmadan sadece reaktifler kullanılarak tanık deney yapılır ve kalıntı miktarı tespit edilir. Tüm bu işlemlerin ardından aşağıda verilen formül ile sabunlaşmayan madde sayısı belirlenmektedir (Anonim, 1986).

$$\text{Sabunlaşmayan madde} = \frac{(m_2 - m_1 - (0,00282 \times V) - m_3)}{m_0} \times 100 \quad (3.9)$$

m_0 = Deney numunesinin kütlesi (g)

m_1 = Buharlaştırma kabının (erlenin) darası (g)

m_2 = Buharlaştırma kabı (erlen) ve kalıntının kütlesi (g)

V = Titrasyonda harcanan 0.1 N biyoetanollü KOH çözeltisinin hacmi (ml)

m_3 = Tanık deneyde bulunan kalıntının kütlesi (g)

0,00282 = 1 ml 0.1 N KOH e eşdeğer oleik asit (g)

3.2.3.5. Serbest yağ asitleri

Serbest yağ asitliği, yağlarda bağlı olmayan toplam yağ asitlerinin yüzde miktarının ifadesidir. Yağlarda bağlı olmayan yağ asitleri toplamı, oleik asit yüzdesi olarak belirtilmektedir. Serbest yağ asitleri yağda oluşan bozulma (acılaşma) açısından önemlidir (Anonim, 2010).

Menengiç yağının Serbest yağ asitleri analizi Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü yemeklik ve uçucu yağ laboratuvarında yapılmış

olup analiz yöntemi, alkol – eter karışımında çözündürülen yağdaki serbest yağ asitlerinin ayarlı bir alkali çözeltisi ile fenolftalein eşliğinde titrasyonu ve harcanan alkali miktarından yararlanarak formül yoluyla hesaplanması ilkesine dayanmaktadır (Anonim, 2010). Uygulanan yöntemin işlem basamakları aşağıdaki gibidir;

- 10 g örnek 0.01 g duyarlılıkla erlenmayer içine tartılır.
- Örnek 150 ml etil alkol-dietil eter karışımında çözülür.
- Çalkalanarak 3 – 4 damla fenolftalein damlatılır.
- Bürete konan 0,1 N etanollü KOH ile renk pembe oluncaya kadar titre edilir (15 saniye bu renk kalmalıdır)
- Harcanan 0.1 N etil alkollü potasyum hidroksit kaydedilerek hesaplama yapılır.

Tüm bu işlemlerin ardından aşağıdaki formüle göre serbest yağ asiti belirlenmiştir (Nas ve ark., 1998).

$$\text{Serbest yağ asitleri} = \frac{V}{m_n} \times 2.8 (\% \text{ oleik asit olarak}) \quad (3.10)$$

$$V = \text{Harcanan 0.1 N biyoetanollü KOH çözeltisi (ml)}$$

$$m_n = \text{Numunenin ağırlığı (g)}$$

3.2.4. Menengiç metil esterinin (menengiç biyodizeli) elde edilmesi

Menengiç yağından biyodizel üretmek için, Selçuk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi bünyesinde, DPT 2007/ 4 nolu proje desteğiyle kurulan PLC Destekli Pilot Üretim Tesis'inden yararlanılmıştır. Üretim için 'hayvansal ve bitkisel yağlardan, alkol ve katalizör eşliğinde ester ve gliserol eldesi' olarak tanımlanan transesterifikasyon yöntemi kullanılmıştır. Menengiç metil esterinin (menengiç biyodizeli) elde edilme aşamaları aşağıda verilmiştir;

- ❖ Pilot üretim tesisinde yağ tankına 35 litre menengiç yağı konulmuştur. Menengiç yağı reaktör tankına pompalanmıştır. Reaktör de yağ, ester veriminin en iyi olduğu reaksiyon sıcaklığı olan 55 °C'ye kadar ısıtılmıştır (Erol ve ark., 2006 ; Dizge ve ark., 2007; Eryılmaz, 2009). Yağ, reaktör tankında bulunan karıştırıcı (devir sayısı PLC sisteminden 80 1/min'e ayarlanmıştır) sayesinde sürekli olarak karıştırılarak sıcaklığın tank içerisinde homojen bir şekilde yayılım göstermesi sağlanmaya çalışılmıştır. Ayrıca

termostat kontrolü ile reaksiyon sıcaklığının, reaksiyon boyunca sabit tutulması sağlanmaktadır.

- ❖ Üretimde, alkol ve katalizör olarak sırasıyla 7 litre metanol (Üretim için, menengiç yağının hacimsel olarak % 20'sine karşılık gelen miktar) ve 122.50 gram NaOH (3.5 g/litre oranına karşılık gelen miktar) kullanılmıştır.
- ❖ 7 litre metanol ile 122.50 gram NaOH (alkol ve katalizör) metoksit tankında çözülerek, reaksiyonun gerçekleştirileceği reaktör içerisindeki yağa aktarılmıştır. Alkol kaybının önlenmesi için reaktör tamamen atmosfere kapalıdır.
- ❖ Reaktörde, yağ ve metoksit 90 dakika boyunca 55 °C'de sıcaklıkta karıştırılmıştır. 90 dakikalık reaksiyon süresinin tamamlanmasının ardından karıştırıcı ve ısıtıcı durdurulmuştur. Reaksiyon sonunda ortaya çıkan iki ana üründen (biyodizel ve gliserol) gliserolün çökmesi için 60 dakika beklenmiştir. Yaklaşık olarak 3.5 litre civarında gliserol alınmıştır. Şekil 3.35.'de ham biyodizel ve gliserolün ayrışması görülmektedir.



Şekil 3.35. Ham biyodizel ve gliserol

- ❖ Reaktör içerisindeki ham biyodizel, dinlendirme / yıkama tankına iletilmiştir. Dinlendirme / yıkama tankında biyodizelin soğuması beklenmiştir.
- ❖ Reaktör içerisindeki biyodizel mistleme (nemlendirme) yöntemi ile yıkamaya tabi tutulmuştur. Yıkama işlemi, biyodizel içerisinde kalan yağ asitleri, reaksiyona girmeyen alkol, katalizör madde ve ayrıştırma esnasında bünyede

kalma ihtimali olan gliserolün uzaklaştırılması için yapılmaktadır. Yıkama esnasında biyodizel ve yıkamada kullanılacak saf suyun sıcaklığı 23 °C'dir.

7 litre saf su kullanılarak yıkama işlemi gerçekleştirilmiştir. Uygulanan işlemin ardından yıkama suyunun dibe çökmesi için 12 saat beklenmiş ve bu süre sonunda dibe çöken su, atık su tankına iletilmiştir.

- ❖ Dinlendirme / yıkama tankının ısıtıcısı tank içerisinde bulunan biyodizelin bünyesinde su kalma ihtimaline karşın 100 °C'ye kadar ısıtılmıştır. İşlemin uygulanması sırasında oluşan su buharı dinlendirme / yıkama tankına bağlı olan vakum pompası vasıtasıyla dışarı tahliye edilmiştir. 100 °C'de 2 saat boyunca biyodizele kurutma işlemi uygulanmıştır. Böylece menengiç yağından menengiç metil esteri üretimi gerçekleşmiştir (Eryılmaz, 2009).

Şekil 3.36.'da transesterifikasyon yöntemi sonucunda elde edilen menengiç metil esteri (menengiç biyodizeli) görülmektedir.



Şekil 3.36. Menengiç biyodizeli

3.2.5. Menengiç metil esteri (menengiç biyodizeli), biyoetanol ve motorin karışımlarının hazırlanması

Karışım yakıtları hacimsel olarak belli oranlarda hazırlanmış ve motorine önce menengiç metil esteri, daha sonra biyoetanol ilave edilmiştir. Çizelge 3.9.'da karışım oranlarının % olarak miktarları ve Şekil 3.37.'de hazırlanan karışım yakıtları görülmektedir.

Çizelge 3.9. Karışım adı ve karışım oranları

Karışımın adı	Biyometanol (%)	Menengiç Metil Esteri (%)	Motorin (%)
M100	-	-	100
E-B1-M1	2,5	2,5	95
E-B2-M2	2,5	5	92,5
E-B3-M3	2,5	7,5	90



Şekil 3.37. Hazırlanan karışım yakıtlar

3.2.6. Yakıt ve karışımlarının yakıt özelliklerinin belirlenmesi

Araştırma kapsamında, yakıt ve karışımlarının yakıt özelliklerinin belirlenmesi için yapılan analizler Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyodizel Laboratuvarında yapılmış olup, setan sayısı analizi Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Otomotiv Bölümü Mühendisliği Yakıt Analizi Laboratuvarında yaptırılmıştır. Menengiç yağı ve menengiç biyodizelinin asit sayısı, iyot sayısı ve kül muhtevası analizleri ise Konya Gıda Kontrol laboratuvarında yaptırılmıştır. Analiz sonuçları menengiç biyodizeli için TS EN 14214, karışım yakıtları ise TS 3082 EN 590 standartlarına göre karşılaştırılmıştır.

3.2.6.1. Yoğunluk

Yoğunluğu ölçülecek yakıtla cihazın (15 °C sıcaklıkta, g/cm³ biriminde değerler vermektedir) içerisi temizlenmiş ve daha sonra yoğunluk ölçümleri yapılmıştır.

3.2.6.2. Kinematik viskozite

Cihaz ile ölçüme başlamadan önce, cihaz ölçüm yapılacak olan 40 °C sıcaklığa ayarlanmış ve sıcaklığın yükselmesi beklenilmiştir. Cihazın içerisinde daldırılmış durumda olan cam ölçüm tüpü, viskozitesi ölçümü yapılacak olan numune ile temizlendikten sonra tüpün içerisine numune konulmuştur. Cam ölçüm tüpü içerisindeki numunenin sıcaklığının, ölçüm sıcaklığına (40 °C) gelmesi için 15 dakika beklenilmiştir. Cam ölçüm tüpü, ters akış özelliğine göre çalışmakta olup üzerinde hacimsel kısmı geniş bir balon bulunmaktadır. Puar yardımıyla balon doldurulup ters akışa bırakılmış ve numunenin iki ölçüm çizgi arasındaki akma süresi bir kronometre ile ölçüldükten sonra cam ölçüm tüpünün belli sıcaklıklara ait katsayıları (örneğin 40 °C de saniye x 0,3541) ile çarpılıp viskoziteleri belirlenmiştir.

3.2.6.3. Parlama noktası

Deney kabının içerisi, önceki çalışmalardan kalan atıklar biyoetanol ile temizlenmiştir. Parlama noktası belirlenecek numune, 120 ml'lik deney kabının 75 ml'sinde bulunan ölçü çizgisine kadar doldurulmuştur. Deney kabı, cihaz içerisine yerleştirildikten sonra üzerinde karıştırıcı ve alev bulunan kapak ile kapatılmıştır. Cihazın mikseri ve ısıtıcısı çalıştırılarak yakıtın karıştırılması ve ısıtılması sağlanmıştır. Cihaz üzerinde bulunan deney alevi yakılarak numunenin tahmini parlama noktası sıcaklığına yakın derecelerde deney numunesine uygulanmış ve parlamanın oluşup oluşmadığı gözlenmiştir.

3.2.6.4. Su içeriği

Analizi yapılacak numunelerin su içeriklerinin belirlenmesinde Karl Fischer titrasyon yöntemi kullanılmıştır. Temiz bir şırınga ile homojen haldeki yakıtlardan 3-5 ml kadar yakıt numunesi şırıngaya alınmış ve bu numune şırınga ile birlikte tartılmak suretiyle ağırlığı not edilmiştir (ilk ağırlık). Cihazda (Karl Fischer titratör) numuneyi 'GİR' ifadesi görüldüğünde numune cihazın titrasyon kabına enjekte edilmiştir. Boş şırınga tekrar terazide tartılarak ağırlığı not edilmiştir (ikinci ağırlık). Cihazda birinci ağırlığı 'GİR' ifadesi çıktığında not edilen ilk ağırlık, sonra ikinci ağırlığı 'GİR'

ifadesinde ise ikinci ağırlık girilmiştir. Sonuçta yakıttaki su miktarı ppm (mg/kg) olarak ekrandan okunmuştur.

3.2.6.5. Kalori değeri

Kalorimetre cihazındaki numune kabına (kroze), oda sıcaklığında 0.1 gram numune konarak içerisine yakma ipi daldırılmıştır. Kroze, bomba içerisine konulduktan sonra ağız sıkı bir şekilde kapatılmıştır. Bomba içerisine 28 bar (max. 30 bar) oksijen basılmış ve kalorimetre cihazı içerisine yerleştirilmiştir. Kalorimetre cihazına yaklaşık 2 litre ve sıcaklığı 22 ± 3 °C olan çeşme suyu doldurulmuş ve cihazın kapağı kapatılmıştır. Cihaz ekranında, 'Prepare (F₂)' tuşuna basılarak numune miktarı (0.1 g) ekrana girilmiş ve 'Ok' tuşuna basıldıktan yaklaşık 8 dakika sonra ekranda kalori değeri 'cal/g' birimi olarak okunmuştur. Bu değer daha sonra 'Mj/kg' birimi cinsinden ifade edilmiştir.

3.2.6.6. Bakır şerit korozyon testi

Bakır şerit korozyon test cihazında, banyo sıcaklığı 50 °C'ye getirilmiş ve sıcaklığın banyonun her yerinde homojen olması için mikser çalıştırılmıştır. Yağ, yakıt ve karışımlarının korozif etkilerinin belirlenmesinde kullanılan bakır şeritler (75 x 12.5 x 2.5 mm ölçüsünde, düzgün yüzeyli ve % 99.9 saflıkta) kül bırakmayan süzgeç kağıdı ile tutularak, dairesel hareketlerle 65 µm incelikte silisyum-karbür zımpara kağıdı ile yüzeyleri parlatılmıştır. Anma boyutları 25 x 150 mm olan cam deney tüpleri içerisine 30 ml'lik yakıtlar konulduktan sonra tüplerin ağızı mantar tıparlarla sıkıca kapatılarak test cihazı banyosuna konmuştur. 3 saat süreyle 50 °C'deki banyoda tutulan deney numunelerinin içlerindeki bakır şeritler pens yardımıyla çıkarıldıktan ve süzgeç kağıdı ile silmeden kurulandıktan sonra referans korozyon şeritleri ile karşılaştırılarak renk değişikliği ve korozyon belirtileri bakımından muayene edilmişlerdir. Karşılaştırma esnasında hem referans hem de deney bakır korozyon şeritleri ışığın, bakır çubuk korozyonu test cihazında yaklaşık 45° açıyla yansımaları sağlayacak şekilde tutulmuştur. Çizelge 3.10.'da TS 2741 EN ISO 2160 referans korozyon şeritlerinin derecelendirilmesi verilmiştir.

Çizelge 3.10. TS 2741 EN ISO 2160 Referans Korozyon Şeritlerinin Derecelendirilmesi

Derece	Adı	Tarif ¹⁾
Yeni parlatılmış şerit	-	- ²⁾
1	Hafif renk değişimi	a. Açık turuncu, yeni parlatılmış şerit ile hemen hemen aynı renk b. Koyu turuncu
2	Orta renk değişimi	a. Bordo b. Eflatun c. Eflatun mavisi ve/veya bordo üzerinde yer alan gümüş renginden oluşan karışık renk d. Gümüş rengi e. Pirinç veya altın rengi
3	Koyu renk değişimi	a. Pirinç rengi üzerine morumsu kırmızı kaplama b. Kırmızı ve yeşil görünümlü, içinde gri olmayan karışık renk (tavus)
4	Korozyon	a. Şeffaf siyah, koyu gri veya hafifçe tavus yeşili ihtiva eden kahverengi renk b. Grafit rengi veya parlak olmayan siyah c. Parlak veya kehribar siyahı

¹⁾Referans korozyon şeritleri, burada verilen tariflere uygun şeritlerden meydana gelmelidir.

²⁾Yeni parlatılmış şerit, referans korozyon şeritleri arasına sadece deneyden önce, deney şeridinin uygun olarak parlatılıp parlatılmadığının kontrolü için dahil edilmiştir. Bu şerit renginin, korozyon yapmayan bir numune ile deneye tabi tutulsa dahi aynen elde edilebilmesi mümkün değildir.

3.2.6.7. Soğuk filtre tıkanma noktası

Soğuk filtre tıkanma noktası ölçüm cihazı deney tüpünün içerisine 45 ml yakıt numunesi konarak cihaz içerisine yerleştirilmiştir. 20 ml'lik yakıt numunesinin 60 saniyelik sürede filtreden güvenle geçebildiği sıcaklık değeri soğuk filtre tıkanma noktası olarak ekrandan okunmuş ve kaydedilmiştir.

3.2.6.8. Bulutlanma ve akma noktaları

Bulutlanma ve akma noktasının belirlenmesi için bulutlanma ve akma noktası tayin cihazında, deney tüpünün (Ø 32 x 115 mm) ölçü çizgisine kadar 45 ml yakıt numunesi konmuş ve deney tüpü cihaz içerisine yerleştirilmiştir. Deney numunesi belirli bir hızda soğutulurken 3 °C aralıklarla sürekli takip edilmiştir. Deney tüpünün dibinde gözlenen bir sisin (wax kristallerinden oluşan bulutun) oluşturduğu sıcaklık değeri, numunenin bulutlanma noktası olarak belirlenmiştir.

Bulutlanma noktasının belirlendiği sıcaklık değerinden sonra soğutmaya devam edilmiş ve yakıt numunesi her 3 °C'lik soğumada dikkatli bir şekilde takibe alınmıştır. Yakıt örneğinde akıcılığının gözlemlenemediği anda test durdurulmuş ve akıcılığın

gözlemlenmediği sıcaklığa 3 °C eklenmek suretiyle test tekrarlanmıştır. Akıcılığın elde edildiği andaki en düşük sıcaklık ise akma noktası değeri olarak belirlenmiştir.

3.2.6.9. Setan sayısı

Setan sayısı ölçüm cihazı kızılötesi spektrometresi (NIR) prensibine göre çalışmaktadır. Bu yöntem yardımıyla setan sayısı ölçümü çok hızlı ve ucuz yapılmaktadır. Ölçüm TS 10317 EN ISO 5165 deney metoduna göre yapılmıştır.

3.2.6.10. Kül muhtevası

Kül tayini analiz yöntemi TS ISO 6884 standartın da belirtilen deney metoduna göre yapılmıştır.

3.2.6.11. Asit sayısı

Asit sayısı analizi TS EN ISO 660 standartın da belirtilen deney metoduna göre yapılmıştır.

3.2.6.12. İyot sayısı

İyot sayısı analizi TS EN ISO 3961 standartın da belirtilen deney metoduna göre yapılmıştır.

3.2.7. Motor deney ve test düzeneğinin hazırlanması

Motor test düzeneği, motor katalog değerleri referans alınarak yağ ve su kaçağı kontrolü, yağ seviyesi kontrolü, yakıt pompası kontrolü, enjektör ayarı ve kontrolü, yağ filtresi kontrolü, kayış gerginlik kontrolü ve marş motoru kontrolü yapılmak suretiyle motor denemelerine hazır hale getirilmiştir (Aydın, 2014).

3.2.8. Motor denemelerinde motor yağlama yağından numune alınması

M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının her biri 100 saat kısmı yük altında çalıştırılmış olup her 20 saatte her bir yakıtın yağlama yağından numune (toplam 20 adet numune) alınmıştır.

3.2.9. Motor performansı ve egzoz emisyon değerlerinin belirlenmesi

M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının performans deneyleri TS 1231 standardına göre yapılmış olup deneyler sonucu elde edilen verilere göre hesaplamalar yapılmıştır.

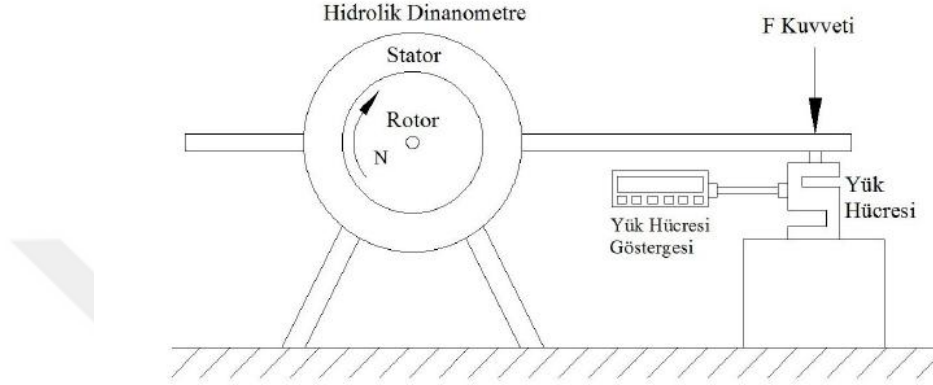
Performans deneylerinden önce deneme motorunun kendi yakıt deposuna bağlı olan hortumları kütleli yakıt ölçüm cihazına bağlanmıştır. Performans deneyleri sırasında elde edilen veriler motor çalışma sıcaklığı 85-90 °C'ye ulaştıktan sonra kayıt edilmiş olup motor sıcaklığı deneme süresince bu aralıkta tutulmuştur. Her bir deney 5 defa tekrarlanmış ve aritmetik ortalamaları değerlendirmeye alınmıştır.

Motor performans deneyleri sonucunda elde edilen veriler ışığında motor dönme momenti, efektif motor gücü ile özgül yakıt tüketimi değerleri aşağıda belirtilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Emisyon testlerinde ise yakıt ve karışımlarına ait karbonmonoksit (CO), karbondioksit (CO_2), hidrokarbon (HC), oksijen (O_2), kükürtdioksit (SO_2) ve azotoksit (NO_x) değerlerinin ölçümü yapılmıştır.

3.2.9.1. Motor momenti

Döndürme momenti bir motorun iş yapabilme yeteneğinin göstergesi olup mekanik, hidrolik ve elektromanyetik dinamometreler yardımı ile ölçülebilmektedir (Özsezen, 2007). Bu çalışmada, motora ait dönme momenti değerleri hidrolik dinamometre vasıtasıyla belirlenmiştir. Motorun dinamometre ile bağlantısı, motor çıkış mili ile hidrolik dinamometrenin rotor flanşı arasına kardan mili ile monte edilmesiyle sağlanmıştır. Şekil 3.38.'de motor test düzeneğinde döndürme momenti ölçümünün şematik görünümü verilmiştir.

Motorun verdiği döndürme momenti (M_d) önce rotora tesir etmekte, daha sonra rotor ile stator arasındaki bulunan sıvı aracılığıyla stator dönmeye çalışmaktadır. Stator üzerinde bulunan kol, yük hücreğine baskı yaparak bir devirde 2π yolu boyunca kuvvet uygulamaktadır. Bu kuvvetin oluşturduğu moment, motorun döndürme momenti olarak ifade edilmektedir (Reşitoğlu, 2010; Aydın, 2014).



Şekil 3.38. Motor test düzeneğinde döndürme momenti ölçümünün şematik görünümü (Özçelik, 2011)

Döndürme momenti (M_d) aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$M_d = F \times L \quad (3.11)$$

M_d = Motor döndürme momenti (Nm)

F = Hidrolik güç freninin moment kolu üzerinden teraziye uyguladığı kuvvet (N)

L = Hidrolik frenin moment kolu uzunluğu (m)

3.2.9.2. Efektif motor gücü

Efektif motor gücü, motorun güç çıkış noktasından (volandan) alınan güçtür. Efektif motor gücü aşağıda verilen eşitlikle hesaplanmıştır (Saraç, 1992).

$$N_e = \frac{M_d \times n}{9550} \quad (3.12)$$

N_e = Efektif motor gücü (kW)

M_d = Dönme momenti (Nm)

n = Motor devir sayısı (min^{-1})

3.2.9.3. Özgül yakıt tüketimi

Özgül yakıt tüketimi, birim motor gücü için harcanılan yakıt miktarı olarak ifade edilmektedir. Özgül yakıt tüketimi değerlerinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik kullanılmıştır (Saral, 1992).

$$b_e = \frac{B_s \times 1000}{N_e} \quad (3.13)$$

b_e = Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

B_s = Saatlik yakıt tüketimi (kg/h)

N_e = Efektif motor gücü (kW)

3.2.10. Motor yağlama yağında aşınma elementi analizi

M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarından motor denemeleri sırasında alınan 20 adet yağ numunesi (her bir yakıt için, 20 saat ara ile 100 saatlik çalışma sonunda 5 adet toplamda 20 adet yağ numunesi alınmıştır) ile kontrol amaçlı kullanılmamış motor yağında Fe, Cu, Al, Pb, Cr elementlerinin analizleri S.Ü. İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarında yaptırılmıştır. Her bir yağ numunesinin element analizlerinde ICP (Inductively Coupled Plasma) cihazı kullanılmıştır.

Analiz yöntemindeki işlem basamakları;

- Numuneler homojen hale getirilmiş ve 0.5 – 1 g arasında mikrodalga tüplerine aktarılmıştır.
- Üzerine 10 ml nitrikasit eklenmiştir.
- 1600 watt, % 100 güç ve 200 °C' de 40 dk çözme işlemi uygulanmış olup daha sonra son hacimleri 50 ml'e tamamlanmıştır.

- Numunelerin cihaza zarar vermesini önlemek için mavi bant filtre kağıdından süzme işlemi uygulanmıştır.
- Cihazda kalibrasyonla ilgili 8 ayrı noktada (1 – 10 – 50 – 100 – 250 – 500 – 1000 – 2000) kalibrasyon eğrisi çizilerek analiz sonuçları alınmıştır.



4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Menengiç Meyvesine ait Fiziksel ve Kimyasal Özellikler

Menengiç meyvesinin son yıllarda kullanım alanlarının yaygınlaşması meyvenin önemini giderek arttırmaktadır. Meyvenin hasat, taşıma, depolama ve işleme evrelerinde gerekli olan ekipman tasarımlarının gerçekleştirilmesi için fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Menengiç meyvesine ait fiziksel ve kimyasal özellikler ile bu özelliklere ilişkin analiz sonuçları Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Analiz sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, Aydın ve Özcan (2001), Özcan (2004), Sidar (2011) çalışmaları ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Benzer çalışmalardaki küçük farklılıkları, meyvenin yetiştiği ekolojik şartların farklı olmasına bağlayabiliriz.

Çizelge 4.1. Menengiç meyvesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Sınıf	Adı	Birimi	Değerler
Fiziksel özellikler	Bin dane ağırlığı	g	64.55 ± 2.20
	Boyutlar ve şekil (u x g x k)	mm	5.87 ± 0.27 x 5.01 ± 0.24 x 3.91 ± 0.51
	Genişlik/Uzunluk	-	0.85 ± 0.05
	Geometrik ortalama çap	mm	4.67 ± 0.44
	Küresellik	%	83.88 ± 5.78
	Projeksiyon alanı	mm ²	24.92 ± 2.83
Kimyasal özellikler	Kritik hız	m/s	5.43 ± 0.21
	Nem (Kuru baza göre)	%	4.61 ± 0.03
	Nem (Yaş baza göre)	%	4.40 ± 0.02

4.2. Menengiç Yağına ait Kimyasal Özellikler

Menengiç meyvesinden elde edilen yağa ait kimyasal özellikler ile bu özelliklere ilişkin analiz sonuçları Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Menengiç yağının kimyasal özellikleri

Kimyasal özelliğin adı	Birimi	Değerler
Nispi yoğunluk	g/cm ³	0.91
Sabunlaşma sayısı	mg KOH /g yağ	113.12
Peroksit sayısı	meqq O ₂ /kg yağ	26.32
Sabunlaşmayan madde sayısı	%	0.35
Serbest yağ asitleri (oleik asit cinsinden)	%	2.90

4.3. Yakıt Özellikleri

Araştırma kapsamında motorin, biyodizel, biyoetanol ve karışımlarına ait yakıt özellikleri ile bu özelliklere ait analiz sonuçları Çizelge 4.3.'de topluca verilmiştir. Çizelge'nin incelenmesinde de görüleceği üzere menengiç meyvesinden elde edilen yağın viskozitesi (39.18 mm²/s) yüksek olup uygulanan transesterifikasyon yöntemi ile viskozite (4.71 mm²/s) biyodizel standardı (TS EN 14214) sınır değerinin altına düşürülmüştür. Menengiç biyodizeli için elde edilen tüm veriler incelendiğinde, parlama noktası dışındaki tüm değerlerin biyodizel standardı (TS EN 14214) sınırları içerisinde olduğu, parlama noktası değerinin ise standart değere göre % 2.97 oranında düşük çıktığı görülmektedir.

Menengiç biyodizeli, biyoetanol ve motorinin belli oranlarda karışımlarından elde edilen yakıtların (E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3) analiz sonuçlarına göre, su içeriği değerlerinin dışındaki yakıt özelliklerinin motorin standart değerlerine (TS 3082 EN 590) uygunluk gösterdiği, su içeriği değerlerinin E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3, karışım yakıtlarında standart değerine göre sırasıyla % 13.79, % 43.01, % 53.72 oranında fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durumu tüm karışım yakıtları içerisinde % 2.5 oranında bulunan biyoetanol'ün su içeriğinin yüksek olmasına bağlayabiliriz. Karışım yakıtlarına biyodizel ilavesi ile biyoetanolden kaynaklanan olumsuzlukların giderilmesi sağlanmıştır.

Karışım yakıtlarında (E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3) % 2.5 biyoetanol'a karşın artan biyodizel oranına göre viskozite, su muhtevası, setan sayısı değerlerinde artış olur iken kalori değeri, bulutlanma noktası, akma noktası değerlerinde azalma olduğu ve soğuk filtre tıkanma noktasında ise değişim olmadığı belirlenmiştir.

Karışımlardan (E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3) elde edilen yakıt özelliklerine ait analiz sonuçları, Aydın (2014) ve Baydan (2008)'in farklı hammadde kullanarak yaptıkları çalışmalarla benzerlikler göstermiştir.

Çizelge 4.3. Yakıt özellikleri ve analiz sonuçları

Analiz adı	Birim	Menengiç yağı	Menengiç Biyodizeli	TS EN 14214	Biyometanol	Motorin	E-B1-M1	E-B2-M2	E-B3-M3	TS 3082 EN 590
Kinematik										
Viskozite(40°C)	mm ² /s	39.18	4.71	En çok 5.0	1.28	3.17	2.90	3.01	3.12	En çok 4.5
Yoğunluk(15 °C)	g/cm ³	0.91	0.88	En çok 0.90	0.79	0.84	0.84	0.84	0.84	En çok 0.84
Su içeriği	ppm	438.78	303.12	En çok 500	690.56	24.37	227.59	286.02	307.45	En çok 200
Parlama noktası	°C	-	98	En az 101	-	67	-	-	-	En az 55
Kalori değeri	Mj/kg	-	41.44	-	28.59	45.89	43.40	42.70	41.14	-
Setan sayısı	-	57.94	53.47	En az 51	13.91	55.84	51.03	51.19	51.31	En az 51
Bulutlanma Noktası	°C	-	7	-	-	-4.40	-5.45	-4.48	-3.90	-
Akma Noktası	°C	-	1	-	-	-25.90	-26.88	-25.26	-24.02	-
SFTN	°C	-	5	-20	< -30	-7	-7	-7	-7	-20
Kül	%	0.02	0.02	En çok 0.02	-	-	-	-	-	En çok 0.01
Asit sayısı	mg KOH/g	0.56	0.11	En çok 0.50	-	-	-	-	-	-
İyot sayısı	g iyot/100 g	70.91	70.91	En çok 120	-	-	-	-	-	-
Bakır şerit korozyon testi	derece	1a	1a	Sınıf 1	1a	1a	1a	1a	1a	1

4.4. Motor Performansı ve Egzoz Emisyon Sonuçları

4.4.1. Performans deneyleri sonuçları

Motorin ve karışım yakıtlarına ait performans değerleri genel olarak incelendiğinde motorine (M100) göre karışım yakıtlarının (E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3) moment ve güç eğrilerinde (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2) azalma buna karşılık yakıt tüketimlerinde (Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.) ise bir artış olduğu görülmektedir.

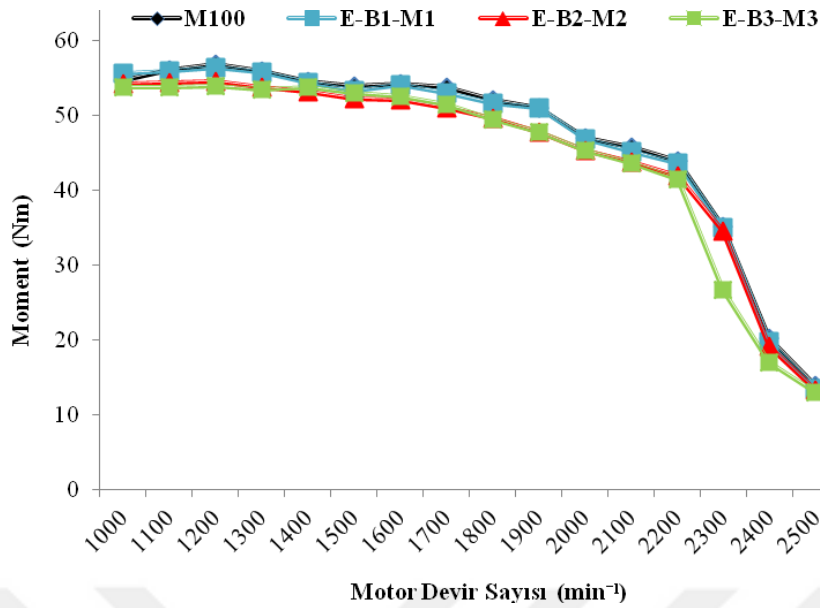
Bu durum motorine (M100) göre, karışım yakıtlarının (E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3) biyoetanol ve biyodizel kaynaklı olarak düşük ısıl değere (Çizelge 4.3.) sahip olmalarından kaynaklanmaktadır. Nisbeten motorine göre düşük ısıl değere sahip olan karışım yakıtlarının motorlarda kullanılması durumunda eşit güç üretilebilmesi için daha fazla yakıt harcanması gerekmektedir.

4.4.1.1. Motor momenti değerlerinin değişimi

M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtları ile tam yük şartlarında yapılan motor performans deneylerinde devir sayısına bağlı olarak elde edilen motor momenti değerlerinin değişimi Şekil 4.1.'de verilmiştir.

Şekil 4.1.'in incelenmesinden anlaşılacağı üzere, motorin ve karışımlardan elde edilen tüm yakıtlarda maksimum motor momentine 1200 min^{-1} motor devrinde ulaşılmış ayrıca E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 karışım yakıtlarının 1000 min^{-1} ... 2500 min^{-1} arası tüm motor devirlerine ilişkin motor momenti değerleri incelendiğinde, değerlerin M100 yakıtına yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Yakıtlar içerisindeki maksimum motor momentini 1200 min^{-1} motor devrinde ortalama 56.90 Nm değeri ile M100 yakıtı vermiş bunu sırasıyla 56.44 , 54.51 ve 53.93 Nm ortalama değerleri ile E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtları izlemiştir.

Bu sonuçlar Özdemir (2011), Yılmaz ve Sanchez (2012) tarafından farklı hammaddeler kullanılarak yapılan çalışmalarda ki sonuçlar ile benzerlikler göstermektedir.

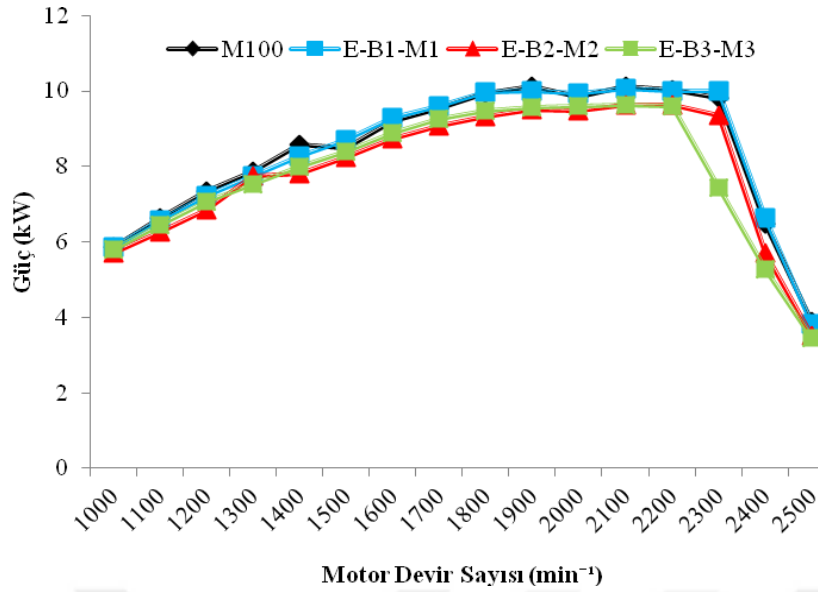


Şekil 4.1. M100, E-B1-M1, E-B2,M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının devir sayısına bağlı olarak motor momenti değerleri

4.4.1.2. Efektif motor gücü değerlerinin değişimi

Motorin ile biyoetanol, biyodizel ve motorinin farklı oranlarda karışımlarından elde edilen E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtları ile tam yük şartlarında yapılan motor performans deneylerinde devir sayısına bağlı olarak elde edilen efektif motor gücü değerlerinin değişimi Şekil 4.2.'de görülmektedir.

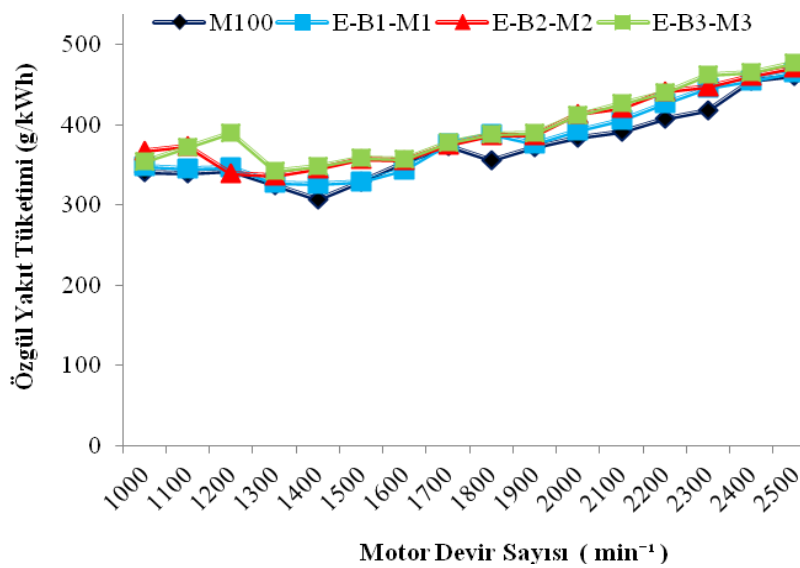
Şekil 4.2'de görüleceği üzere, maksimum efektif motor gücü, 2100 min⁻¹ motor devrinde ortalama 10.13 kW değeri ile M100 yakıtından elde edilmiştir. Aynı motor devrinde E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 karışım yakıtlarındaki ortalama efektif motor gücü değerleri ise sırasıyla 10.07 kW, 9.63 kW ve 9.62 kW olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar Alakel (2008), Aydın (2014) tarafından farklı hammaddeler için yaptıkları çalışmalarla benzer sonuçlar göstermiştir.



Şekil 4.2. M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının devir sayısına bağlı olarak efektif motor gücü değerleri

4.4.1.3. Yakıt tüketimi değerlerinin değişimi

M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtları ile tam yük şartlarında yapılan motor performans deneylerinde devir sayısına bağlı olarak elde edilen, özgül yakıt tüketimi değerlerinin değişimi Şekil 4.3.'de, saatlik yakıt tüketimi değerlerinin değişimi ise Şekil 4.4.'de görülmektedir.

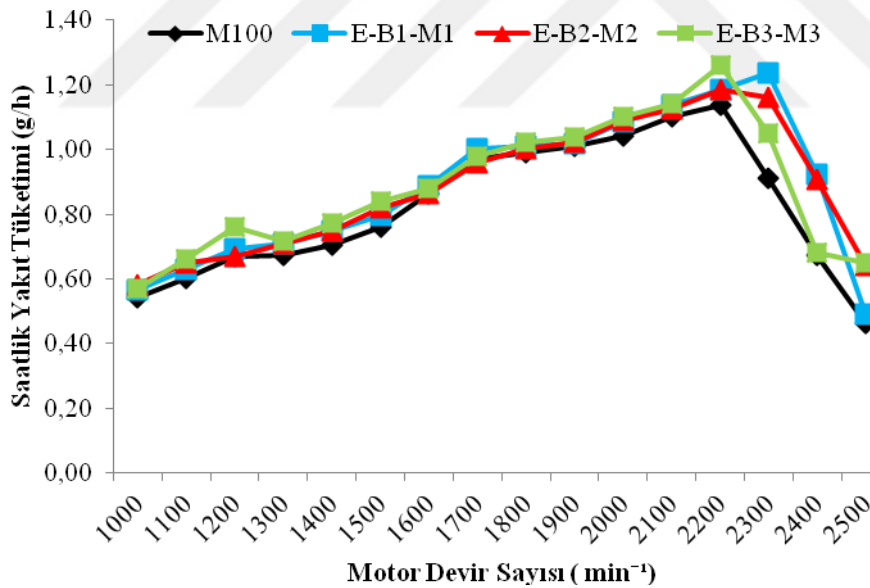


Şekil 4.3. M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının devir sayısına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değerleri

Tüm yakıtlara ait özgül yakıt tüketimi değerleri incelendiğinde, minimum özgül yakıt tüketiminin 1400 min^{-1} 'de 306.54 g/kWh ortalama değeri ile motorine (M100) ait olduğu görülmektedir. Ayrıca aynı motor devrinde, motorin, biyoetanol ve biyodizel'in farklı oranlarda karışımlarından elde edilen E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarına ait özgül yakıt tüketimi değerlerinin M100'e göre sırasıyla % 6.54, % 12.60 ve % 13.58 oranlarında artış gösterdiği belirlenmiştir. Benzer sonuçlar diğer motor devirlerinde de gözlenmiştir (Ek 1, 2, 3, 4).

Genel olarak karışım yakıtlarında sabit biyoetanol (% 2.5) ilavesine karşın artan biyodizel miktarına (% 2.5, % 5 ve % 7.5) bağlı olarak özgül yakıt tüketim değerlerinin M100 yakıtına göre artış gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum, Çizelge 4.3.'te yakıtlara ait özelliklerin incelenmesinden görüleceği üzere biyoetanol ve biyodizelin ısıl değerinin motorine göre düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Aynı işin gerçekleşmesi için silindir içersine daha fazla yakıt gönderilmektedir (Altun, 2010).

Bu sonuçlar Zhu ve ark. (2011), Yılmaz ve Sanchez (2012), tarafından yapılan çalışmalardaki sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.4. M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının devir sayısına bağlı olarak saatlik yakıt tüketimi değerleri

4.4.2. Egzoz emisyon sonuçları

Egzoz emisyonları, içten yanmalı motorlarda yakıt hava karışımlarının yanması sonucu açığa çıkan zararlı gazların oluşturduğu ve atmosfere salınan egzoz gazlarıdır (Anonim, 2011e). Araştırma kapsamında, tam yük şartlarında yapılan motor performans deneylerinde devir sayısına bağlı olarak tüm yakıtlara (M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3) ait CO, CO₂, HC, O₂, SO₂ ve NO_x egzoz emisyon değerleri değişimleri incelenmiştir.

4.4.2.1. Karbonmonoksit (CO) sonuçlarının karşılaştırılması

Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni oksijen ile yakıtın buluşmamasıdır. CO, silindire alınan yakıtın bir kısmının silindir içerisinde yanarken, yetersiz oksijenden dolayı tam yanmaması (kötü yanma) ve yakıt molekülünün (C) 2 yerine 1 oksijen ile birleşmesi ile ortaya çıkan zehirli bir gazdır (Anonim, 2011e).

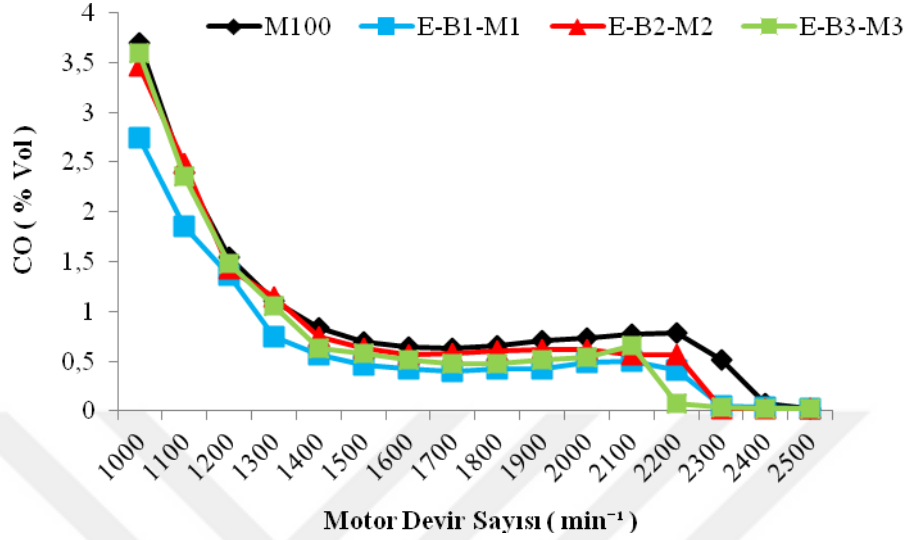
M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtları ile tam yük şartlarında yapılan motor performans deneylerinde devir sayısına bağlı olarak elde edilen egzoz emisyon sonuçlarında CO değerlerinin değişimi Şekil 4.5.'de verilmiştir.

Şekil 4.5.'in incelenmesinden, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının M100 (motorin) yakıtına göre CO değerlerinde motor devrine bağlı olarak azalma olduğu görülmektedir. Bu azalma, maksimum motor momentinin ölçüldüğü 1200 min⁻¹'da, M100 yakıtına göre E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarında sırasıyla % 11.03, % 7.14, % 3.89, maksimum motor gücünün ölçüldüğü 2100 min⁻¹'da ise sırasıyla % 35.06, % 27.27, % 14.28 olarak gerçekleşmiştir.

Karışım yakıtlarındaki CO emisyonu değerlerinin motorine göre daha düşük çıkmasını, karışım yakıtları içerisinde belli oranlarda bulunan biyoetanol ve biyodizelin yapısındaki oksijene bağlayabiliriz. Bununla birlikte karışım yakıtlarının hava fazlalık katsayıları motorin yakıtına göre daha yüksek olmakta ve yanma esnasında CO emisyonlarının oksitlenmesi ile CO₂ dönüşümü ortaya çıkmaktadır.

CO emisyonunun oluşumu, yakıt özellikleri, püskürtme karakteristikleri, motor yükü, hava-yakıt oranından önemli derecede etkilendiği için bu parametrelere göre değişkenlik göstermektedir (Özçelik, 2011).

Bu sonuçlar Alptekin (2013) ve Roy ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmalardaki sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.5. M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının devir sayısına bağlı olarak CO değerleri

4.4.2.2. Karbondioksit (CO_2) sonuçlarının karşılaştırılması

CO_2 , tabiatta bitkiler tarafından fotosentez edilerek oksijene dönüştürülebildiğinden, yanma sonucunda açığa çıkan emisyonlar içerisinde en az zararı bulunan gazdır (Anonim, 2011e). Biyodizelin moleküllerinin daha az karbona sahip olması ile etanol ürünlerinde yanma sonucunda daha az CO_2 ve daha fazla H_2O oluşması nedeniyle oksijenli yakıtlar da biraz daha az CO_2 salınımı olmaktadır. (Kowalewicz, 2005). Bununla birlikte yüksek motor devri ve yükte daha fazla hava olmadan daha fazla yakıt yakıldığından aynı etki görülmeyp CO_2 emisyonları artmaktadır (Cheenkachorn ve Fungtammasan, 2009; Shahir ve ark., 2015).

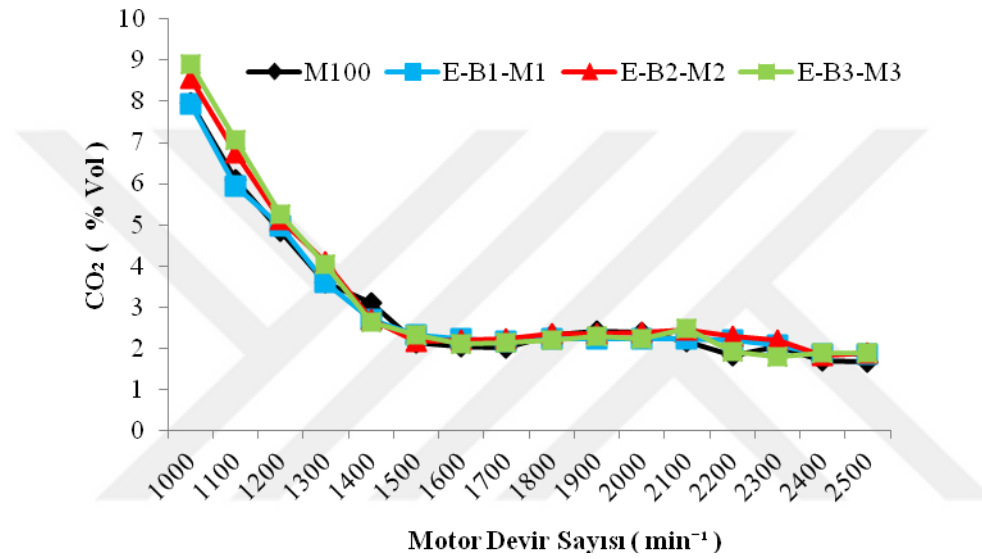
M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtları ile tam yük şartlarında yapılan motor performans deneylerinde devir sayısına bağlı olarak elde edilen egzoz emisyon sonuçlarında CO_2 değerlerinin değişimi Şekil 4.6.'da verilmiştir.

Aşağıdaki grafik incelendiğinde E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının CO_2 değerlerinde, maksimum motor momentinin ölçüldüğü 1200 min^{-1} 'da motorine göre sırasıyla % 2.26, % 5.56, % 8.24 artış olduğu görülmektedir. Aynı şekilde E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının, maksimum motor gücünün ölçüldüğü

2100 min^{-1} 'ya karşılık gelen CO_2 değerleri incelendiğinde ise M100 (motorin) yakıtına göre bu artışın sırasıyla % 2.77, % 12.96, % 13.88 oranında gerçekleştiği görülmektedir.

Bu durum, biyodizel ve biyoetanol yakıtında oksijenin bulunması ve hava fazlalık katsayılarının motorine göre daha yüksek olmasıyla açıklanabilmektedir (Aydın, 2014).

Bu sonuçlar Alptekin (2013) ve Aydın (2014) tarafından yapılan çalışmalarda ki sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.6. M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının devir sayısına bağlı olarak CO_2 değerleri

4.4.2.3. Hidrokarbon (HC) sonuçlarının karşılaştırılması

HC emisyonları, egzozda yanmamış yakıtların bulunmasından ve yakıtın (yakıt deposundan veya dolum sırasında) buharlaşması neticesinde ortaya çıkmaktadır. HC emisyonunun oluşumu, yakıt türüne, yanma odasının geometrisine ve motor çalışma şartlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Anonim, 2011e; Alptekin, 2013).

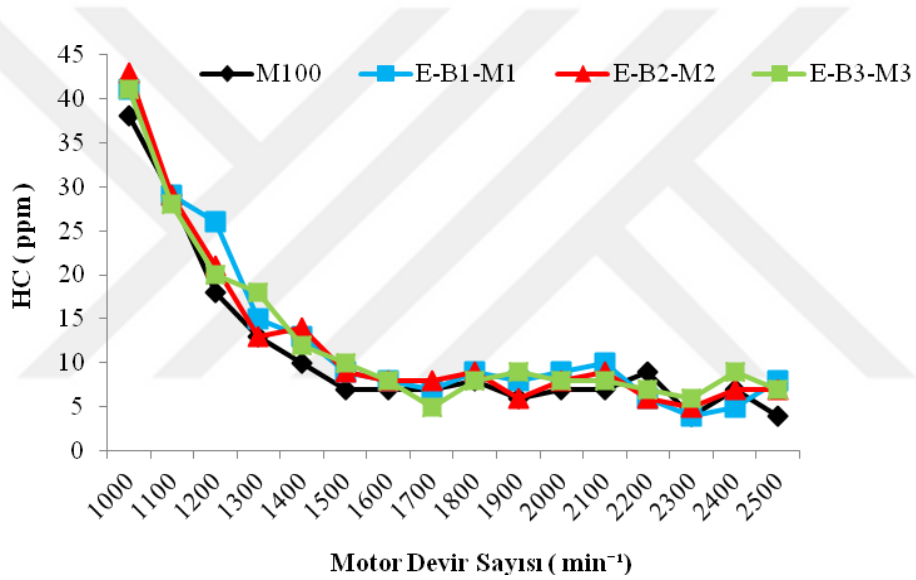
Şekil 4.7.'de M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtları ile tam yük şartlarında yapılan motor performans deneylerinde devir sayısına bağlı olarak elde edilen egzoz emisyon sonuçlarında HC değerlerinin değişimi verilmiştir.

Değerler incelendiğinde maksimum motor momentinin elde edildiği 1200 min^{-1} motor devrinde E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 karışım yakıtlarına ait HC değerlerinde, motorine göre sırasıyla % 44.44, % 16.67 ve % 11.11 oranında artış

olmuştur. Maksimum motor gücünün ölçüldüğü 2100 min^{-1} motor devrinde ise M100'e göre E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarına ait HC emisyon değerleri sırasıyla % 42.85, % 28.57 ve % 14.28 oranında artış göstermiştir.

Şeklin incelenmesinden ayrıca motor devrinin düşük olduğu yerlerde yakıtın tutuşma sıcaklığının düşük olmasından dolayı HC emisyonlarının yüksek olduğu görülmektedir. Nitekim çok fakir karışımlarda yanma kötüleştiği için veya diğer bir ifade ile eksik yanma sonucu yanmamış HC emisyonları hızlı bir şekilde artmaktadır (Aydın, 2014).

Bu sonuçlar Randazzo ve Sodre (2011), Yılmaz ve Sanchez (2012) tarafından yapılan çalışmalardaki sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.7. M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının devir sayısına bağlı olarak HC değerleri

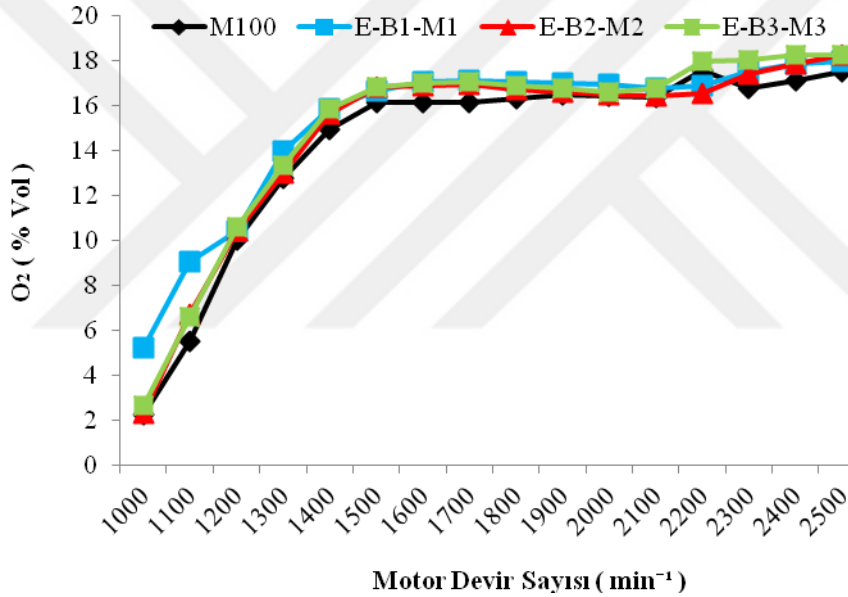
4.4.2.4. Oksijen (O_2) sonuçlarının karşılaştırılması

Egzozda O_2 miktarının yüksek olması fakir bir karışım oranı olduğunu ifade etmektedir. Dizel motorlarda karışım fakirleştikçe yakıt sarfiyatı azalmakta ve NO_x haricindeki diğer zararlı emisyonlarda azalma olmaktadır (Özçelik, 2011).

M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtları ile tam yük şartlarında yapılan motor performans deneylerinde devir sayısına bağlı olarak elde edilen egzoz emisyon değerlerinde O_2 'nin değişimi Şekil 4.8.'de görülmektedir.

M100 yakıtına göre, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarına ait O_2 değerlerinin, maksimum dönme momentinin elde edildiği 1200 min^{-1} 'da, sırasıyla % 3.67, % 3.87, % 5.16 oranında, maksimum motor gücünün belirlendiği 2100 min^{-1} 'da ise sırasıyla % 2.56, % 0.18, % 2.37 oranında artış gösterdiği görülmüştür. Şekil 4.8. genel olarak incelendiğinde karışım yakıtlarındaki O_2 değerlerinin motorine göre yakın değerler gösterdiği görülmektedir. Motorine göre karışım yakıtlarındaki O_2 değerlerindeki bu artışı karışımındaki biyodizel ve biyoetanolda oksijenin bulunması ve hava fazlalık katsayılarının motorine göre daha yüksek olmasına bağlayabiliriz.

Bu sonuçlar Aydın (2014) tarafından yapılan çalışmadaki sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.



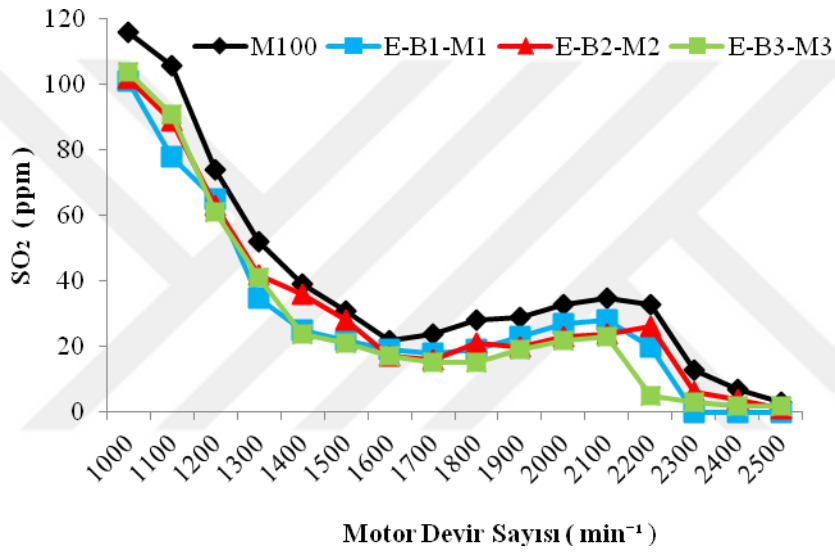
Şekil 4.8. M100, E-B-M1, E-B-M2 ve E-B-M3 yakıtlarının devir sayısına bağlı olarak O_2 değerleri

4.4.2.5. Kükürtdioksit (SO_2) sonuçlarının karşılaştırılması

SO_2 emisyonu yakıttaki kükürtün oksitlenmesi sonucu meydana gelmektedir. SO_2 emisyonu miktarı yakıttaki kükürt miktarına bağlıdır. Motorin yakıtının yağlayıcılık özelliğini arttırmak için rafineri işlemi sırasında çok az miktarda kükürt ilave edilmektedir (Behçet ve Oral, 2014). Bu durum, Şekil 4.9'da M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarına ait SO_2 değerlerinin motor devirlerine göre değişimlerinin incelenmesinden açıkça görülmektedir. Şekilde görüleceği üzere bütün

motor devirlerinde en yüksek SO_2 değerlerine M100 olarak ifade edilen dizel yakıtta rastlanmıştır.

E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarına ait SO_2 değerleri, maksimum dönme momenti değerinin elde edildiği 1200 min^{-1} 'da motorine göre sırasıyla % 12.16, % 14.86, % 17.57 oranında azalma göstermiştir. Aynı şekilde bu azalmaya maksimum motor gücünün ölçüldüğü 2100 min^{-1} devrinde de rastlanmıştır. Bu devirde E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının SO_2 emisyon değerleri M100 yakıtına göre sırasıyla % 20, % 31.42, % 34.28 oranında azalmıştır.



Şekil 4.9. M100, E-B-M1, E-B-M2 ve E-B-M3 yakıtlarının devir sayısına bağlı olarak SO_2 değerleri

4.4.2.6. Azotoksit (NO_x) sonuçlarının karşılaştırılması

Yanma prosesi esnasında, oksijen ve azotun yüksek sıcaklıkta reaksiyona girmesiyle birlikte NO_x emisyonları meydana gelmektedir. NO_x emisyonlarının büyük bir kısmını NO emisyonları, küçük bir kısmını ise NO_2 emisyonları ve kalan eser miktardaki kısmını ise diğer oksijen-azot kombinasyonları oluşturmaktadır. NO_x emisyonları daha çok havadaki oksijenden kaynaklanmaktadır. Ancak bazı yakıtlar eser miktarlarda azot içerebilmekte, fakat bu azot içeriği NO_x emisyonlarına çok düşük derecede etki etmektedir. NO_x emisyonları, silindir içi sıcaklığa, basınca, hava/yakıt oranına ve yanma zamanına bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca, yakıtın viskozite, ses

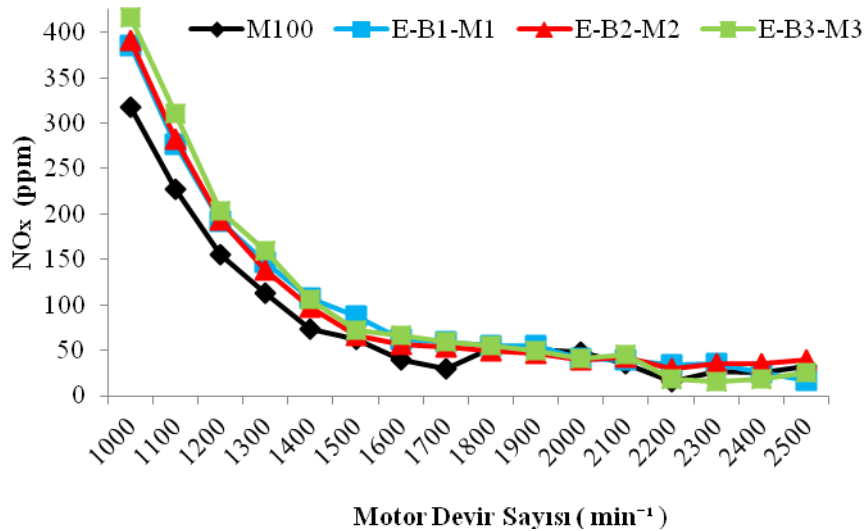
iletim hızı ve yoğunluk gibi bazı yakıt özellikleri de NO_x emisyonlarını etkilemektedir (Tat ve ark., 2000; Lu ve ark., 2004; Pulkrabek, 2004; Ferguson ve Kirkpatrick, 2006; Bittle ve ark., 2010; Alptekin, 2013).

M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtları ile tam yük şartlarında yapılan motor performans deneylerinde devir sayısına bağlı olarak elde edilen egzoz emisyon sonuçlarında NO_x değerlerinin değişimi Şekil 4.10.'da verilmiştir.

Grafik incelendiğinde E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarında maksimum motor torkunun ölçüldüğü 1200 min^{-1} 'da motorine göre NO_x değerleri sırasıyla % 23.87, % 25.16, % 30.96 oranında, maksimum motor gücünün ölçüldüğü 2100 min^{-1} 'da ise motorine göre NO_x değerleri sırasıyla % 11.11, % 16.66, % 25 oranında artış gösterdiği görülmektedir.

Biyodizelin yapısında motorine göre daha fazla oksijen bulunduğu için karışımdaki biyodizel miktarı arttıkça NO_x emisyonu da artmaktadır (Özer ve ark., 2011). Bu durum, araştırma sonuçlarımıza da yansımıştır. Genel olarak içerisinde % olarak daha fazla biyodizel bulunan E-B3-M3 karışım yakıtına ait NO_x emisyon değerleri diğer yakıtlara göre daha büyük değerler göstermiştir.

Bu sonuçlar Aydın (2014), Aydoğan (2015) tarafından yapılan çalışmalardaki sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.



Şekil 4.10. M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının devir sayısına bağlı olarak NO_x değerleri

Genel olarak performans ve emisyon sonuçları değerlendirildiğinde; motor devirlerine bağlı olarak M100 ve E-B1-M1 yakıtının tork ve güç değerlerinin birbirine yakın olduğu E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtlarında ise bu değerlerde biraz düşme olduğu tespit edilmiştir. M100'e göre E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 karışım yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri artarken CO, SO₂ emisyonlarında iyileşmeler, CO₂, HC, O₂, NO_x emisyonlarında artış olduğu tespit edilmiştir.

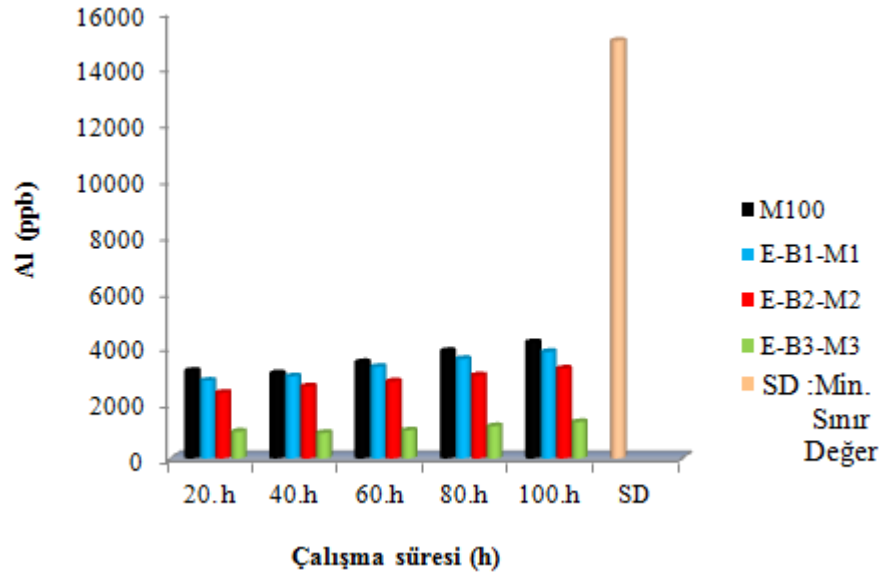
4.5. Motor Yağlama Yağında Aşınma Elementleri Sonuçları

4.5.1. Alüminyum (Al)

Alüminyum elementi; pistonlar, piston başı ve segmanları ile mil yataklarından kaynaklanmaktadır. Özellikle makine üretim ve revizyon sonraları ilk çalıştırma saatleri sonucunda alınan numunelerde yüksek oranlarda tespit edilebilmektedir. Bu metalik oluşumun, analiz sonuçlarında yüksek çıkması ile yağ filtresinde kirlenme, hava emiş devresi, supap kapakları ve karterde problem olduğu yönünde yaklaşımlar söz konusudur. Ayrıca bu oluşumun ilerleyen safhalarında aşırı yağ tüketimi, performans kaybı, anormal makine sesi gibi problemlerde ortaya çıkabilmektedir (Lukas ve Anderson, 1998; Müjdecı, 2009).

M100, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtlarının çalışma süresine bağlı olarak motor yağlama yağı içerisindeki alüminyum elementi miktarları EK 5.'de, bu değerlerin grafiksel ifadesi ise Şekil 4.11.'de verilmiştir.

Şekil 4.11.'de motor yağlama yağında Al elementi miktarları incelendiğinde M100, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtların da 20. saatten 100. sonuna kadar belli oranlarda artışlar olduğu gözlenmiştir. Aynı zamanda karışım yakıtlarında sabit değerlerde bulunan biyoetanole (% 2.5) ilaveten artan biyodizel miktarına (% 2.5, % 5 ve % 7.5) göre Al element miktarında M100 yakıtına göre azalma olduğu belirlenmiştir. Temiz yağa (0.h) göre en çok artış M100 yakıtında 100.h % 172.90'da gerçekleşmiştir (Ek 5). Alüminyum element miktarları limit sınırlar olan 15-40 ppm (15000-40000 ppb) (Özçelik, 2011) aşmamıştır. M100 yakıtına göre Al elementi miktarında 20. saatten 100. saate kadar E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtlarında artış oranı sırasıyla % 13.58, % 13.78, % 10.02 şeklinde olduğu gerçekleşmiştir.



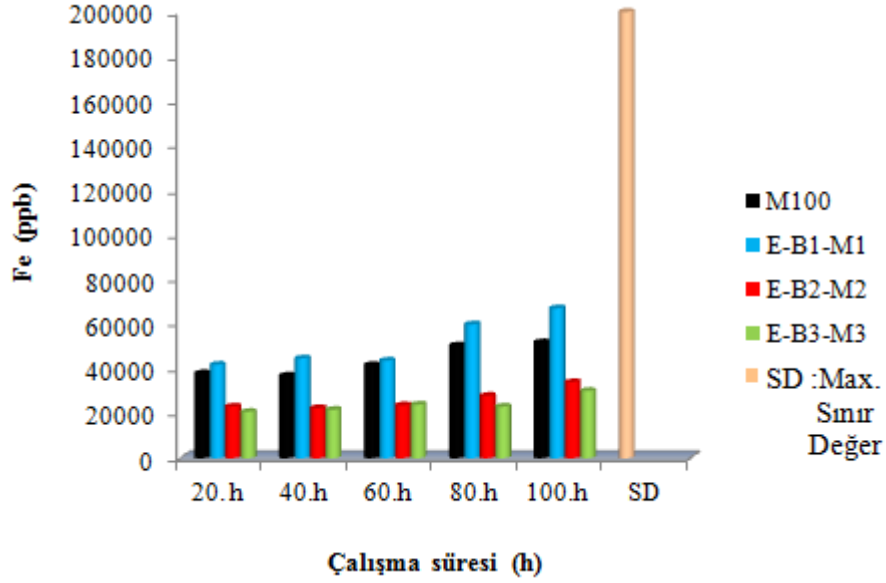
Şekil 4.11. M100, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtlarının çalışma süresine bağlı olarak motor yağlama yağı içerisinde alüminyum (Al) miktarı

4.5.2. Demir (Fe)

Demir elementi; yağlama yağı değişim periyodunu belirleyen en önemli metalik partiküldür. Bu metalik oluşumun fazlalığı, aşırı yağ tüketimi, anormal makine sesi, performans problemleri, anormal yağ basıncı ve çalışma sıcaklıkları, arızalı piston segmanları, sistemde pas oluşumu gibi problemlerin ortaya çıkmasına neden olabilmektedir (Lukas ve Anderson, 1998; Müjdecı, 2009).

M100, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtlarının çalışma süresine bağlı olarak motor yağlama yağı içerisindeki demir elementi miktarları Ek 5.'de bu değerlerin grafiksel ifadesi ise Şekil 4.12.'de verilmiştir.

Araştırma sonuçlarına göre; M100, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtların da çalışma süresi arttıkça Fe elementi miktarında artış gözlenmiştir. Ayrıca, çalışma süresinin 20. saatinden 100. saatine kadar yapılan değerlendirmeler neticesinde, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtlarının Fe elementi miktarlarında, M100 yakıtına göre sırasıyla % 65.56, % 29.04, % 23.55 oranında artış olduğu tespit edilmiştir. Bunun yanında, en yüksek demir elementi miktarına E-B1-M1 yakıtında rastlanmıştır. Tüm yakıtlarda Fe element miktarı 40-200 ppm (40000 – 200000 ppb) (Özçelik, 2011) olan sınır değerlerini geçmemiştir. Temiz yağa (0 h) göre en çok artış miktarı % 254.05 ile E-B1-M1 yakıtında 100. saatte gerçekleşmiştir (Ek 5).



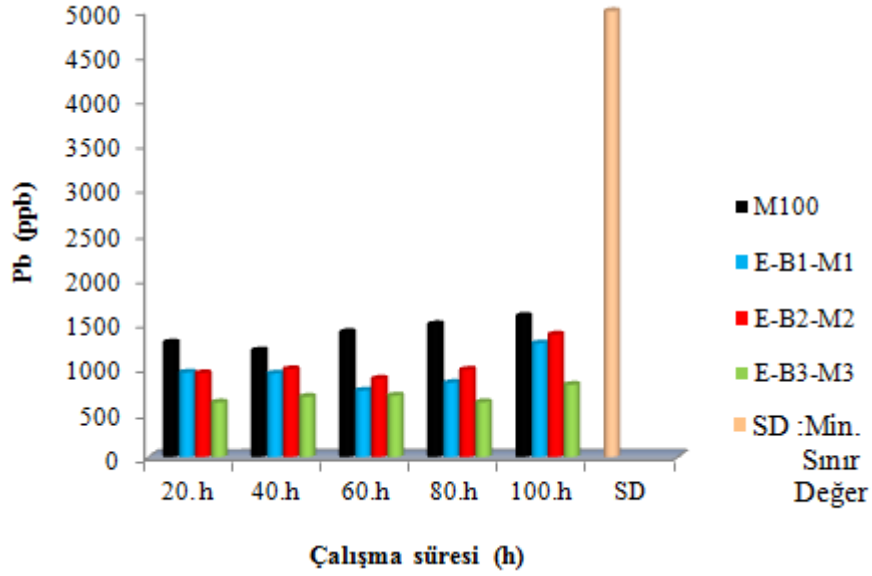
Şekil 4.12. M100, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtlarının çalışma süresine bağlı olarak motor yağlama yağı içerisindeki demir (Fe) miktarı

4.5.3. Kurşun (Pb)

Kurşun elementi; kaymalı yatakların aşınmasından veya kurşun kalay karışımı lehim noktalarından ve bazı sızdırmazlık elemanlarından kaynaklanabilmektedir. Bununla birlikte kurşun elementi, dişli sistem kavramalarında ve fren sürtünme plakalarında bulunabileceği gibi yakıttan dolayı da oluşabilmektedir (Lukas ve Anderson, 1998; Müjdecı, 2009).

M100, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtlarının çalışma süresine bağlı olarak motor yağlama yağı içerisindeki kurşun element miktarları Ek 5’de verilmiş olup değerlere ait grafik ise şekil 4.13.’de görülmektedir.

Şekil 4.13. incelendiğinde M100, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtların da çalışma süresi arttıkça Pb değerlerinde artış gözlenmiş olup 5-40 ppm (5000 – 40000 ppb) (Özçelik, 2011) olan normal sınırları içerisinde kalmıştır. M100 yakıtına göre 20. saatten 100. saate kadar motor yağlama yağı içerisindeki Pb elementi miktarında E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtların da sırasıyla % 47.61, % 97.69, % 38.57 oranında artış olduğu tespit edilmiştir. Temiz yağa (0. h) göre en çok artış ise % 144.46 ile M100 yakıtında 100. saatte olmuştur (Ek 5).

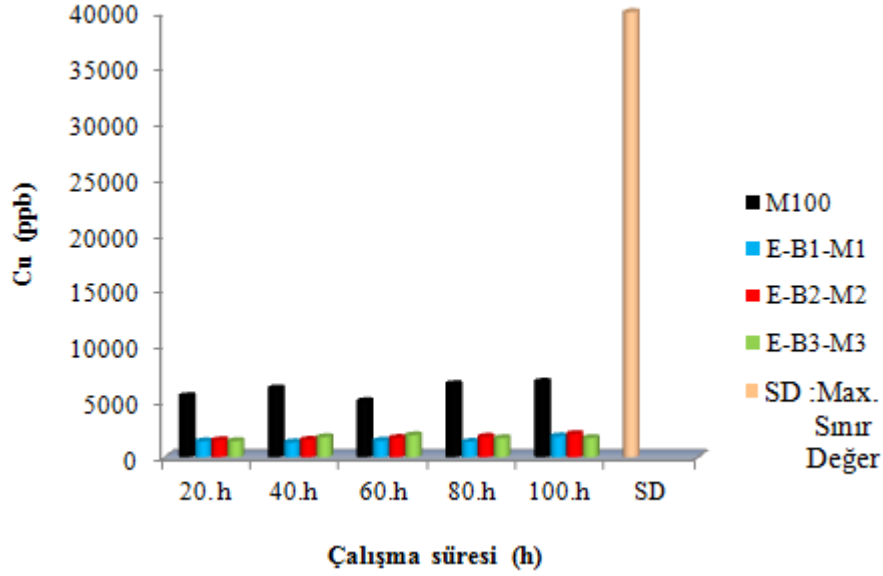


Şekil 4.13. M100, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtlarının çalışma süresine bağlı olarak motor yağlama yağı içerisinde kurşun (Pb) miktarı

4.5.4. Bakır (Cu)

Bakır elementi; bu metalik oluşum dişli ve supap tablaları, bazı tip dişliler, turbo şarj yatakları, kam yatakları ve piston pim yataklarında, bakır içeriği yüksek olan birçok dişli sistemi ve sinterlenmiş bronz içeren fren plakalarında gerçekleşebilmektedir. Ayrıca, bakır seviyesinin yükselmesi durumunda yağ soğutma sisteminde korozyon oluşumuna dikkat edilmelidir (Avcı, 2009).

M100, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtlarının çalışma süresine bağlı olarak yağlama yağı bakır değerleri Ek 5’de, değerlere ait grafik ise şekil 4.14.’de verilmiştir. Şekil 4.14. incelendiğinde M100, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtlarında motor çalışma süresi arttıkça Cu miktarının arttığı gözlenmiştir. Tüm yakıt çeşitlerinde Cu elementi için 5-40 ppm (5000 – 40000 ppb) (Özçelik, 2011) sınır değerinin aşılmadığı tespit edilmiştir. M100 yakıtına göre Cu elementi miktarında E-B1-M1, E-B2-M2 yakıtlarında sırasıyla % 30.25, % 55.08 artış E-B3-M3 yakıtında ise motorine göre % 18.85 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Temiz yağa (0.h) göre yapılan değerlendirmede ise en fazla artışın % 133.62 değeri ile 100. saatte M100 yakıtında görülmüştür. (Ek 5).



Şekil 4.14. M100, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtlarının çalışma süresine bağlı olarak motor yağlama yağı içerisinde bakır (Cu) miktarı

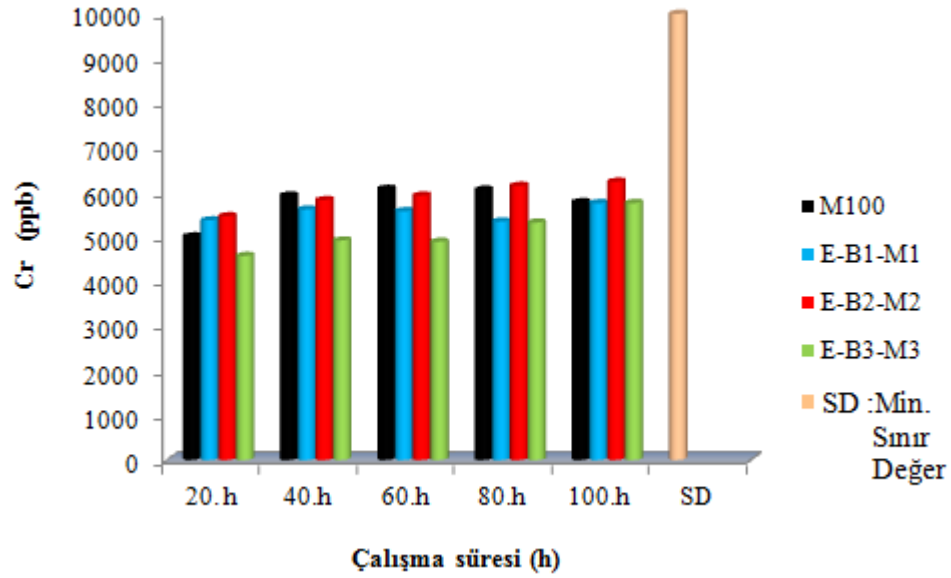
4.5.5. Krom (Cr)

Krom elementi; genellikle makine elemanlarının kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Krom kaplı piston segmanlar, krom ve krom alaşımli makine parçaları bu metalin kaynağını teşkil eden yerlerdir. Ayrıca conta, silindir ve bazı yatak elemanlarından da kaynaklanabilmektedir. Silindir içine giren havanın kirliliğinin artması ve arızalı segmanlar bu metalin oranını arttırmaktadır. Cr artışı, makinede aşırı yağ tüketimi veya kaçağının olduğunun ve aynı zamanda yağ kalitesinde bozulma durumunun meydana geldiğinin bir göstergesidir (Lukas ve Anderson, 1998; Avcı, 2009).

M100, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtlarının çalışma süresine bağlı olarak motor yağlama yağı krom değerleri Ek 5’de değerlere ait grafik ise Şekil 4.15.’de verilmiştir.

Şekil 4.15. incelendiğinde M100, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtlarında motor çalışma süresi artıktıkça Cr miktarı artmıştır. Tüm yakıt çeşitlerinde Cr element miktarı 10-30 ppm (10000 – 30000 ppb) (Özçelik, 2011) sınır değerleri arasında kaldığı görülmektedir (Özçelik, 2011). M100 yakıtına göre Cr elementi miktarında E-B1-M1 ve E-B2-M2, yakıtların da 20. saatten 100. saate kadar sırasıyla % 53.20, % 7.68 oranında azalma, E-B3-M3 yakıtında ise motorine göre % 69.36 oranında artış olduğu

tespit edilmiştir. Temiz yağa göre yapılan değerlendirmede ise en çok artış 100. saatte % 8.48 oranıyla E-B2-M2 yakıtında gerçekleşmiştir (Ek 5).



Şekil 4.15. M100, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtlarının çalışma süresine bağlı olarak motor yağlama yağı içerisinde krom(Cr) miktarı

Motor yağlama yağında yapılan aşınma elementleri analizinde çalışma süresi arttıkça element miktarında artış olduğu tespit edilmiştir. M100 yakıtına göre E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtlarında miktar bakımından aşınma elementlerinde azalma gerçekleşmiştir. Sadece E-B1-M1 yakıtında demir element miktarı M100 yakıtına göre daha fazladır. Tüm karışımlarda aşınma elementleri miktarı sınır değerler içerisinde kalmıştır.

Motor yağlama yağı, aşınma elementleri analiz sonuçları motorin motor yağlama yağı açısından Kılıç (1998), motorin-biyodizel motor yağlama yağı açısından Agarwal ve ark (2003), Özçelik (2011), biyoetanol-biyodizel-motorin motor yağlama yağı açısından Aydın (2014) tarafından yapılan çalışmalarda ki sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Tez kapsamında yapılan çalışmada son yıllarda kullanım alanı artan menengiç meyvesi bir çok yönüyle incelenmeye çalışılmış olup motor performansı ve egzoz emisyon açısından biyoyakıt olarak kullanılabilirliği, kullanılması durumunda motor yağlama yağındaki aşınma metallerinin (Fe, Cu, Cr, Pb, Al) değişimi motorin yakıtı ile karşılaştırılmalı olarak araştırılmıştır.

Biyoyakıtlar ile ilgili yapılan bir çok çalışmada biyoyakıtın üretildiği hammaddenin önemi zikredilmiş yakıtın kalitesi ve maliyeti açısından önemli olduğu vurgulanmıştır. Özellikle ülkemizde yemeklik yağ olarak kullanılan hammaddelerden biyodizel üretilmesi gıda güvenliği açısından uygun görülmemiştir. Bu nedenle biyodizel için kullanılmış atık yağlar ve yemeklik yağ olarak kullanılmayan ham yağ oranı yüksek hammaddelerin kullanılması gündeme gelmiştir. Biyodizel hammaddesinin yağ asitleri içeriği yakıt özelliklerini etkilemekte olup motorun püskürtme, yanma ve emisyon karakteristiklerinde farklılıklara sebep olmaktadır.

Menengiç yağının yağ oranı % 35.26 - % 47.52 (Geçgel ve Arıcı, 2008) arasında olup yapılan bazı araştırmalarda yemeklik yağ olarak kullanımı uygun görülse de günümüzde yaygın olarak yemeklik yağ kullanımı mevcut değildir. Özellikle yağın doymuş yağ oranının düşük, monodoymuş ve çoklu doymuş yağ oranının yüksek olması yapılan araştırmalara göre iyi bir biyodizel hammaddesi olduğunu göstermektedir.

Menengiç meyvesinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 4.1.'de verilmiş olup meyvenin temin edildiği bölge, yetiştirme koşulları ve hasat dönemi gibi unsurlar analiz sonuçlarını etkilemiştir.

Menengiç yağının kimyasal özellikleri ise Çizelge 4.2.'de verilmiş olup yağın elde edilme yöntemi ve muhafaza koşulları analiz sonuçlarını etkilemiştir.

Menengiç yağına uygulanan transesterifikasyon yöntemi ile elde edilen menengiç biyodizelinin (menengiç yağı metil esteri) kinematik viskozite, yoğunluk, su içeriği, setan sayısı, kül muhtevası, asit sayısı, iyot sayısı, bakır şerit korozyon testi analiz sonuçları standartlar içerisinde olmasına rağmen parlama noktası standartlarda belirtilen değerden % 2.97 oranında düşük çıkmıştır. Ayrıca menengiç yağı metil esterinin setan sayısı yaygın olarak kullanılan kanalo yağı metil esteri, ayçiçek yağı metil esteri, soya yağı metil esterine göre yüksektir. Menengiç yağının kanola ve

ayçiçeği yağı gibi yemeklik yağ olarak kullanılmaması avantaj olarak karşımıza çıkmaktadır.

Araştırmada kullanılan biyoetanolun parlama noktası, setan sayısı düşük olup su içeriği yüksek çıkmıştır. Su içeriğinin yüksek çıkması biyoetanolun kimyasal yapısı ve su ile her oranda karışabilme özelliğinden kaynaklanmaktadır. Karışım yakıtlarında ise analiz sonuçları standart değerlere uygundur. Karışım yakıtlarının yakıt özellikleri biyodizel ve biyoetanolun karakteristik yakıt özelliklerinden etkilenmiştir. Bu bağlamda biyoetanol ilavesi ile soğuk akış özellikleri, viskozite iyileşirken setan sayısı ve ısı değer de azalmalar meydana gelmiştir. Biyodizel ilavesi ile karışım yakıtlarında setan sayısı değerinin artması sağlamıştır. Menengiç biyodizelinin setan sayısının yüksek olması setan sayısı artırıcı olarak kullanılabileceğinin bir göstergesidir.

M100, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtları ile tek silindirli 4 zamanlı dizel motorunda her hangi bir değişiklik yapılmadan tam yük şartlarında gerçekleştirilen motor denemelerinde ise motor momenti (1200 min^{-1} , 56.90 Nm) ve efektif güç (2100 min^{-1} , 10.13 Kw) değerleri en yüksek M100 yakıtında ölçülmüştür. E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 karışım yakıtlarında ise motor momenti ve efektif güç değerlerinde M100'e göre az da olsa düşme yükselme olup yakın sonuçlar alınmıştır. Bu durum karışım yakıtlarının yakıt özelliklerinden de görüleceği üzere kinematik viskozite, yoğunluk ve kalori değerlerinden kaynaklanmaktadır. En düşük özgül yakıt tüketimi (1400 min^{-1} , 306.54 g/kWh) M100 yakıtında ölçülmüştür. E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 karışım yakıtlarında ise özgül yakıt tüketimi değerleri M100'e göre % 6.54, % 12.60, % 13.58 oranında artış göstermiş olup en yüksek değere E-B3-M3 yakıtında ulaşılmıştır. Bu durum karışım yakıtları içerisinde bulunan biyoetanol ve menengiç biyodizelin ısı değerinin düşük olması ile açıklanabilir. Motor denemeleri sırasında deneme motorunda her hangi bir arıza ile karşılaşılmamıştır.

Egzoz emisyon deney sonuçlarında ise M100 yakıtına göre E-B-M1, E-B-M2, E-B-M3 yakıtlarında CO , SO_2 emisyonları azalır iken CO_2 , HC , O_2 , NO_x emisyonlarının arttığı tespit edilmiştir.

M100 yakıtına göre CO değerlerinde tam yükte motor devrine bağlı olarak maksimum motor momentinin ölçüldüğü 1200 min^{-1} 'da, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarında sırasıyla % 11.03, % 7.14, % 3.89 oranında, maksimum motor gücünün ölçüldüğü 2100 min^{-1} 'da ise sırasıyla % 35.06, % 14.28, % 27.27 oranında

azalma gerçekleşmiştir. Bu durum karışım yakıtları içerisinde belli oranlarda bulunan biyoetanol ve menengiç biyodizelin yapısındaki oksijenden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte karışım yakıtlarının hava fazlalık katsayıları motorin yakıtına göre daha yüksek olmakta ve yanma esnasında CO emisyonlarının oksitlenmesi ile CO_2 dönüşümü ortaya çıkmaktadır.

Tam yükte motor devrine bağlı olarak CO_2 emisyon değerleri motorine göre E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarında maksimum motor momentinin ölçüldüğü 1200 min^{-1} 'da sırasıyla % 2.26, % 5.56, % 8.24 oranında, maksimum motor gücünün ölçüldüğü 2100 min^{-1} 'da ise sırasıyla % 2.77, % 12.96, % 13.88 oranında artış göstermiştir.

HC emisyon değerlerinde, tam yükte motor devrine bağlı olarak motorine göre maksimum motor momentinde, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarında sırasıyla % 44.44, % 16.67, % 11.11 oranında, aynı şekilde maksimum motor gücünde ise sırasıyla % 42.85, % 28.57, % 14.28 oranında artış olduğu gözlenmiştir.

M100 yakıtına göre tam yükte motor devrine bağlı olarak O_2 emisyon değerleri, E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarında maksimum dönme momentinde, sırasıyla % 3.67, % 3.87, % 5.16 oranında, maksimum motor gücünde ise sırasıyla % 2.56, % 0.18, % 2.37 oranında artış göstermiştir. Motorine göre karışım yakıtlarındaki O_2 emisyon değerlerinde oluşan artış, karışım yakıtlarındaki menengiç biyodizeli ve biyoetanolün yapısında oksijenin bulunması ve hava fazlalık katsayılarının motorine göre daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır.

Tam yük şartlarında motor devrine bağlı SO_2 emisyonları en yüksek M100 yakıtında ölçülmüştür. Bunun sebebi ise motorinin yapısında kükürt bulunmasından dolayıdır. E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarında SO_2 değerleri, motorine göre maksimum dönme momentinde sırasıyla % 12.16, % 14.86, % 17.57 oranında azalma olur iken aynı şekilde maksimum motor gücünde de sırasıyla % 20, % 31.42, % 34.28 oranında azalma olmuştur.

E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarında tam yük şartlarında motor devrine bağlı olarak maksimum motor torkunda M100'e göre NO_x değerleri sırasıyla % 23.87, % 25.16, % 30.96 oranında, maksimum motor gücünde ise % 11.11, % 16.66, % 25 oranında artış göstermiştir. Menengiç biyodizelinin yapısında motorine

göre daha fazla oksijen bulunduğu için karışım yakıtlarında biyodizel miktarı artııkça NO_x emisyonu da artmış olup en yüksek değerler E-B3-M3 yakıtında ölçülmüştür.

Motor denemeleri süresince belli aralıklarda alınan yağlama yağlarında aşınma elementleri (Al, Fe, Pb, Cu, Cr) miktarları M100, E-B-M1, E-B-M2 ve E-B-M3 yakıtlarında 20. saatten 100. saate kadar artmıştır. Tüm yakıtlarda aşınma element miktarları sınır değerler içerisinde kalmıştır.

M100 yakıtına göre Al elementi miktarında 20. saatten 100. saate kadar E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtlarında sırasıyla % 13.58, % 13.78, % 10.02 oranında artış olmuştur.

E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtlarının Fe elementi miktarlarında, M100 yakıtına göre 20. saatten 100. saate kadar sırasıyla % 65.56, % 29.04, % 23.55 oranında artış olduğu tespit edilmiştir.

M100 yakıtına göre 20. saatten 100. saate kadar motor yağlama yağı içerisindeki Pb elementi miktarında E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtların da sırasıyla % 47.61, % 97.69, % 38.57 oranında artış olduğu belirlenmiştir.

M100 yakıtına göre Cu elementi miktarında E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtların da 20. saatten 100. saate kadar sırasıyla % 30.25, % 55.08 artış, % 18.85 azalma olduğu gözlenmiştir.

M100 yakıtına göre Cr elementi miktarında E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtların da 20. saatten 100. saate kadar sırasıyla % 53.20, % 7.68 oranında azalma, % 69.36 oranında artma meydana gelmiştir.

Aşınma elementi analiz miktarlarının 20. saatten 100. saate artış oranları M100'e göre değerlendirildiğinde karışım yakıtları içerisinde E-B3-M3 yakıtında Cr elementi hariç diğer element analiz sonuçlarında en düşük oranlar alınmıştır. E-B3-M3 yakıtında Cr element miktarı sınır değerler içerisinde dir.

Aşınma elementleri analizleri sonucunda elde edilen veriler miktar bakımından değerlendirildiğinde ise M100 yakıtına göre E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarında azalmalar olduğu görülmüştür. Biyodizelin yağlayıcılık özelliğinin etkisini bu sonuçlar doğrulamaktadır. E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarında M100 yakıtına göre motor parçalarında daha az aşınmaya yol açtığı söylenebilir. Tabii ki bu durum ilave analizlerin yapılmasıyla somutlaştırılmalıdır.

Yapılan çalışma sonucunda elde edilen verileri değerlendirildiğinde; M100 yakıtına göre performans açısından karışım yakıtlarında yakın sonuçlar alınmasına

rağmen en yakın sonuç E-B1-M1 yakıtında alınmıştır. M100 yakıtına göre E-B1-M1, E-B2-M2 ve E-B3-M3 yakıtlarının hepsinde CO, SO₂ egzoz emisyon değerlerinde iyileşmeler olur iken HC, CO₂, O₂, NO_x emisyonlarında artış olduğu belirlenmiştir. Motor yağlama yağı verileri değerlendirildiğinde en iyi sonuç E-B3-M3 yakıtında elde edilmiştir.



5.2. Öneriler

Yapılan bu çalışmada biyodizel olarak kullanılacak hammaddenin incelenmesi, biyodizel elde edilmesi, biyodizel – biyoetanol – motorin karışımından belli oranlarda harmanlanarak elde edilen yakıtların yakıt özelliği analizleri, motorda kullanımı sonucu motor performans denemeleri ile egzoz emisyon analizleri sonucunda elde edilen veriler motorine göre kıyaslanmış, ayrıca motor çalışma zamanına bağlı olarak yağlama yağı aşınma elementlerindeki değişimler incelenmiştir.

Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda ise;

- Menengiç biyodizel – biyoetanol – motorin olarak hazırlanan karışım yakıtlar için performans ve emisyon açısından en uygun oran araştırılmalı ve yağlama yağı aşınma tespiti için yoğunluk, kinematik viskozite, su miktarı gibi ilave analizler yapılmalıdır.
- Menengiç yağını motorin yakıtına ilave ederek setan sayısı arttırıcı olarak kullanılabilirliği araştırılmalı ve kullanılacak uygun oran belirlenmelidir.
- Biyoetanolün viskozite, yoğunluk ve soğuk akış özelliklerini, emisyon değerlerini iyileştirme özellikleri dikkate alınarak biyodizel – biyoetanol – motorin olarak farklı oranlarda karışımlar hazırlanmalı ve farklı motor tiplerinde denemeler yapıp sonuçlar mukayese edilmelidir.
- Farklı hammaddelerden elde edilmiş biyodizellerin biyoetanol ve motorin ile harmanlanması sonucu elde edilen yakıtlar mukayese edilmelidir.
- Motorine % 20 oranından fazla miktarda biyoetanol karıştırılması durumunda ortaya çıkan olumsuzluklarının biyodizel ilave edilmesi ile iyileştirilebilirliği araştırılmalıdır.
- Biyodizel ve biyoetanol için gıda niteliği olmayan hammaddeler araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abdulvahitoğlu, A. ve Tüccar, G., 2017, Dizel motorlarda alternatif yakıt olarak karpuz çekirdeği biyodizelinin değerlendirilmesi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32:1, 189-194.
- Abu-Qudais, M., Haddad, O. ve Qudaisat, M., 2000, The effect of alcohol fumigation on diesel engine performance and emissions, *Energy Conversion and Management*, 41 (4), 389-399.
- Acaroğlu, M., 2003, Alternatif enerji kaynakları Atlas Yayın Dağıtım, Nobel Yayın Dağıtım, Konya, p. 208-209.
- Acaroğlu, M., 2008, Türkiye'de biyokütle – biyoetanol ve biyomotorin kaynakları ve biyoyakıt enerjisinin geleceği, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES, İstanbul, 351-362.
- Agarwal, A. K., Bijwe, J. ve Das, L. M., 2003, Wear assessment in a biodiesel fueled compression ignition engine, *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 125, 820-826.
- Akyarlı, A., Alpaslan, N., Çicek, T., Diktas, E., Elmacı, Y., Karagözlü, C., Öztüre, N., Sayın, R., Sezerman, U., Sındır, K. O., Sipahi, D. ve Sahin, M. O., 2004, Biyodizel yakıtın uluslararası standartlarda üretimi, *Bioenerji 2004 Sempozyumu*, İzmir.
- Alakel, H., 2008, Bir dizel motorda biyodizel, dizel ve etanolün motor performansına etkilerinin İncelenmesi□, Yüksek Lisans Tezi *Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Hatay.
- Alptekin, E. ve Çanakçı, M., 2006, Biyodizel ve Türkiye'deki durumu, *Mühendis ve Makine*, 47, 57-64.
- Alptekin, E., 2013, Hayvansal atık yağlardan biyodizel üretimi ve bir dizel motorda kullanımın incelenmesi, Doktora Tezi *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli.
- Altın, R., 1998, Bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılmasının deneysel olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Altun, Ş. ve Gür, M. A., 2005, Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak dizel motorlarında kullanılması, *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 9(3), 35-42.
- Altun, Ş., 2010, Dizel motor performansı ve egzoz emisyonları üzerinde biyodizel yakıtların etkisi, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)*, 1, 9-19.
- Anonim, 1986, TSE, TS 4963 Sabunlaşmayan madde sayısının tespiti. Ankara.

- Anonim, 2007, Gıda teknolojisi, gıdalarda nem ve toplam kuru madde tayini T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, *Ankara*: 7-8.
- Anonim, 2009, Süper star dizel motorları kullanma ve bakım klavuzu. İstanbul.
- Anonim, 2010, Gıda teknolojisi, yemeklik yağların analizleri 1. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, *Ankara*.
- Anonim, 2011a, TSE, Tahıl ve baklagiller - 1000 dane kütlesi tayini. tst EN ISO 520, *Ankara*.
- Anonim, 2011b, Motorlu araçlar teknolojisi, otomotiv periyodik bakımı, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, *Ankara*.
- Anonim, 2011c, Aile ve tüketici hizmetleri, atık yağlar T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, *Ankara*.
- Anonim, 2011d, Raylı sistemler teknolojisi, dizel motorları yağlama sistemleri T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, *Ankara*.
- Anonim, 2011e, Motorlu araçlar teknolojisi, egzoz emisyon kontrolü 525MT0300. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, *Ankara*.
- Anonim, 2012a, Gıda teknolojisi, yemeklik yağların analizleri 2, 541GI0123, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, *Ankara*.
- Anonim, 2012b, Yenilenebilir enerji teknolojileri, yenilenebilir enerji kaynakları ve önemi, 522EE0421, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, *Ankara*.
- Anonim, 2013, Onuncu kalkınma planı (2014- 2018) *Türkiye Büyük Millet Meclisi, T.C. Kalkınma Bakanlığı, Ankara* 174.
- Anonim, 2016a, Odun dışı orman ürünlerinin envanter ve planlaması ile üretim ve satış esasları *Ankara*.
- Anonim, 2016b, Hidrolik dinanometre, soğutma sistemi, magnetic pick-up, s tipi load cell, dinanometre kontrol ünitesi. (ziyaret tarihi: 01.12.2016). netfren.com.
- Anonim, 2017a, ICP - MS
http://www.selcuk.edu.tr/ileri_teknoloji_aras_uyg_mrkg_mud/birim/web/sayfa/ayrinti/5875/tr (Ziyaret saati: 15.02.2017).
- Anonim, 2017b, Motorin türlerine biyodizel harmanlanması hakkında tebliğ.
<http://www.resmigazete.gov.tr> , 16.06.2017 tarih, 30098 sayılı, Resmi Gazete.
- Anonim, 2017c, Kül tayin cihazı teknik özellikler.
http://www.nabertherm.com/produkte/details/tr/labor_muffelofen (ziyaret tarihi: 20.02.2017).
- Anonim, 2017d, Biyoetanol üretim tesisi,
<http://konyaseker.com.tr/tr/icerik/detay/2085/biyoetanol-uretim-tesisi>.

- Anonim, 2017e, Biyodizel. <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyodizel.aspx>, (ziyaret tarihi: 09.02.2017).
- Anonim, 2017f, Menengiç (Pistacia spp.). T.C. Orman Genel Müdürlüğü Afyonkarahisar Tıbbi ve İtri Bitkiler Merkezi <http://atib.ogm.gov.tr/Sayfalar/T%C4%B1bbi%20ve%20İtri%20Bitkilerimizi%20Tan%C4%B1yal%C4%B1m/Menengic.aspx> (ziyaret saati: 15.02.2017).
- Anonim, 2017g, Lubrication engineers yağ analiz programı. www.leturkey.com (ziyaret tarihi: 10.02.2017).
- Anonim, 2017h, Biyoetanol istatistikleri. T.C. Tütün ve Alkol Piyasası Düzenleme Kurumu, <http://www.tapdk.gov.tr/tr/piyasa-duzenlemeleri/alkol-piyasasi/resmi-istatistikler>, (ziyaret tarihi: 12.04.2017).
- Anonim, 2017i, Yenilenebilir Enerji / Biyokütle / Biyoetanol. <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyoetanol>, (Ziyaret tarihi: 09.02.2017).
- Anonymous, 2016, Menengiç. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Menengiç> (ziyaret tarihi: 10.12.2016).
- Anonymous, 2017, Renewables 2017 global status report, biomass energy, *REN21, Fransa*, 45.
- Ar, F. F., 2008, Biyoyakıtlar tehdit mi - fırsat mı?!, *Mühendis ve Makina*, 581 (49), 3-9.
- Avcı, A., 2009, Bir kargo firmasına ait 6 adet diesel aracın optimum yağ değişim süreçlerinin ekonomik etüdü Yüksek Lisans Tezi *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul
- Aydin, C. ve Özcan, M., 2002, Some physico-mechanic properties of terebinth (Pistacia terebinthus L.) fruits, *Journal of Food Engineering*, 53 (1), 97-101.
- Aydın, F., 2014, E-B Motorin yakıtlarının tek silindirli bir dizel motorda kullanımının motor performansına, emisyonlara ve yağlama yağına etkileri, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Aydoğan, B., 2008, Biyodizel kullanılan dizel motorlarda NOx emisyonlarının ve NOx emisyonlarının azaltma yöntemlerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli.
- Aydoğan, H., 2011, Biyoetanol - dizel yakıtı karışımlarının (E-Dizel) motor performans ve emisyonlarına etkisinin araştırılması, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Aydoğan, H., 2015, Performance, emission and combustion characteristics of bioethanol-biodiesel-diesel fuel blends used in a common rail diesel engine, *İsi Bilimi Ve Tekniği Dergisi-Journal of Thermal Science and Technology*, 35 (2), 19-27.
- Balat, M., Balat, H. ve Oz, C., 2008, Progress in bioethanol processing, *Progress in Energy and Combustion Science*, 34 (5), 551-573.

- Balat, M. ve Balat, H., 2009, Recent trends in global production and utilization of bio-ethanol fuel, *Applied Energy*, 86 (11), 2273-2282.
- Balcı, A. B., 2009, Menengiç yağından elde edilen biyodizelin ve karışımlarının yakıt özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* Konya.
- Balcı, A. B. ve Mengeş, H. O., 2010, Examination of fuel properties of biodiesel which obtained from terebinth oil and blending, *Journal of Agricultural Machinery Science*, 6 (1), 29-35.
- Baydan, H. E., 2008, Biyoetanol, metil ester ve dizel yakıt karışımlarının dizel motorlarda kullanımının motor performansına etkisinin belirlenmesi Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Behçet, R. ve Oral, F., 2014, Dizel motor performans ve emisyonları üzerindeki biyodizel-dizel karışım yakıtların etkisi, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 15-23.
- Bengisu, G., 2014, Alternatif yakıt kaynağı olarak biyoetanol, *Alinteri*, 43-42.
- Bilginpek, H., 1991, Dizel Motorları, MEB Basımevi *İstanbul*, p.
- Bittle, J. A., Knight, B. M. ve Jacobs, T. J., 2010, Interesting behavior of biodiesel ignition delay and combustion duration, *Energy & Fuels*, 24, 4166-4177.
- Boehman, L. A., 2005, Biodiesel production and processing, *Fuel Processing Technology*, 86, 1057-1058.
- Borat, O., Balcı, M. ve Sürmen, A., 1992, İçten yanmalı motorlar cilt I, *Daym Matbası*, Ankara p.
- Büyükhelvacıgil, T., 2017, Yağlı tohumlu bitkiler ve bitkisel yağ sektörü, *BYSD 38. Olağan Genel Kurulu*, İstanbul
- Certel, M., Karakaş, B. ve Uslu, M. K., 2007, Menengiç (*pistacia terebinthus* l.) meyvesinin (çitlembik) bileşimi, İşleme sırasında bileşim değişimi ve değerlendirilme olanaklarının geliştirilmesi, *Proje no: 106 O 830, TÜBİTAK-TOVAG*, Antalya.
- Cheenkachorn, K. ve Fungtammasan, B., 2009, Biodiesel as an additive for diesohol, *International Journal of Green Energy*, 6 (1), 57-72.
- Chen, H., Wang, J. X., Shuai, S. J. ve Chen, W. M., 2008, Study of oxygenated biomass fuel blends on a diesel engine, *Fuel*, 87 (15-16), 3462-3468.
- Çağran, F., 2007, ICP- OES ile menengiç ve ürünlerinde metal ve yarı metallerin tayini □, Yüksek Lisans *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* □, Ankara.
- Çanakci, M. ve Van Gerpen, J. H., 2003, Comparison of engine performance and emissions for petroleum diesel fuel, yellow grease biodiesel, and soybean oil biodiesel, *Transactions of the Asae*, 46 (4), 937-944.

- Demir, C., 2006, Biyodizel standartları ve analiz yöntemleri, *Biyoyakıt Dünyası*, 1, 48-49.
- Dizge, N., Keskinler, B., Keriş, Ü. D., Köseoğlu, D. Y. ve Tanrıseven, A., 2007, Noba prosesi ile yüksek asit değerine sahip soya yağından biyodizel üretimi *1. Ulusal Yağlı Tohumlu Bitkiler ve Biyodizel Sempozyumu* Samsun, 57-63.
- Doğru, B. ve Ejder, S. B., 2013, Bir dizel motorda etanol ve kanola biyodizeli kullanımı üzerine deneysel ve teorik bir araştırma *Mühendis ve Makina*, 54 (647), 30-46.
- Eliçin, A. K., 2011, Biyodizel yakıtla çalıştırılan küçük güçlü bir dizel motorun performans ve emisyonunu giriş hava basıncı etkisinin deneysel olarak araştırılması, Doktora Tezi, *Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Ençınar, J. M., Gonzalez, J. F. ve Rodriguez-Reinares, A., 2005, Biodiesel from used frying oil. Variables affecting the yields and characteristics of the biodiesel, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44 (15), 5491-5499.
- Erdoğan, D. ve Mohammed, A. A., 1997, Yakıt olarak kullanılan bazı bitkisel yağların dizel motor performansına etkileri, *Tarımsal Mekanizasyon 17. Ulusal Kongresi*, 886.
- Ergüder, C., 2011, Bölgesel kalkınmada kalkınma ajanslarının rolü; İzmir kalkınma ajansı örneği, *Altın nokta yayınevi*, İzmir, p.
- Erol, A., Kemanoglu, F., Ay, M. A. ve Uysal, B. Z., 2006 Değişik yağlardan elde edilen biyodizelin karşılaştırılması *Enerji Bitkileri ve Yeşil Yakıtlar Sempozyumu* Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bornova, İzmir s 83-94.
- Eryılmaz, T., 2009, Hardal yağı biyodizelinde farklı karışım oranlarının dizel motorlarda performansa etkisi, Doktora Tezi *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 130.
- Ferguson, C. R. ve Kirkpatrick, A. T., 2006, Internal combustion engines applied thermosciences *New York*, p.
- Geçgel, Ü. ve Arıcı, M., 2008, Çıtlık (*pistacia terebinthus* L.) çeşitlerinin bazı fizikokimyasal özellikleri ile yağ asitleri kompozisyonunun belirlenmesi, *Türkiye 10. Gıda Kongresi, 21-23 Mayıs* Erzurum, 301-304.
- Gökalp, B., 2005, Kullanılmış motor yağlarının iyileştirme yöntemleri, Yüksek Lisans Tezi *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli.
- Gökalp, B., Saraç, H. İ. ve Çelik, C., 2007, Yağ analiz programı ile aşınmaya bağlı hasar analizi, *8. Uluslar Arası Kırılma Konferansı*, İstanbul 651-664.
- Graboski, M. S. ve McCormick, R. L., 1998, Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines, *Progress in Energy and Combustion Science*, 24 (2), 125-164.

- Graboski, M. S., McCormick, R. L., Alleman, T. L. ve Herring, A. M., 2003, The effect of biodiesel composition on engine emissions from a DDC series 60 diesel engine, *National Renewable Energy Laboratory, Colorado Institute for Fuels and Engine Research*.
- Guido, C., Beatrice, C. ve Napolitano, P., 2013, Application of bioethanol/RME/diesel blend in a Euro5 automotive diesel engine: Potentiality of closed loop combustion control technology, *Applied Energy*, 102, 13-23.
- Hansen, A. C., Lyne, W. L. ve Zhang, Q., 2001, Ethanol- diesel blends: A step towards a bio-based fuel for diesel engines, *ASAE, paper no: 01-6048, Washington*.
- Haşimoğlu, C., 2005, Düşük ısı kayıplı bir dizel motorunda biyodizel kullanımının performans ve emisyon parametrelerine etkisi, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya*.
- Haşimoğlu, C., İçingür, Y. ve Özsert, İ., 2008, Turbo şarjlı bir dizel motorda yakıt olarak biyodizel kullanılmasının motor performans ve egzoz emisyonlarına etkisi *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23 (1), 207-213.
- Hatkar, D. N., Salunke, G. B. ve Lawande, V. R., 2015, The impact of biodiesel-diesel-ethanol as fuel on diesel engine, *SSRG International Journal of Mechanical Engineering*, 2 (5), 33-36.
- He, B. Q., Shuai, S. J., Wang, J. X. ve He, H., 2003, The effect of ethanol blended diesel fuels on emissions from a diesel engine, *Atmospheric Environment*, 37 (35), 4965-4971.
- Horuz, A., Korkmaz, A. ve Akınoğlu, G., 2015, Biyoyakıt bitkileri ve teknolojisi, *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 3 (2), 69-81.
- Hu, J. B., Du, Z. X., Li, C. X. ve Min, E., 2005, Study on the lubrication properties of biodiesel as fuel lubricity enhancers, *Fuel*, 84 (12-13), 1601-1606.
- İşler, A. ve Karaosmanoğlu, F., 2007, Yakıt alkolü: Mevcut durumu ve geleceği, *Biyoyakıtlar ve Biyoyakıt Teknolojileri Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Ankara, 123-132.
- Karaca, E. ve Aytaç, S., 2007, Yağ Bitkilerinde Yağ Asitleri Kompozisyonu Üzerine Etki Eden Faktörler *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, 22, 123-131.
- Karaosmanoğlu, F., Özgülsün, A. ve Bayraktar, L., 1995, Yağlama yağları, *Mühendis ve Makina*, 429, 26-31.
- Karaosmanoğlu, F., 2002, Türkiye için çevre dostu yenilenebilir bir yakıt adayı: biyomotorin, *Ekojenerasyon Dünyası - Kojenerasyon Dergisi (ICCI Özel Sayısı)*, 50-56.
- Kaya, F., 2012, Menengiç tohumlarından yağ ekstraksiyonu şartlarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ*.

- Kayahan, N. ve Aydın, C., 2014, Determination of some physical and mechanical properties of different wheat varieties grown in Konya, *12. Uluslararası Tarımsal Mekanizasyon - Enerji Tarımı Kongresi*, Nevşehir.
- Kerschbaum, S. ve Rinke, G., 2004, Measurement of the temperature dependent viscosity of biodiesel fuels, *Fuel*, 83 (3), 287-291.
- 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.
- Kılıç, E., 1998, Bazı motor yağlarının tarım traktörlerinde optimum kullanım süreleri üzerine bir araştırma, Doktora Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Tekirdağ.
- Kowalewicz, A., 2005, Eco-diesel engine fuelled with rapeseed oil methyl ester and ethanol. Part 1: Efficiency and emission, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D-Journal of Automobile Engineering*, 219 (D5), 715-723.
- Kutlar, O., Ergeneman, M., Arslan, H. ve Mutlu, M., 1998, Taşıt egzozundan kaynaklanan kirleticiler Birsen Yayınevi, *İstanbul*, p.
- Kwanchareon, P., Luengnaruemitchai, A. ve Jai-In, S., 2007, Solubility of a diesel-biodiesel-ethanol blend, its fuel properties, and its emission characteristics from diesel engine, *Fuel*, 86 (7-8), 1053-1061.
- Lu, X. C., Yang, J. G., Zhang, W. G. ve Huang, Z., 2004, Effect of cetane number improver on heat release rate and emissions of high speed diesel engine fueled with ethanol-diesel blend fuel, *Fuel*, 83 (14-15), 2013-2020.
- Lukas, M. ve Anderson, D. P., 1998, Laboratory used oil analysis methods, *Lubrication Engineering*, 54 (11), 19-23.
- Mofijur, M., Rasul, M. G., Hyde, J., Azad, A. K., Mamat, R. ve Bhuiya, M. M. K., 2016, Role of biofuel and their binary (diesel-biodiesel) and ternary (ethanol-biodiesel-diesel) blends on internal combustion engines emission reduction, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 53, 265-278.
- Mohsenin, N. N., 1970, Physical properties of plant and animal materials, Gordon and Breach Science Publishers, *New York*, p.
- Monyem, A., Çanakci, M. ve Van Gerpen, J. H., 2000, Investigation of biodiesel thermal stability under simulated in-use conditions, *Applied Engineering in Agriculture*, 16 (4), 373-378.
- Monyem, A., Van Gerpen, J. H. ve Çanakci, M., 2001, The effect of timing and oxidation on emissions from biodiesel-fueled engines, *Transactions of the Asae*, 44 (1), 35-42.

- Müjdeci, S., 2009, İçten yanmalı motorda ticari yağ katkı maddelerinin sürtünme, aşınma ve motor performansına etkilerinin deneysel olarak araştırılması, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Nas, S., Ünsal, M. ve Gökalp, H. Y., 1998, Bitkisel Yağ Teknolojisi, Pamukkale Üniversitesi Müh. Fak. Ders Kitapları, Yayın No:5, *Denizli*, p.
- Niyet, M., 2009, Dizel motorlarda biyodizel kullanımının motor aşınmasına olan etkilerinin İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kütahya.
- Oğuz, H. ve Ögüt, H., 2001, Tarım traktörlerinde bitkisel kökenli yağ ve yakıt kullanımı, *Selçuk Teknik Online Dergisi*, 2 (2), 1-15.
- Oğuz, H., 2004, Tarım kesiminde yaygın olarak kullanılan dizel motorlarında fındık yağı biyodizelinin yakıt olarak kullanım İmkanlarının İncelenmesi, Doktora Tezi *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 29.
- Oğuz, H. ve Ögüt, H., 2005, Çiftçi şartlarına uygun bir biyodizel üretim tesisinin tasarım ve imalatı *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 1, 21-27.
- Owen, K. a. C., T., 1995, Automotive fuels reference book, Society of Automotive Engineers Second Edition, p.
- Ögüt, H., 2006, Biyodizelin soğuk akış özellikleri, *Biyoyakıt Dünyası Dergisi*, 4, 6-7.
- Ögüt, H. ve Oğuz, H., 2006, Üçüncü milenyum yakıtı; biyodizel, 2. Baskı, *Nobel Yayınları*, Konya, p.
- Ögüt, H., 2007, Motor yakıtı olarak biyoyakıtlar, *Enerji Güvenliği, Enerji Tarımı, Küresel Isınma Açısından Biyoyakıtlar Sempozyumu*, Ankara.
- Ögüt, H. ve Oğuz, H., 2011, Konya'da tarıma dayalı yenilenebilir enerji kaynakları potansiyeli, *I. Konya Kent Sempozyumu*, Konya, 409-420.
- Özcanlı, M., Keskin, A. ve Aydın, K., 2011, Biodiesel production from terebinth (pistacia terebinthus) oil and its usage in diesel engine, *International Journal of Green Energy*, 8 (5), 518-528.
- Özcanlı, M., 2009, Development of biodiesel production processes and additives for improvement of diesel performance and emissions Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 117.
- Özçelik, A. E., 2011, Aspir biyodizelinin ve motorinle karışımlarının tek silindirli bir dizel motorda yağlama yağına etkilerinin belirlenmesi Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Özdemir, M., 2011, Bir dizel motorda biyodizel ve etanol kullanımının motor performansına ve emisyonlara etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.

- Özer, S., Vural, E. ve Özdalyan, B., 2011, Dizel motorlarında kanola yağı metil esteri - dizel yakıtı karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkileri, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED)*, 3, 9-18.
- Özer, S., 2015, Prina yağından fuzel yağı ile biyodizel üretimi ve dizel motor performans ve emisyonlarına etkisi, Doktora Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük.
- Özsezen, A. N., 2007, Atık palmiye yağından üretilen biyodizelin motor performans ve emisyon karakterleri üzerine etkisinin İncelenmesi, Doktora Tezi *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli.
- Özsezen, A. N., Canakci, M. ve Sayin, C., 2008, Effects of biodiesel from used frying palm oil on the performance, injection, and combustion characteristics of an indirect injection diesel engine, *Energy & Fuels*, 22 (2), 1297-1305.
- Özsezen, A. N. ve Çanakçı, M., 2009, Biyodizel ve karışımlarının kullanıldığı bir dizel motorda performans ve emisyon analizi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2 (15), 173-180.
- Pulkrabek, W. W., 2004, Engineering fundamentals of the Internal combustion engine, *USA*, p.
- Randazzo, M. L. ve Sodre, J. R., 2011, Exhaust emissions from a diesel powered vehicle fuelled by soybean biodiesel blends (B3-B20) with ethanol as an additive (B20E2-B20E5), *Fuel*, 90 (1), 98-103.
- Reşitoğlu, İ. A., 2010, Atık yağlardan üretilmiş biyodizelin dizel motor performans ve emisyonuna etkisinin deneysel olarak araştırılması, Yüksek Lisans Tezi *Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü* Mersin.
- Roy, M. M., Calder, J., Wang, W., Mangad, A. ve Diniz, F. C. M., 2016, Cold start idle emissions from a modern Tier-4 turbo-charged diesel engine fueled with diesel-biodiesel, diesel-biodiesel-ethanol, and diesel-biodiesel-diethyl ether blends, *Applied Energy*, 180, 52-65.
- Ryan, T. W., Dodge, L. G. ve Callahan, T. J., 1984, The effects of vegetable oil properties on injection and combustion in 2 different diesel-engines, *Journal of the American Oil Chemists Society*, 61 (10), 1610-1619.
- Saral, A., 1992, Termik motorlar 2. Baskı, *A. Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları Ders Kitabı*, Ankara, p. 61.
- Shahir, S. A., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Imran, A. ve Ashraful, A. M., 2015, Performance and emission assessment of diesel-biodiesel-ethanol/bioethanol blend as a fuel in diesel engines: a review, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 48, 62-78.
- Sidar, H., 2011, Menengiç tohumlarından yağ eldesi: sulu ekstraksiyona enzim ve yüzey aktif madde etkisi,, Yüksek Lisans Tezi *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

- Sugözü, İ., Aksoy, F. ve Baydır, Ş. A., 2009, Bir dizel motorunda ayçiçeği metil esteri kullanımının motor performans ve emisyonlarına etkisi, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6, 49-56.
- Şahin, S., 2013, Keten yağı biyodizelinin ve motorinle karışımlarının motor performansına ve egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya
- Tat, M. E. ve Van Gerpen, J. H., 2000, The specific gravity of biodiesel and its blends with diesel fuel, *Journal of the American Oil Chemists Society*, 77 (2), 115-119.
- Tat, M. E., Van Gerpen, J. H., Soylu, S., Canakci, M., Monyem, A. ve Wormley, S., 2000, The speed of sound and isentropic bulk modulus of biodiesel at 21 degrees C from atmospheric pressure to 35 MPa, *Journal of the American Oil Chemists Society*, 77 (3), 285-289.
- Tyson, S. K., 2001, Biodiesel handling and use guidelines, *National Renewable Energy Laboratory Report*, 1-17.
- Ulusoy, Y. ve Alibaş, K., 2002, Diesel motorlarda biodiesel kullanımının teknik ve ekonomik olarak incelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16, 37-50.
- Uslu, K., 2006, Diesel motorlarında farklı püskürtme avanslarında diesel yakıtı + etanol kullanımının performans ve emisyonlara etkisi, Yüksek lisans tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Usta, N., Can, Ö. ve Öztürk, E., 2005, Alternatif dizel motor yakıtı olarak biyodizel ve etanolün karşılaştırılması, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11 (3), 325-334.
- Van Gerpen, J. H., Peterson C. L. ve Goering C. E., 2007, Biodiesel: an alternative fuel for compression ignition engines, *American Society of Agricultural and Biological Engineers, Louisville, Kentucky, USA*, 1-22.
- Vijayan, N., 2014, Performance and emission characteristics of diesel engine fuelled with diesel-biodiesel-ethanol blends, *International Journal of Science and Research* 3(10), 2435-2452.
- Yağcıoğlu, A., 1999, Tarım Ürünleri Kurutma Tekniği, E. Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları, Yardımcı Ders Kitabı, *Bornova / İzmir* p.
- Yaşar, F., 2016, Yosun yağından biyodizel üretimi ve bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak kullanılması Doktora Tezi *Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Batman.
- Yavuz, H., Aksoy, F., Bayrakçeken, H. ve Baydır, Ş. A., 2008, Değişik bitkisel yağ metil esterlerinin üretilmesi, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin karşılaştırılması, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2, 23-30.
- Yıldız, G., 2013, Pıstacia Terebinthus (menengiç) meyve ekstraktlarının ve menengiç kahvesinin total fenolik ve flavonoid madde kompozisyonlarının ve antioksidan

etkilerinin karşılaştırılması, Bitirme Ödevi, *Erciyes Üniversitesi Eczacılık Fakültesi*, Kayseri.

Yılmaz, N. ve Sanchez, T. M., 2012, Analysis of operating a diesel engine on biodiesel-ethanol and biodiesel-methanol blends, *Energy*, 46 (1), 126-129.

Yılmaz, N., Vigil, F. M., Donaldson, A. B. ve Darabseh, T., 2014, Investigation of CI engine emissions in biodiesel-ethanol-diesel blends as a function of ethanol concentration, *Fuel*, 115, 790-793.

Yücesu, H. S., Altın, R. ve Çetinkaya, S., 2001, Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının deneysel İncelenmesi, *Turk J Engin Environ Sci*, 25, 39-49.

Zhang, Y., 2002, Design and economic assessment of biodiesel production from waste cooking oil, Master of Applied Science, *Ottawa Canada*, 29.

Zhu, L., Cheung, C. S., Zhang, W. G. ve Huang, Z., 2011, Combustion, performance and emission characteristics of a DI diesel engine fueled with ethanol-biodiesel blends, *Fuel*, 90 (5), 1743-1750.

EKLER**EK-1. M100 motor performansı ve egzoz – emisyon verileri**

deney yöntemi	Motor performans deneyi																
deney materyalleri	Biyotanol – menengiç biyodizeli – motorin																
deney tipi	M100 (Motorin)																
tekrar sayısı	Düzeltilmiş ortalama																
devir sayısı	min ⁻¹	2500	2400	2300	2200	2100	2000	1900	1800	1700	1600	1500	1400	1300	1200	1100	1000
motor momenti	Nm	13.90	20,22	35,15	43,89	45,75	47,00	51,02	52,06	53,81	54,19	53,87	54,56	55,91	56,90	56,06	54,63
efektif güç	kW	3.90	6.49	9.83	10.05	10.13	9.86	10.12	9.95	9.55	9.19	8.49	8.57	7.86	7.33	6.62	5.87
özgül yakıt sarfiyatı	g/kWh	460.98	454.97	417.38	408.23	391.64	384.02	371.68	356.17	373.86	352.34	329.12	306.54	325.37	342.91	338.93	340.60
Saatlik yakıt tüketimi	g/h	0.46	0.67	0.91	1.14	1.10	1.04	1.01	0.99	0.97	0.86	0.76	0.70	0.67	0.67	0.60	0.5
Egzoz - Emisyon																	
CO	% vol	0.03	0.07	0.52	0.78	0.77	0.73	0.71	0.65	0.63	0.64	0.69	0.84	1.11	1.54	2.4	3.69
CO ₂	% vol	1.66	1.68	2.03	1.82	2.16	2.39	2.4	2.33	2.01	2.03	2.12	3.11	3.61	4.85	6.1	7.97
HC	ppm	4	7	4	9	7	7	6	8	7	7	7	10	13	18	29	38
O ₂	% vol	17.54	17.1	16.76	17.6	16.39	16.45	16.52	16.3	16.14	16.13	16.13	14.98	12.76	10.06	5.54	2.24
SO ₂	ppm	3	7	13	33	35	33	29	28	24	22	31	39	52	74	106	116
NO _x	ppm	33	25	27	15	36	48	51	52	30	40	62	73	113	155	227	318

EK-2. E-B1-M1 motor performansı ve egzoz emisyon verileri

deneysel yöntem	Motor performans deneyi																
deneysel materyalleri	Biyometanol – menengiç biyodizeli – motorin																
deneysel tipi	% 2.5 biyometanol % 2.5 biyodizel % 95 motorin (E-B1-M1)																
tekrar sayısı	Düzeltilmiş ortalama																
devir sayısı	min ⁻¹	2500	2400	2300	2200	2100	2000	1900	1800	1700	1600	1500	1400	1300	1200	1100	1000
motor momenti	Nm	13.44	19.78	34.91	43.58	45.10	46.76	50.93	51.62	52.98	54.09	53.32	54.31	55.82	56.44	55.88	55.53
efektif güç	kW	3.81	6.63	9.99	10.01	10.07	9.93	10.00	9.98	9.61	9.28	8.71	8.27	7.75	7.21	6.56	5.85
özgül yakıt sarfiyatı	g/kWh	465.98	455.58	445.65	426.82	406.16	393.39	376.85	388.52	376.31	344.71	329.92	326.59	328.36	346.53	345.16	348.13
Saatlik yakıt tüketimi	g/h	0.49	0.92	1.24	1.19	1.14	1.09	1.02	1.01	1.00	0.89	0.80	0.75	0.71	0.69	0.63	0.57
Egzoz - Emisyon																	
CO	% vol	0.02	0.04	0.05	0.41	0.50	0.49	0.43	0.42	0.4	0.42	0.46	0.57	0.75	1.37	1.85	2.74
CO ₂	% vol	1.84	1.85	2.06	2.19	2.22	2.23	2.21	2.21	2.15	2.21	2.33	2.68	3.59	4.96	5.95	7.95
HC	ppm	8	5	4	6	10	9	8	9	7	8	9	13	15	26	29	41
O ₂	% vol	17.97	17.90	17.52	16.92	16.81	16.98	17.01	17.05	17.1	17.06	16.67	15.86	14.01	10.43	9.07	5.22
SO ₂	ppm	0	0	0	20	28	27	23	19	18	19	22	25	35	65	78	101
NO _x	ppm	17	25	35	34	40	41	55	55	60	62	87	108	147	192	277	385

EK-3. E-B2-M2 motor performansı ve egzoz emisyon verileri

deney yöntemi	Motor performans deneyi																
deney materyalleri	Biyoetanol – menengiç biyodizeli – motorin																
deney tipi	% 2.5 biyoetanol % 5 biyodizel % 92.5 motorin (E-B2-M2)																
tekrar sayısı	Düzeltilmiş ortalama																
devir sayısı	min ⁻¹	2500	2400	2300	2200	2100	2000	1900	1800	1700	1600	1500	1400	1300	1200	1100	1000
motor momenti	Nm	13.35	19.17	34.53	41.91	43.81	45.37	47.71	49.58	50.97	52.12	52.29	53.15	53.83	54.51	54.37	54.16
efektif güç	kW	3.53	5.71	9.34	9.62	9.63	9.49	9.51	9.33	9.09	8.73	8.24	7.79	7.75	6.86	6.27	5.71
özgül yakıt sarfıyatı	g/kWh	470.91	461.58	448.43	442.25	420.78	414.32	387.03	387.39	375.44	355.62	357.65	345.17	336.94	339.40	373.04	368.17
Saatlik yakıt tüketimi	g/h	0.64	0.91	1.16	1.18	1.13	1.09	1.02	1.00	0.96	0.86	0.82	0.75	0.71	0.67	0.65	0.58
Egzoz - Emisyon																	
CO	% vol	0.03	0.02	0.03	0.57	0.56	0.62	0.62	0.60	0.58	0.56	0.63	0.75	1.15	1.43	2.48	3.46
CO ₂	% vol	1.87	1.82	2.19	2.28	2.44	2.39	2.35	2.35	2.22	2.18	2.17	2.69	4.09	5.12	6.75	8.55
HC	ppm	7	7	5	6	9	8	6	9	8	8	9	14	13	21	29	43
O ₂	%vol	18.29	17.87	17.43	16.58	16.42	16.49	16.62	16.71	16.94	16.91	16.87	15.65	13.01	10.45	6.71	2.32
SO ₂	ppm	1	4	6	26	24	23	20	21	16	17	28	36	42	63	89	102
NO _x	ppm	39	36	36	30	42	40	47	49	53	56	67	98	139	194	282	391

EK-4. E-B3-M3 motor performansı ve egzoz emisyon verileri

deney yöntemi	Motor performans deneyi																
deney materyalleri	Biyometanol – menengiç biyodizeli – motorin																
deney tipi	% 2.5 biyometanol % 7.5 biyodizel % 90 motorin (E-B3-M3)																
tekrar sayısı	Düzeltilmiş ortalama																
devir sayısı	min ⁻¹	2500	2400	2300	2200	2100	2000	1900	1800	1700	1600	1500	1400	1300	1200	1100	1000
motor momenti	Nm	12.93	16.93	26.75	41.48	43.65	45.31	47.77	49.39	51.42	52.52	52.98	53.71	53.49	53.93	53.80	53.73
efektif güç	kW	3.46	5.26	7.43	9.61	9.62	9.60	9.58	9.47	9.26	8.89	8.41	8.00	7.54	7.06	6.45	5.80
özgül yakıt sarfıyatı	g/kWh	477.09	466.17	462.62	440.44	427.01	412.15	389.79	387.78	377.37	357.03	359.25	348.19	342.18	390.67	372.92	353.75
Saatlik yakıt tüketimi	g/h	0.65	0.68	1.05	1.26	1.14	1.10	1.04	1.02	0.98	0.88	0.84	0.77	0.72	0.76	0.66	0.57
Egzoz - Emisyon																	
CO	% vol	0.03	0.02	0.04	0.07	0.66	0.54	0.52	0.48	0.48	0.52	0.58	0.63	1.06	1.48	2.36	3.59
CO ₂	% vol	1.89	1.87	1.78	1.9	2.46	2.22	2.29	2.18	2.13	2.1	2.32	2.62	4.03	5.25	7.06	8.89
HC	ppm	7	9	6	7	8	8	9	8	5	8	10	12	18	20	28	41
O ₂	%vol	18.3	18.27	18.06	17.98	16.78	16.64	16.8	16.89	17.06	17.02	16.87	15.89	13.35	10.58	6.6	2.68
SO ₂	ppm	2	2	3	5	23	22	19	15	15	17	21	24	41	61	91	104
NO _x	ppm	25	19	15	19	45	41	50	55	60	66	72	106	159	203	310	417

EK-5. M100, E-B1-M1, E-B2-M2, E-B3-M3 yakıtlarının çalışma süresine bağlı olarak motor yağlama yağı içerisindeki Al, Fe, Pb, Cu, Cr element miktarları

YAKIT ÇEŞİTLERİ					
Aşınma elementleri	Çalışma süresi	M100 (ppb)	E-B1-M1 (ppb)	E-B2-M2 (ppb)	E-B3-M3 (ppb)
Alüminyum (Al)	20. h	3147.81	2792.66	2353.44	961.58
	40. h	3060.93	2948.72	2588.64	913.36
	60. h	3459.32	3285.45	2765.13	1005.54
	80. h	3857.70	3572.91	2982.25	1158.16
	100. h	4174.86	3827.65	3227.20	1306.78
	0. h (Temiz yağ)			1529.77	
Demir (Fe)	20. h	38088.06	41904.58	23177.38	20808.04
	40. h	37041.94	44749.97	22429.68	21719.81
	60. h	41741.64	43757.09	23760.63	23999.65
	80. h	50546.47	59982.01	27961.58	23140.08
	100. h	51983.76	67215.83	34089.58	30187.35
	0.h (Temiz yağ)			18984.4	
Kurşun (Pb)	20. h	1284.88	948.79	940.91	612.66
	40.h	1195.44	936.75	987.05	675.98
	60.h	1402.66	745.03	879.54	689.09
	80.h	1489.06	832.16	979.62	616.37
	100.h	1584.05	1274.90	1374.03	810.36
	0.h (Temiz yağ)			647.96	
Bakır (Cu)	20. h	5497.82	1436.64	1536.28	1458.80
	40. h	6193.84	1339.02	1576.59	1811.56
	60. h	5050.20	1490.36	1743.97	1976.00
	80. h	6579.55	1393.94	1845.01	1708.88
	100. h	6797.30	1878.96	2099.43	1738.60
	0. h (Temiz yağ)			2909.48	
Krom (Cr)	20. h	5009.61	5370.07	5452.19	4572.14
	40. h	5926.42	5614.76	5825.16	4919.46
	60. h	6075.83	5574.89	5927.10	4892.23
	80. h	6057.48	5345.96	6145.07	5320.77
	100. h	5777.12	5755.07	6234.69	5758.55
	0. h (Temiz yağ)			5747.15	

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : AYŞE BETÜL BALCI
Uyruğu : TC
Doğum Yeri ve Tarihi : KONYA / 15.03.1985
Telefon : 0 332 235 88 54
Faks : 0 332 235 88 54
e-mail : abetulbalci@hotmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Muhittin Güzel Kılınç Lisesi Meram / Konya	2002
Üniversite	: S. Ü. Ziraat Fakültesi Selçuklu / Konya	2006
Yüksek Lisans	: S. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Selçuklu / Konya	2009
Doktora	: S. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Selçuklu / Konya	2017

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2008 – devam ediyor	Arıkan Mühendislik Danışmanlık	Proje koordinatörü

UZMANLIK ALANI

Enerji, Alternatif Enerji Kaynakları, Biyoyakıtlar

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Balcı, A. B. ve Mengeş, H. O., 2010, Examination of Fuel Properties of Biodiesel Which Obtained From Terebinth Oil and Blending, *Journal of Agricultural Machinery Science*, 6 (1), 29-35.(yüksek lisans tezinden yapılmıştır)