T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAMSİ (*Engraulis encrasicolus)* YAĞINDAN ÜRETİLEN BİYODİZELİN BAZI ALKOLLER ve MOTORİNLE KARIŞIMLARININ MOTOR PERFORMANSI ve EMİSYON DEĞERLERİNE ETKİSİ

Abdullah KARABOĞA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği
Anabilim Dalı

Ağustos - 2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAMSİ (*Engraulis encrasicolus)* YAĞINDAN ÜRETİLEN BİYODİZELİN BAZI ALKOLLER ve MOTORİNLE KARIŞIMLARININ MOTOR PERFORMANSI ve EMİSYON DEĞERLERİNE ETKİSİ

Abdullah KARABOĞA

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

Danışman: Prof. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ

2019, 94 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ
Prof. Dr. Haydar HACISEFEROĞULLARI
Doç. Dr. Tanzer ERYILMAZ

Bu çalışmada, alternatif yakıt olarak atık hamsi yağından transesterifikasyon yöntemi ile üretilen hamsi yağı metil esteri (biyodizel), motorin ve alkollerle hacimsel olarak farklı oranlarda karıştırılmış ($M_{80}B_{20}$: %80 motorin + %20 biyodizel, $M_{75}B_{20}E_5$: %75 motorin + %20 biyodizel + %5 biyoetanol, $M_{70}B_{20}E_{10}$: %70 motorin + %20 biyodizel + %10 biyoetanol, $M_{65}B_{20}E_{15}$: %65 motorin + %20 biyodizel + %15 biyoetanol, $M_{75}B_{20}Bü_5$: %75 motorin + %20 biyodizel + %5 bütanol, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$: %70 motorin + %20 biyodizel + %10 bütanol ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$: %65 motorin + %20 biyodizel + %15 bütanol) ve elde edilen yakıtların (motorin + biyodizel ve motorin + biyodizel + alkol) yakıt özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca motorin ve yakıt karışımları dört zamanlı ve dört silindirli bir dizel motorda, motor performansı ve egzoz emisyon değerlerindeki değişimlerinin belirlenmesi için test edilmişlerdir. Araştırma sonucunda, motorin ile farklı yakıtların karışımlarından elde edilen yakıtların yakıt özellikleri, genellikle karşılaştırıldıkları biyodizel ve motorin standart değerleriyle uyum göstermiştir. Tüm yakıt ve karışımların yoğunluk değerleri 835.0 ile 895.1 kgm^{-3}, kinematik viskoziteleri 2.66 ile 4.55 mm^2s^{-1}, ısıl değerleri 39.72 ile 46.33 $MJkg^{-1}$, su içerikleri 17.88 ile 452.37 ppm, bulutlanma, SFTN ve akma noktaları sırasıyla -6.5 ile 8 ºC, -16 ile 7 ºC, -26 ile 6 ºC ve setan sayıları 44.14 ile 53.71 arasında belirlenmiştir. Motor performans değerlerinde, maksimum motor gücü ve motor torku ile minimum özgül yakıt tüketimi değerleri sırasıyla, 2200 min^{-1}'de 80.1 BG, 1300 min^{-1}'de 321.03 Nm ve 1400 min^{-1}'de 190.54 g/BGh değerleri ile M_{100} yakıtında görülmüştür. Emisyon değerlerinden O_2 %6.73 ile %19.89, NOx 81 ile 1279 ppm, CO_2 % 1.45 ile % 11.27 ve HC emisyonu ise 0 ile 38 ppm arasında belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyoetanol, Bütanol, Emisyon değerleri, Hamsi yağı metil esteri, Motor performansı, Motorin, Yakıt özellikleri

ABSTRACT

MS THESIS

THE EFFECT OF BIODIESEL PRODUCED FROM ANCHOVY (*Engraulis encrasicolus*) OIL WITH SOME ALCOHOLS AND MIXTURES ON ENGINE PERFORMANCE AND EMISSIONS

Abdullah KARABOĞA

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

Advisor: Prof. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ
2019, 94 Pages

Jury
Advisor Prof. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ
Prof. Dr. Haydar HACISEFEROĞULLARI
Assoc. Prof. Dr. Tanzer ERYILMAZ

In this study, an alternative fuel anchovy oil methyl ester (biodiesel) produced from waste anchovy oil by transesterification method was mixed with diesel oil and alcohols in different volumetric ratios ($M_{80}B_{20}$: %80 diesel + %20 biodiesel, $M_{75}B_{20}E_5$: %75 diesel + %20 biodiesel + %5 bioethanol, $M_{70}B_{20}E_{10}$: %70 diesel + %20 biodiesel + 10% bioethanol, $M_{65}B_{20}E_{15}$: 65% diesel + 20% biodiesel +% 15 bioethanol, $M_{75}B_{20}Bu_5$: 75% diesel + %20 biodiesel + %5 butanol, $M_{70}B_{20}Bu_{10}$: %70 diesel + %20 biodiesel + %10 butanol and $M_{65}B_{20}Bu_{15}$: %65 diesel + %20 biodiesel + %15 butanol) and were determined fuel properties of the obtained fuels. In addition, diesel and fuel mixtures were tested in a four-stroke and four-cylinder diesel engine to determine their changes in engine performance and exhaust emission values. As a result of the research, fuel properties of fuels obtained from mixtures of diesel and different fuels were generally in accordance with the biodiesel and diesel standard values in which were compared. Density values of all fuels and mixtures were 835.0 to 895.1 kgm^{-3}, kinematic viscosities 2.66 and 4.55 mm^2s^{-1}, thermal values 39.72 and 46.33 $MJkg^{-1}$, water contents 17.88 and 452.37 ppm, clouding, CFPP and pour points respectively, -6,5 to 8 ºC, -16 to 7 ºC, -26 to 6 ºC and cetane numbers were determined between 44.14 and 53.71. Engine performance values at maximum engine power and engine torque and minimum specific fuel consumption values, respectively, 2200 min^{-1} 80.1 BG, 1300 min^{-1} 321.03 Nm and 1400 min^{-1} 190.54 g/BGh has been observed in the values M_{100} fuel. Among the emission values was between, O_2 %6.73 and %19.89, NOx 81 and 1279 ppm, CO_2 %1.45 and %11.27 and HC emission 0 and 38 ppm.

Keywords: Bioethanol, Butanol, Emission values, Anchovy oil methyl ester, Motor Performance, Diesel, Fuel properties

ÖNSÖZ

Bu araştırmanın yüksek lisans tezi olarak planlanıp yürütülmesinde ve analiz sonuçlarının değerlendirilesinde daima yardımlarını gördüğüm danışman hocam Sayın Prof. Dr. Hakan Okyay MENGEŞ'e teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarımda bana yardımcı olan Tekniker Rahim KIYAR'a ve motor denemeleri sırasında daima yardımlarını gördüğüm Tarım Makineleri ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi Seda ŞAHİN'e, yağa ait analizleri gerçekleştiren Gıda Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi Nurhan USLU'ya teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım sırasında bana daima destek olan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Abdullah KARABOĞA

KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **x**

1.GİRİŞ **1**

1.1.Biyoyakıtlar 5

1.1.1. Sıvı biyoyakıtlar 6

1.1.1.1 Biyodizel 6

1.1.1.2. Bitkisel ve hayvansal yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi 10

1.1.1.3. Biyoetanol 13

1.1.1.4. Bütanol 15

1.1.2. Biyoyakıtların motorlarda kullanım imkanları 16

1.1.3. Biyoyakıtların yakıt özellikleri 18

1.1.3.1. Yoğunluk 18

1.1.3.2. Kalori değeri 18

1.1.3.3. Viskozite 19

1.1.3.4. Parlama noktası 19

1.1.3.5. Setan sayısı 19

1.1.3.6. Su içeriği 20

1.1.3.7. Soğuk akış özellikleri 20

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **21**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **36**

3.1. Materyal 36

3.1.1. Hamsi balığı ve yağı 36

3.1.2. Biyoetanol 37

3.1.3. Bütanol 37

3.1.4. Motorin 38

3.1.5. Hamsi yağından elde edilen biyodizelin üretiminde kullanılan kimyasallar 38

3.1.5.1. Metil alkol ve katalizör 38

3.1.6. Hamsi yağı metil esterinin üretilmesinde kullanılan pilot üretim tesisi 39

3.1.7. Yakıt analiz laboratuvarı 40
3.1.8. Yakıt ve karışımlarına ait fiziksel ve kimyasal özelliklerin belirlenmesinde kullanılan cihazlar 44
3.1.8.1. Laboratuvar tipi karıştırıcı 44
3.1.8.2. Kinematik viskozite ölçüm cihazı ve kronometre 44
3.1.8.3. Kalori ölçüm cihazı 46
3.1.8.4. Yoğunluk ölçüm cihazı 46
3.1.8.5. Setan sayısı ölçüm cihazı 47
3.1.8.6. Su içeriği ölçüm cihazı 48
3.1.8.7. Parlama noktası ölçüm cihazı 48
3.1.8.8. Soğuk filtre tıkanma noktası ölçüm cihazı 49
3.1.8.9. Bulutlanma ve akma noktası tayin cihazı 50
3.1.8.10. Bakır şerit korozyon test cihazı 51
3.1.8.11. Hassas terazi 51
3.1.9. Motor ve test düzeneği 52
3.1.9.1. Motor 52
3.1.9.2. Hidrolik dinamometre 53
3.1.9.3. Magnetic pick-up 54
3.1.9.4. S tipi loadcell 54
3.1.9.5. Kütlesel ölçüm cihazı 55
3.1.9.6. Dinamometre kontrol ünitesi 56
3.1.9.7. Egzoz emisyonları ölçümü 57
3.2. Yöntem 58
3.2.1. Hamsi yağının filtre edilmesi 58
3.2.2. Hamsi yağından biyodizel üretimi 58
3.2.3. Biyodizel, biyoetanol, bütanol ve motorin karışımlarının hazırlanması 60
3.2.4. Yakıt ve karışımlarına ait yakıt özelliklerinin belirlenmesi 61
3.2.4.1. Yoğunluk 61
3.2.4.2. Kinematik viskozite 62
3.2.4.3. Kalori değeri 62
3.2.4.4. Su içeriği 62
3.2.4.5. Soğuk filtre tıkanma noktası 63
3.2.4.6. Bulutlanma noktası 63
3.2.4.7. Akma noktası 63
3.2.4.8. Setan sayısı 64
3.2.5. Hamsi yağına ait bazı kimyasal özelliklerin belirlenmesi 64

3.2.5.1. Serbest yağ asitleri 64
3.2.5.2. Peroksit sayısı 64

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA 66

4.1. Hamsi Yağına Ait Bazı Kimyasal Özellikler 66
4.2. Yakıt Özellikleri 66
4.2.1. Yoğunluk 66
4.2.2. Kinematik viskozite 67
4.2.3. Isıl değerler 68
4.2.4. Parlama noktası 68
4.2.6. Bulutlanma noktası, soğuk filitre tıkanma noktası (SFTN) ve akma noktası 70
4.2.7. Setan sayısı ölçüm sonuçları 71
4.2.8. Bakır şerit korozyon testi sonuçları 72
4.3. Motor Performansı ve Egzoz Emisyon Sonuçları 74
4.3.1. Performans deneyleri sonuçları 74
4.3.1.1. Efektif motor gücü değerlerinin değişimi 74
4.3.1.2. Motor momenti değerlerinin değişimi 75
4.3.1.3. Yakıt tüketimi değerlerinin değişimi 77
4.3.2. Egzoz emisyon deneyleri sonuçları 79
4.3.2.1. Oksijen (O_2) sonuçlarının karşılaştırılması 79
4.3.2.2 Azotoksit (NO_x) sonuçlarının karşılaştırılması 81
4.3.2.3. Karbondinoksit (CO_2) sonuçlarının karşılaştırılması 82
4.3.2.4. Hidrokarbon (HC) sonuçlarının karşılaştırılması 83

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 85

5.1 Sonuçlar 85
5.2 Öneriler 88

ÖZGEÇMİŞ 94

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

CO	: Karbonmonoksit
CO_2	: Karbondioksit
HC	: Hidrokarbon
NO_X	: Azotoksit ve türevleri
O_2	: Oksijen
SO_2	: Kükürtdioksit
NaOH	: Sodyum Hidroksit

Kısaltmalar

AB	: Avrupa Birliği
DIN	: Deutsches Institut für Normung
FAO	: Food and Agriculture Organization
ISO	: International Organization for Standardization
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TC	: Technical Committee
PLC	: Programlanabilir Lojik Kontrol Cihazı
TÜMOSAN	: Türkiye Motor Sanayi
PM	: Partiküler Madde
SFTN	: Soğuk Filtre Tıkanma Noktası
HYME	: Hamsi Yağı Metil Esteri
B_{100}	: %100 Biyodizel
M_{100}	: %100 Motorin
$M_{80}B_{20}$	: %80 Motorin + %20 Biyodizel
$M_{75}B20E_5$	: %75 Motorin + %20 Biyodizel + %5 Etanol
$M_{70}B20E_{10}$	: %70 Motorin + %20 Biyodizel + %10 Etanol
$M_{65}B_{20}E_{15}$	: %65 Motorin + %20 Biyodizel + %15 Etanol
$M_{75}B_{20}Bü_5$	: %75 Motorin + %20 Biyodizel + %5 Bütanol
$M_{70}B_{20}Bü_{10}$	: %70 Motorin + %20 Biyodizel + %10 Bütanol
$M_{65}B_{20}Bü_{15}$	: %65 Motorin + %20 Biyodizel + %15 Bütanol

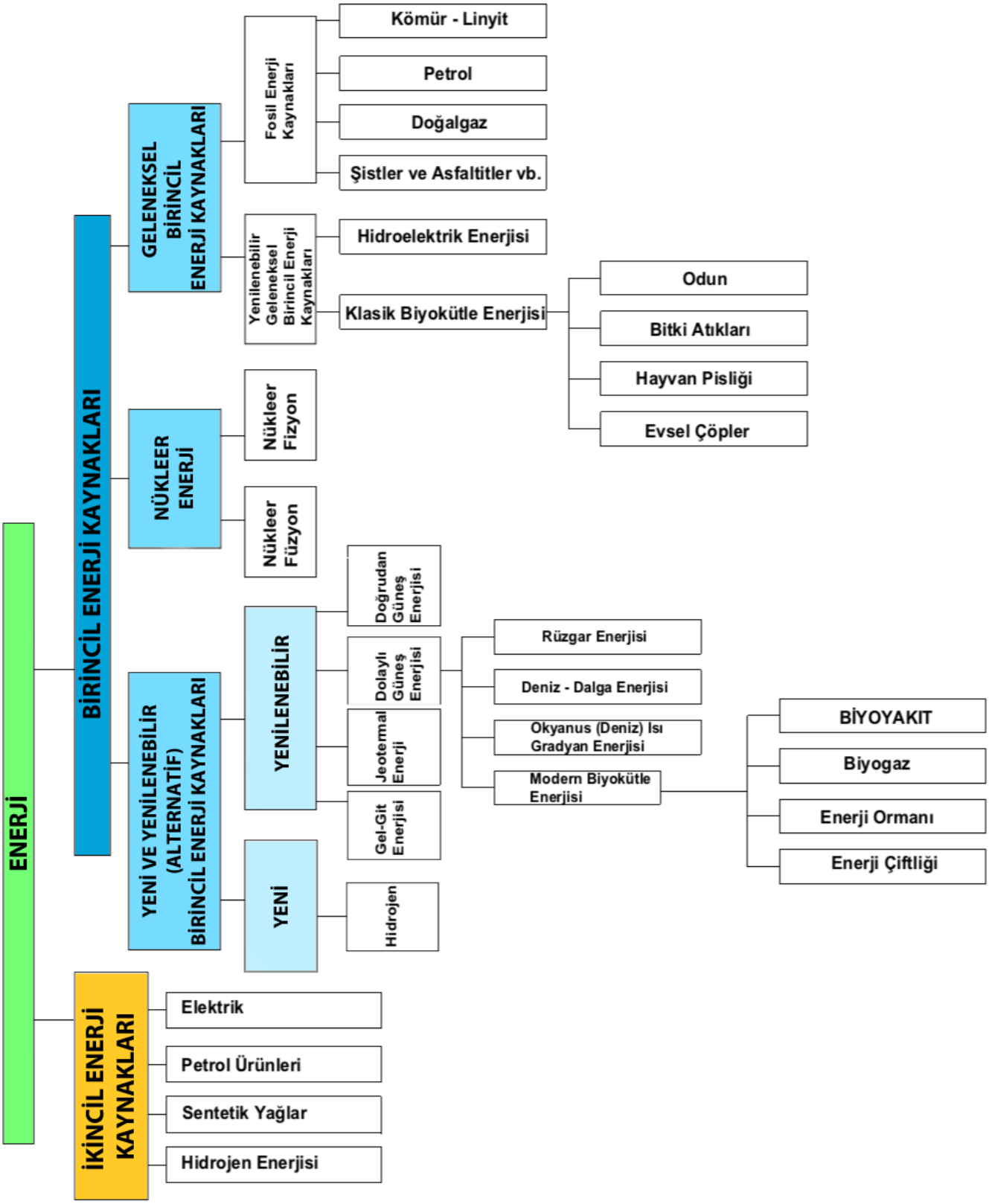
1.GİRİŞ

Enerji, çağımızın önemli tüketim unsurlarının başında gelmekte ve uygarlığın temel yapı taşlarından birini oluşturmaktadır. Dünya nüfusunun artmasına bağlı olarak sanayileşme faaliyetleri ve dolayısıyla enerjiye olan talep giderek artmaktadır. Ülkelerin gelişmişlik düzeyiyle paralel olarak enerji kullanımı ve enerjiye olan talebin artmasıyla ihtiyaç duyulan enerjiyi karşılamak adına yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelim de giderek hız kazanmıştır. Gelecekte ise bu yönelimin artarak devam edeceği öngörülmektedir (Anonymous, 2012a).

Yenilenebilir enerji kaynakları, doğada herhangi bir üretim sürecine ihtiyaç duyulmadan üretilebilen, fosil kaynaklı (kömür, petrol ve karbon türevi) olmayan, bu nedenle çevreye zararı ve etkisi, yenilenemeyen enerji kaynaklarına göre çok daha az olan, sürdürülebilir nitelikli ve kullanılmaya hazır olarak doğada var olan enerji olarak tanımlanmaktadır (Anonymous, 2012a). Şekil 1.1'de enerji kaynaklarının sınflandırılması verilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidrolik enerji, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi ve dalga enerjisi olarak sıralanabilmektedir.

Fosil enerji kaynaklarını esas alan enerji kullanımı ile özellikle dünyadaki fosil yakıt rezervleri hızla tükenmekte, bunun yanında ülkelerde fosil yakıt konusunda dışa bağımlılık, yüksek ithalat giderleri ve çevre sorunları gibi önemli olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır (Kumbur ve ark., 2005).

Bu bağlamda dünyada enerji üretiminde fosil kaynak kullanımına devam edebilme imkanının kalmadığı kabul edilmesi gereken bir gerçektir. Günümüzde, sanayide görülen büyük gelişmeler neticesinde kullanımı giderek artan fosil enerji kaynaklarının, kalkınma ve sanayileşme yolunda verdiği büyük zararlar, önceleri göz ardı edilmesine karşın günümüzde bu enerji kaynaklarının yerine çevremizin kendi doğal ürünü olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması gerçeği her geçen gün daha da iyi anlaşılmaktadır. Bu nedenle tüm dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına, hem teknolojik araştırmalar, hem de bu kaynaklardan üretilen enerjilerin kullanılması bakımından ilgi artmıştır (Anonymous, 2012a).



Şekil 1.1. Kaynaklarına göre enerjinin dağılımı (Anonymous, 2006; Eryılmaz, 2009)

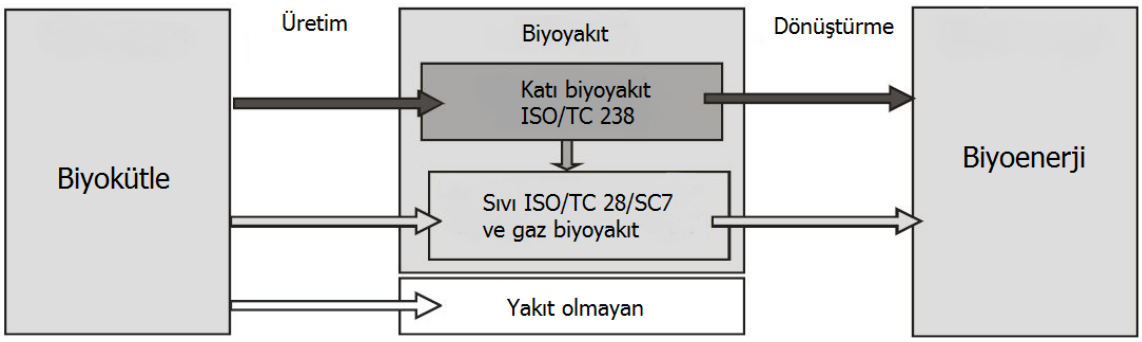
Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıyla (Anonymous, 2012a):

- İthal edilen yakıtlara olan bağımlılık azalacak,
- Yerli öz 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 sektörleri olumlu yönde etkileyecek ve yatırım yapmalarını teşvik edecek,
- Üretimde ve tüketimde sağlanan güven ortamı ile istikrar artacak,
- Sosyal ekonomik hayatta refah sağlanacaktır.

Günümüzde modern biyokütle enerjisi (biyoenerji) enerji kaynakları içerisinde önemli bir yer teşkil etmektedir. Biyokütle, biyolojik kökenli fosil olmayan organik bir madde kütlesidir. Ana bileşenleri karbonhidrat bileşikleri olan bitkisel ve hayvansal kökenli tüm doğal maddeler biyokütle enerji kaynağı, bu kaynaklardan elde edilen enerji ise biyokütle enerjisi olarak tanımlanmaktadır (Acaroğlu, 2003).
Biyokütlenin avantajları şu şekilde sıralanabilir (Anonymous, 2019a):

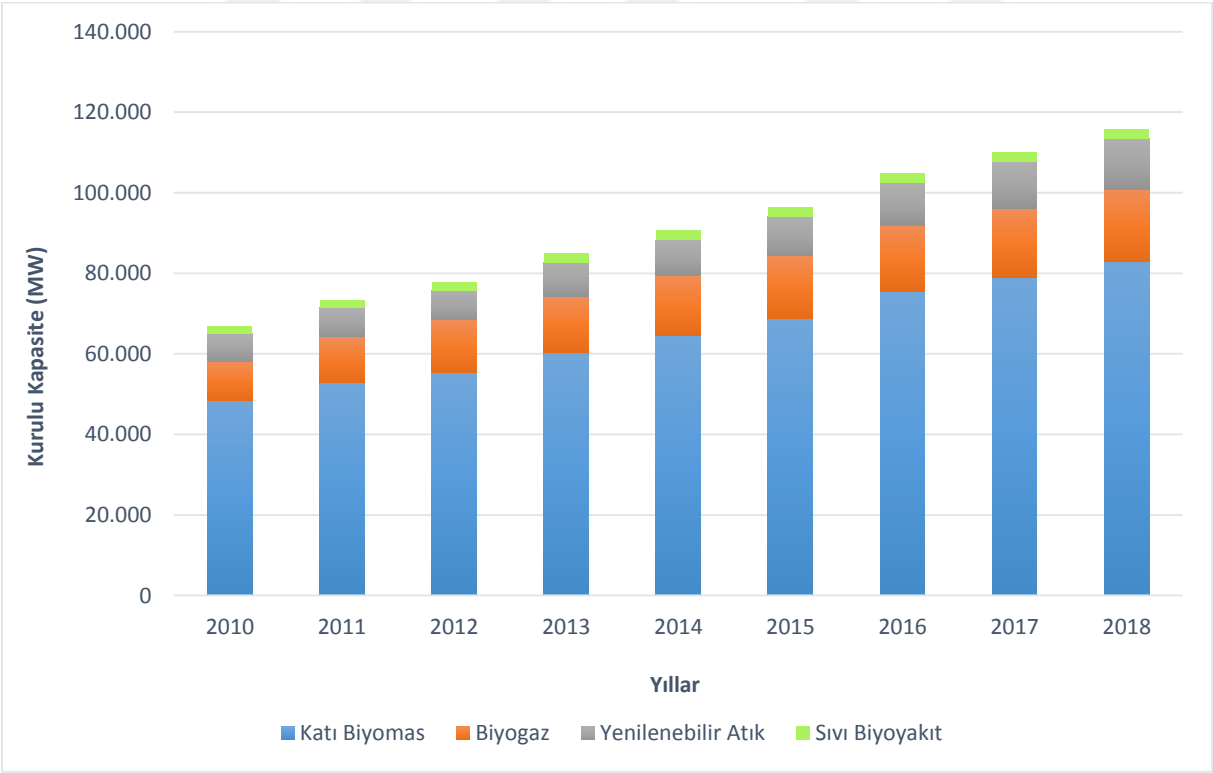
- Bir çok yerde yetiştirilebilmesi,
- Günümüzde üretim ve çevrim teknolojilerinin iyi bilinmesi,
- Her ölçekte enerji verimliliği için uygun olması,
- Düşük ışık şiddetlerinin yeterli olması,
- Depolanabilir olması,
- 5-35 °C arasında sıcaklık gerektirmesi,
- Sosyo-ekonomik gelişmelerde önemli olması,
- Çevre kirliliği, sera etkisi ve asit yağmurlarına yol açmaması

Biyokütleden katı, sıvı ve gaz olarak biyoenerji üretilebilmektedir. Bu yakıtların sınıflandırılması ISO/TC (International Organization for Standardization/Technical Committee) tarafından yapılmıştır. Katı biyoyakıtlar ISO/TC 238 olarak tanımlanırken, sıvı biyoyakıtlar ISO/TC 28/SC7'de tanımlanmıştır. Ülkemizde ise katı biyoyakıtların yakıt özellikleri ve sınıfları TS EN ISO 17225-1 standartlarına göre değerlendirilmektedir. Şekil 1.2'de biyoyakıt ve biyoenerji arasındaki etkileşim gösterilmiştir (Sözen ve ark., 2017).



Şekil 1.2. Biyokütle, biyoyakıt ve biyoenerji arasındaki etkileşim (Sözen ve ark., 2017)

Dünya üzerindeki toplam biyoenerji kurulu kapasitesi incelendiğinde yıllar geçtikçe bu kapasitenin sürekli bir artış gösterdiği görülmektedir. 2010 yılında dünyada toplam biyoenerji kurulu kapasitesi 66.926 MW iken, 2018 yılında bu değer 115.731 MW'a ulaşmıştır. Biyoenerji çeşitlerinden biri olan sıvı biyoyakıt kurulu kapasitesi ise 2010 yılında 1.856 MW iken, 2018 yılına gelindiğinde bu değerin %26'lık bir artışla 2.352 MW seviyesine ulaştığı görülmektedir. Şekil 1.3'de 2010 ile 2018 yılları arasında dünyada var olan biyoenerji kurulu kapasitesindeki gelişim gösterilmiştir (Anonymous, 2019b).



Şekil 1.3. Dünya üzerinde kurulu biyoenerji kapasitesi (Anonymous, 2019b)

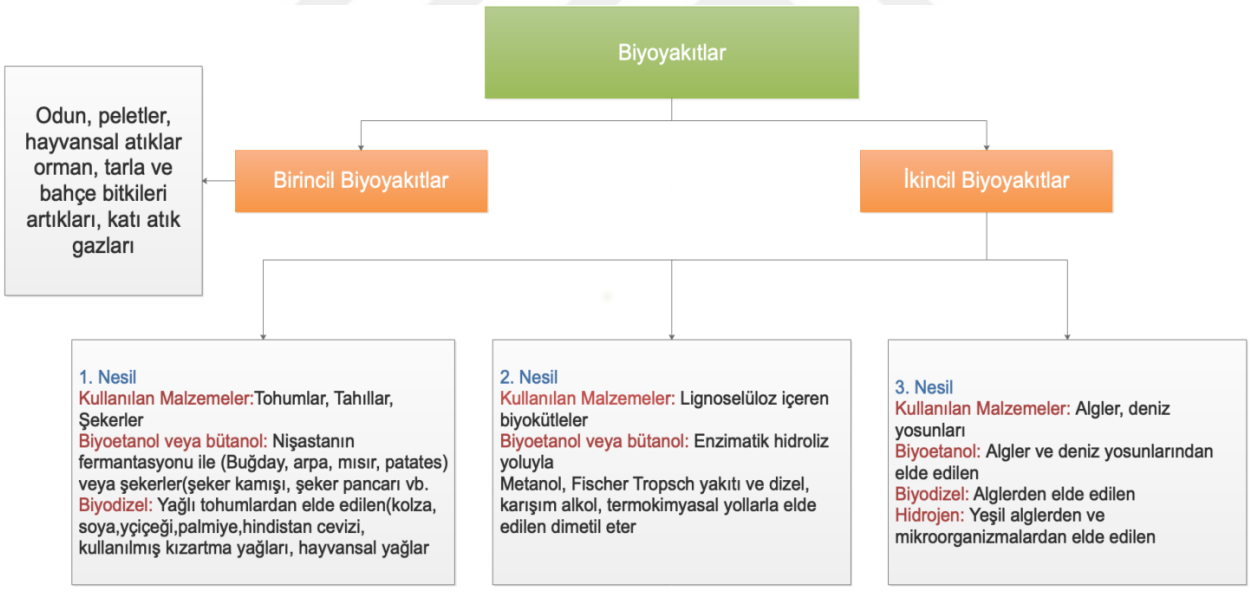
1.1. Biyoyakıtlar

Biyoyakıtlar, yaygın olarak tarımsal biyokütleden değişik yöntemlerle üretilen, özellikleri standartlaştırılmış ve ticari özelliği olan katı, sıvı ya da gaz haldeki yakıtlardır (Öğüt, 2007).

Biyoyakıtlar kaynaklarına ve tiplerine göre, birincil (işlenmemiş) ve ikincil (işlenmiş) biyoyakıtlar olarak iki temel sınıfa ayrılmaktadır (Bengisu, 2014). Bunlar:

- Birincil Biyoyakıtlar, işlenmemiş olarak doğal halleri ile yakacak odun, odun talaşı ve parçaları ile hasat sonrası kullanılan organik materyallerden,
- İkincil Biyoyakıtlar, farklı teknolojiler kullanılarak üretilen katı (biyokömür, biyobiriket veya biyopelet), sıvı (biyodizel, biyoetonal, bütanol, biyometanol, biyo-oil) ve gaz (biyogaz, biyosentez gazı, biyohidrojen) yakıtlarından oluşmaktadır.

Şekil 1.4'de biyoyakıtların sınıflandırılması şematik olarak verilmiştir.



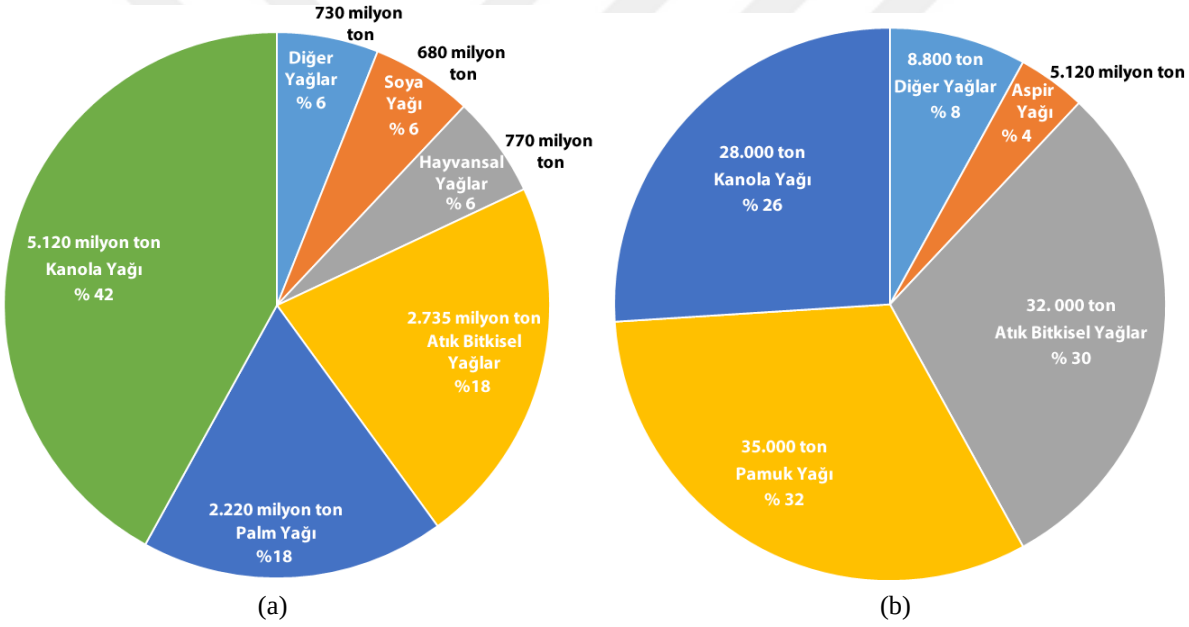
Şekil 1.4. Biyoyakıtların sınıflandırılması (Nigam ve Singh, 2011)

1.1.1. Sıvı biyoyakıtlar

1.1.1.1 Biyodizel

Biyodizel, bitkisel yağların yeni veya kullanılmış olanlarından ve hayvansal yağlardan kimyasal yollarla üretilen biyoyakıtlar kapsamına dahil, yenilenebilir nitelikte çevre dostu sıvı bir yakıttır. Uygulamada biyomotorin, yeşil dizel ve halk tabiriyle yağ mazotu gibi farklı isimlerle de anılmaktadır (Öğüt ve Oğuz, 2006).

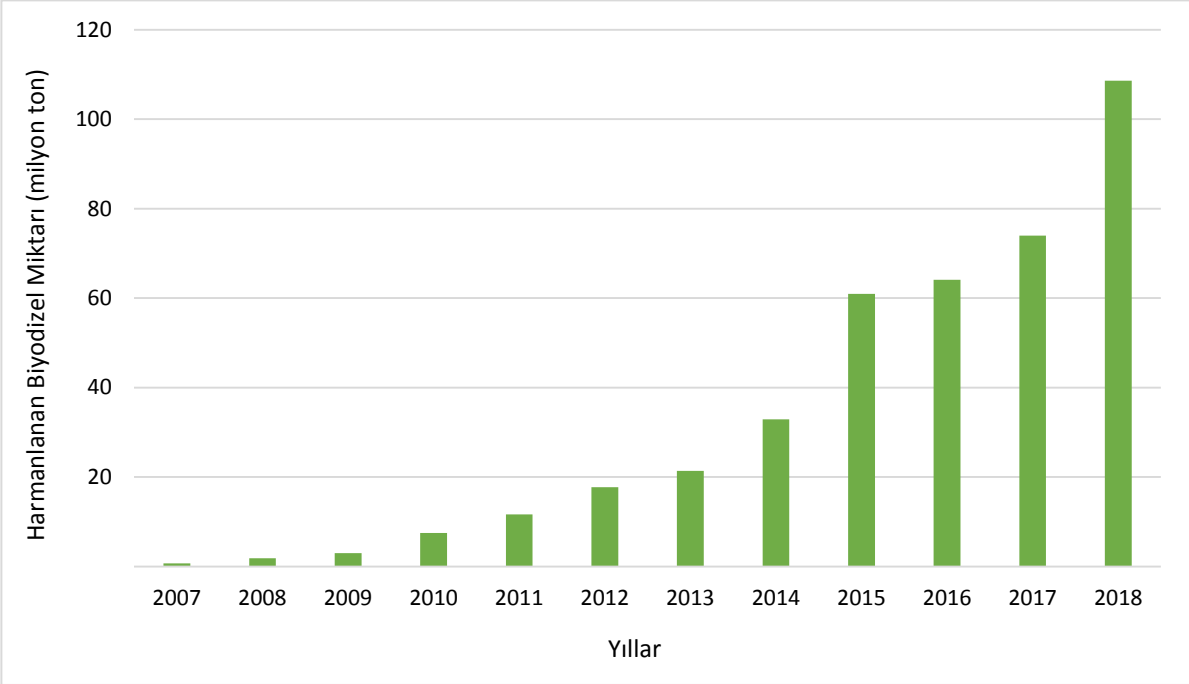
Şekil 1.5'de 2018 yılında AB ülkelerinde ve Türkiye'de biyodizelin elde edildiği hammaddelerin çeşitleri, miktarları ile bu hammaddelerin tüm üretim içerisindeki yüzde oranları verilmiştir (Borovalı, 2019).



Şekil 1.5. AB ülkelerinde (a) ve Türkiye'de (b) biyodizel üretiminde kullanılan hammaddeler ve kullanım oranları (%) (Borovalı, 2019)

Biyodizel saf olarak kullanılabileceği gibi petrolden elde edilen motorin yakıtıyla karıştırılarak da kullanılabilmektedir. 2017 yılı Haziran ayında Resmi Gazetede yayınlanan 30098 sayılı tebliğ ile ithal edilen ve kara tankeri dolum 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 zorunluluğu getirilmiştir (Anonymous, 2019e).

Şekil 1.6'daTürkiye'de 2007 ile 2018 yılları arasında motorine harmanlanan biyodizel miktarları verilmiştir (Borovalı, 2019).



Şekil 1.6. Türkiye'de 2007 ile 2018 yılları arasında motorine harmanlanan biyodizel miktarları (Borovalı, 2019)

Şekil incelendiğinde 2007 yılında harmanlanan biyodizel miktarı 666 bin ton olarak gerçekleşirken 2018 yılına gelindiğinde harmanlanan biyodizel miktarı 108 milyon 609 bin tona ulaştığı görülmektedir.

Biyodizel elde edilmesi için ham bitkisel yağlar, lokanta ve yemek fabrikaları atık yağları, bozulmuş, acılaşmış yağlar ve mezbaha atıkları olan hayvansal yağlar kullanılabilmektedir (Anonymous, 2011).

Hayvansal yağlar; balık yağları, domuz yağı, tavuk yağları ve hayvanlara ait iç yağlardan elde edilmekte, ayrıca iç yağ, koyun, sığır veya diğer büyükbaş hayvan yağları işlenerek kullanılabilir hale getirilebilmektedir. Bu yağlar, pişirme amaçlı işlerde, hayvan yemi ve kuşyemi olarak, sabun ve mum yapımında kullanıldığı gibi, aynı zamanda biyodizel ve diğer oleokimyasalların üretiminde de hammadde olarak kulanılabilmektedir (Altun ve Öner, 2010).

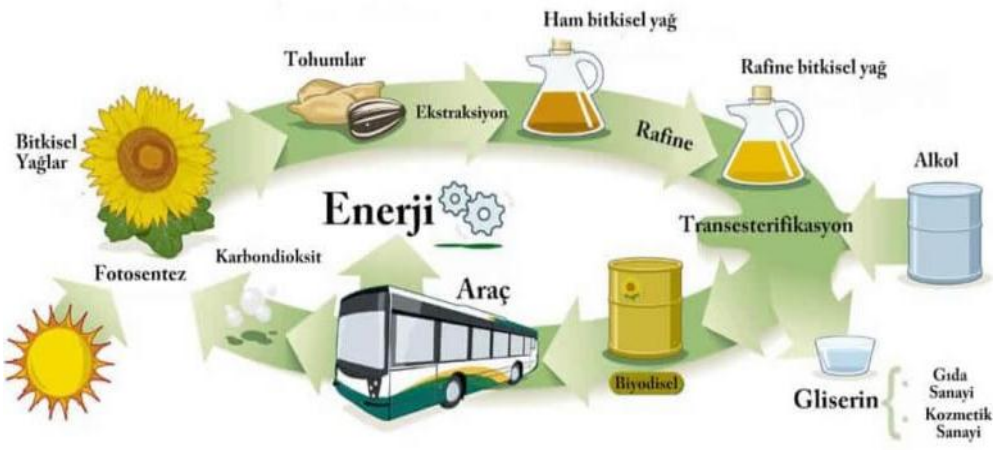
Biyodizel, motorlarda saf olarak kullanılabileceği gibi motorinle karışımlı olarak da kullanılabilmektedir. Karışım oranındaki miktara göre yakıt çeşitleri;

- 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 (Eryılmaz, 2009)

1.1.1.1.1. Biyodizelin avantajları ve dezavantajları

Biyodizelin çevresel anlamda pozitif etkisi ve motorlarda kullanımının avantajları şu şekilde değerlendirilebilmektedir (Anonymous, 2019c):

- Biyodizel, yenilenebilir tarımsal biyokütleden elde edildiği için fotosentez yoluyla karbondioksiti (CO_2) dönüştürüp karbon döngüsünü hızlandırması nedeniyle sera etkisini artırıcı nitelik taşımamaktadır. Kullanılan biyodizelden kaynaklanan karbondioksit emisyonları, kullanılan yağ bitkisi tarafından en fazla bir yıl içerisinde geri alınabilmektedir. Bu çerçevede değerlendirildiğinde biyodizel, fosil yakıtlardan kaynaklanan ve geri alınamayan CO_2 emisyonlarının yol açtığı sera gazı etkisinin en aza indirgenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Şekil 1.7'de biyodizel döngüsü görülmektedir.



Şekil 1.7. Biyodizel döngüsü (Anonymous, 2019c)

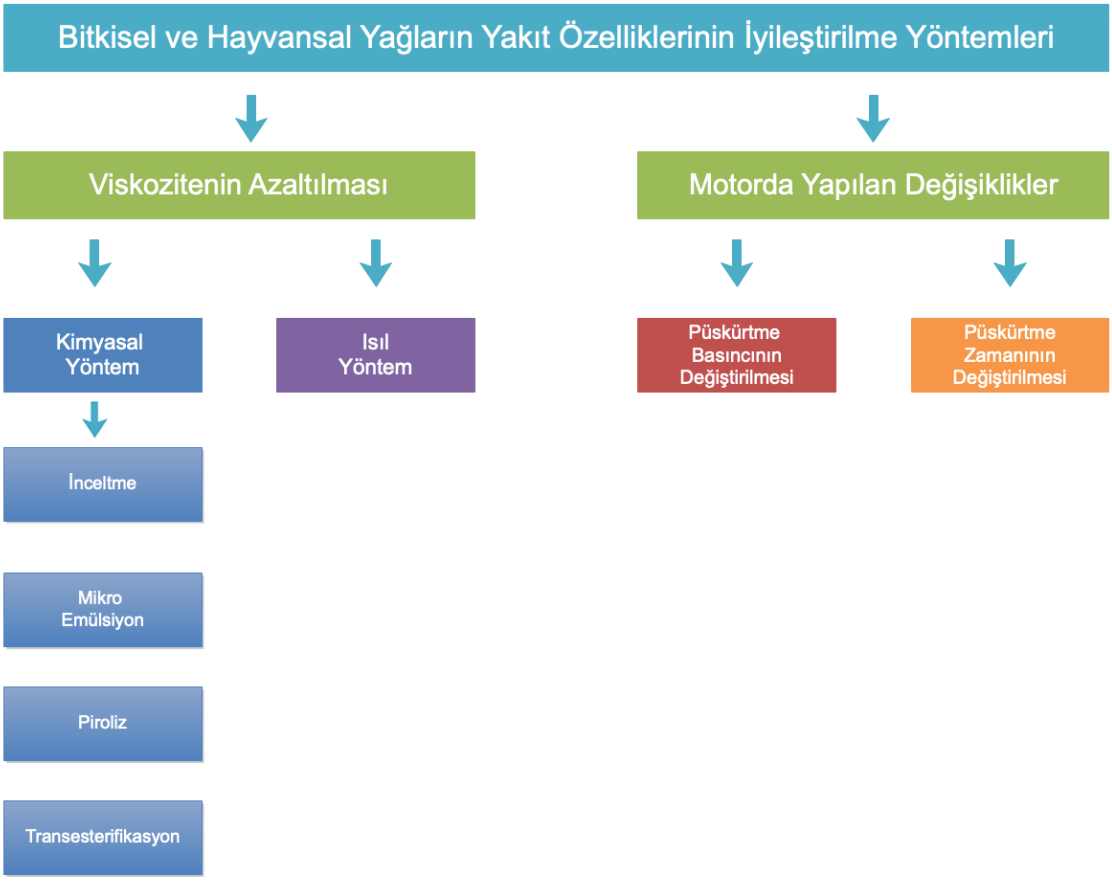
- Yenilenebilir kaynaklar dışında kullanılmış/atık hayvansal ve bitkisel yağlardan üretilebilmektedir.
- Stratejik önem arz etmektedir.
- Transesterifikasyon yöntemi ile elde edilen gliserin, kozmetik ve gıda sanayisinde kullanılabilmektedir.
- Biyolojik orijinli olduğu için doğada daha hızlı ve kolay bir şekilde çözünebilmektedir.
- Biyodizel toksik değildir.
- İçeriğinde kanserojen madde yoktur.
- Kükürt içermediğinden dolayı kükürtdioksit (SO_2) emisyonu oluşturmamaktadır.
- Alevlenme noktası yüksek olduğu için güvenle depolanabilmektedir. Bu durum taşımacılık açısından önemli bir avantajdır.
- Motorda kullanımında genel olarak emisyon değerlerini düşürmektedir.
- Yağlayıcılık özelliği ile motor ömrünü uzatmaktadır.
- Mevcut fosil yakıt ile belirli karışım oranlarında kullanıldığında motor üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmasına gerek yoktur.
- Motorların yanı sıra, ısıtma sistemleri ve jeneratörlerde de kullanılabilmektedir.

Biyodizelin çevresel etkisi ve motorlarda kullanımında bir çok avantajın yanı sıra dezavantajları da vardır. Bu dezavantajlar şu şekilde sıralanmaktadır (Öğüt ve Oğuz, 2006; Balcı, 2017; Anonymous, 2019c):

- Motorin ile karşılaştırıldığında biyodizelin ısıl değeri daha düşüktür. Bu da motordan alınan performans değerlerinde bir miktar azalmaya neden olmaktadır.
- Isıl değer farkından dolayı yakıt tüketimi daha fazla olmaktadır.
- Azotoksit (NOx) değerleri genelde motorine göre daha yüksektir.
- Soğuk iklim bölgelerinde kullanım olanakları motorin ile karşılaştırıldığında daha elverişsizdir. Bu durum soğuk hava şartlarında biyodizel kullanımını sınırlamaktadır. Bu olumsuzluk mevcut yakıt ile B20 formu karışım yakıtı kullanılarak ya da soğuk akış özelliklerini iyileştirici yakıt kullanılarak aşılabilmektedir.
- Herhangi bir yakıt ile karıştırmadan saf B100 kullanımı yakıt sistemi elemanları üzerinde tahribata neden olmaktadır.
- Biyodizel üretiminde kullanılan hammadde kaynağının tarımsal ürünlerden olması gıda güvenliğini tehdit etmektedir.

1.1.1.2. Bitkisel ve hayvansal yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi

Bitkisel ve hayvansal yağların viskozitelerinin iyileştirilmesinde kullanılan yöntemler Şekil 1.8'de verilmiştir.



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

Viskoziteyi azaltma yöntemleri içerisinde kısa reaksiyon süresi ve yüksek verim nedeniyle transesterifikasyon yöntemi hali hazırda kullanılan en etkili yöntemdir. Transesterifikasyon, yağların bir katalizör vasıtasıyla alkolle reaksiyona sokularak yeniden esterleştirilmesi işlemidir (Öğüt ve Oğuz, 2006).

Transesterifikasyon yöntemiyle gerçekleştirilen biyodizel üretim prosesi aşamaları aşağıda kısaca açıklanmıştır (Anonymous, 2019c):

- **Metoksit çözeltisinin oluşturulması**; bu aşamada katalizör olarak sodyum hidroksit ya da potasyum hidroksit kullanılmakta ve kullanılan katalizörün, metanol içerisinde karıştırılarak tamamen çözülmesi sağlanmakta ve sonuçta metoksit oluşturulmaktadır.

- **Reaksiyon;** ikinci aşamada yağ ve metoksit çözeltisi, reaksiyonun gerçekleşeceği tanka boşaltılmaktadır. Bu aşamada metoksit içerisinde kullanılan alkolün buharlaşmaması için tankın kapağı hava giriş-çıkışı olmayacak şekilde kapalı olmalıdır. Reaksiyonun tamamlanabilmesi için belirli sıcaklıkta farklı karıştırma yöntemleri kullanılmaktadır. Üretim koşularına bağlı olmakla birlikte 55-65 °C arası sıcaklık ve 1-2.5 saat arası karışım süresi uygun görülmektedir. Kullanılan farklı ekipmanlar yardımıyla reaksiyon süresi kısaltılabilmektedir.
- **Dinlendirme;** ikinci aşamanın tamamlanması ile birlikte gliserol ve biyodizel olmak üzere iki ana ürün ortaya çıkmaktadır. Bu iki ana ürünün birbirinden ayrılması için kullanılan hammaddenin cinsine göre 6 - 10 saat veya daha fazla süre beklenmektedir.
- **Biyodizel ve gliserol ayrışması;** dinlendirme işleminden sonra yoğunluk farkından dolayı tankta dibe çöken gliserol kolayca alınabilmektedir. Modern sistemlerde dinlendirme süreci olmadan biyodizel ve gliserolün ayırıcı (seperatör) yardımıyla ayrıştırılması mümkündür.
- **Alkolün uzaklaştırılması;** biyodizel içerisindeki metanolü uzaklaştırmak için alkolün buharlaşma sıcaklığında vakum evoporasyon işlemi uygulanmaktadır.
- **Yıkama ve kurutma işlemi;** biyodizel, gliserolden ayrıldıktan sonra içerisinde kalan katalizör, sabun, gliseridler ve safsızlıkları uzaklaştırmak amacıyla yıkama işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Yıkama işleminde günümüzde iki yöntem kullanılmakta olup bunlar sulu 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 işleminin yapılmasına gerek yoktur. Son aşamada, kurutma yapılan (sulu yıkama) veya yapılmayan (kuru yıkama) biyodizel filtre edilerek kullanıma hazır hale getirilmekte ve uygun koşullardaki depolama tanklarında muhafaza edilmektedir. Şekil 1.9'da transesterifikasyon reasksiyonunun aşamaları görülmektedir.



Şekil 1.9. Transesterifikasyon reaksiyonu (Öğüt ve Oğuz, 2006)

1.1.1.3. Biyoetanol

Etanol, şekerin başta mayalama olmak üzere bazı mikroorganizmalar tarafından fermente reaksiyonları ile elde edilebilen ve bu sayede biyolojik olarak üretilebilen bir alkol türüdür (Anonim, 2014).

Biyolojik süreçlerin dışında petrokimyasal yollarla da üretimi mümkündür. Bu anlamda etanol, petrokimyasal süreçlerin sonucunda üretilen alkole, biyoetanol ise biyolojik kaynakların mayalanması ile etanole verilen isimdir. Ancak her ikisi de kimyasal olarak aynı molekül yapısına sahiptir. Kimyasal formülleri C_2H_5OH şeklindedir.

Dünyadaki toplam biyoetanol üretimi, üretiminde kullanılan hammaddelerin üretim içindeki miktarı ve toplam tüketim miktarları Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1 Dünya toplam biyoetanol üretimi ve tüketimi (milyon litre) (Anonymous, 2016)

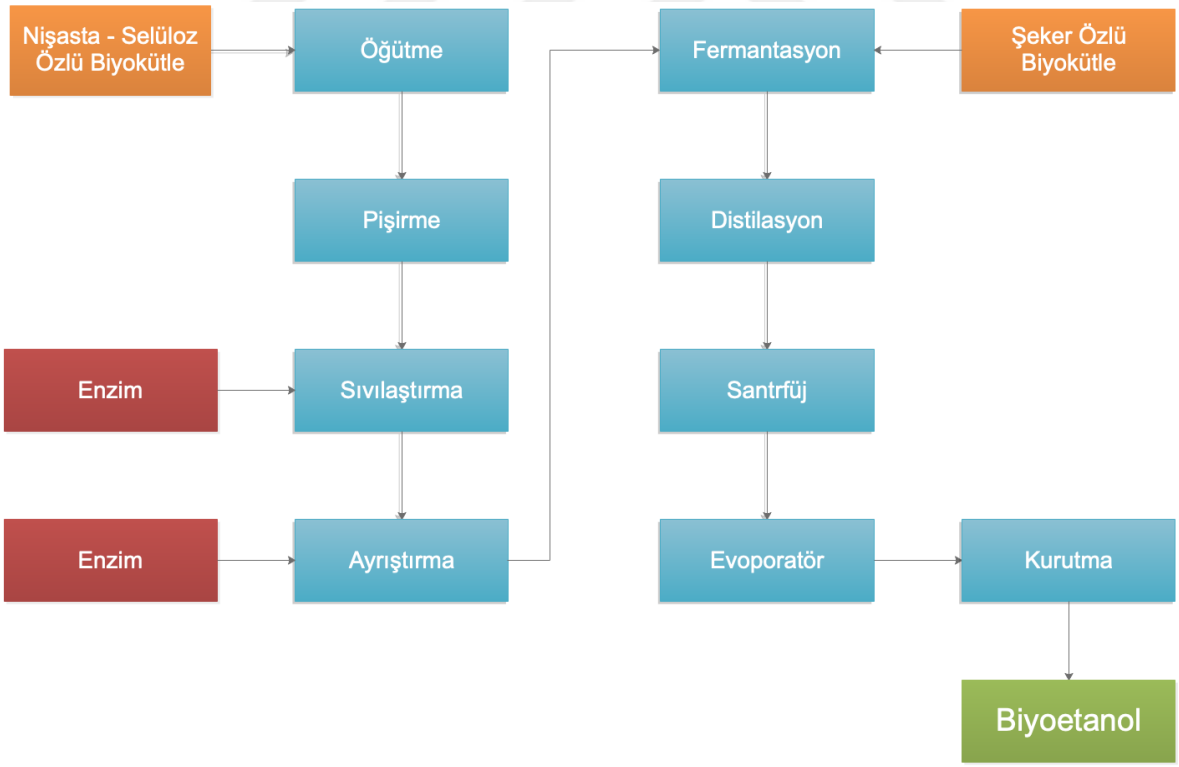
	2016	2017	2018
Toplam Üretim	119.3	122	123.2
Mısır Bazlı Üretim	62.9	64.9	64.8
Şeker Kamışı Bazlı Üretim	26.9	29.9	30.3
Biyomas Bazlı Üretim	0.4	0.6	0.6
Toplam Tüketim	111.5	119.9	123.1

Biyoetanol üretimi için kullanılan hammaddeler çeşitli olmakla birlikte temel hammadde kaynağı biyokütledir. Günümüzde üretilen biyoetanolün büyük kısmı şeker ve nişasta içerikli hammaddelerden üretilmektedir. Biyoetanol üretimi için kullanılan hammaddeler genel olarak üç grupta toplanmaktadır. Ancak son yıllarda yapılan çeşitli araştırmalara konu olmuş bir diğer hammadde kaynağını ise algler oluşturmuştur (Adıgüzel, 2013).

Şekil 1.10 ve 1.11'de sırasıyla biyoetanol üretiminde kullanılan hammadde örnekleri ve biyoetanol üretim basamakları görülmektedir.



Şekil 1.10. Biyoetanol üretiminde kullanılan hammadde örnekleri (Adıgüzel, 2013)



Şekil 1.11. Biyoetanol üretim basamakları (Anonymous, 2019d)

Biyoetanol üretim basamakları şu şekilde gerçekleşmektedir (Anonymous, 2019d):

Hazırlama; hammadde öğütülüp, 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, saccarifaction 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; bulamaç içerisine eklenen maya, bulamaçta bulunan şeker moleküllerini biyoetanol molekülüne çevirmektedir. Mayanın yüksek verimle çalışması için gerekli koşulların denetlenmesi gerekmektedir. Bu işlem yaklaşık 60-80 saat arasında sürmekte ve fermantasyon prosesi sonunda bulamacın içinde %10-12 arası biyoetanol elde edilmesi hedeflenmektedir.

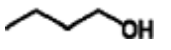
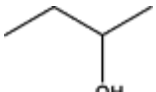
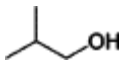
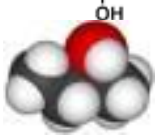
Distilasyon; fermantasyon sonucu elde edilen bulamaç damıtılarak içindeki biyoetanolün ayrılması sağlanmaktadır. Bu ayrıştırma işlemi, distilasyon kulelerindeki sıvının ısıtılması ile sağlanmaktadır. Distilasyon sonucu %95 – 96 oranında biyoetanol, fermentasyondan gelen bulamaçtan ayrılmakta ve ayrıştırılan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

1.1.1.4. Bütanol

Bütanol, berrak renksiz ve suyla karışmayan, uzun süreli zehirli etkiye sahip olmayan orta dereceli bir kokuya sahip alkol türüdür. Farklı sektörlerde farklı uygulama alanlarında kullanılmasının yanında motor yağlarında, korozyona karşı kullanılan maddelerde ve boya endüstrisinde kullanılmaktadır. Bütanolün kimyasal formülü C_4H_9-OH'dır. Görüldüğü üzere bütanol 4 karbonlu bir bileşiktir. Bütanol, etanol ya da metanol ile karşılaştırıldığında daha yoğundur. Suyun yoğunluk değerine göre ise daha düşük yoğunluktadır (Minteer, 2016).

Bütanol yapısı gereği 4 izomere sahiptir. Bunlar 1-bütanol, 2-bütanol, iso-bütanol ve tert-bütanoldür. Çizelge 1.2'de bütanol izomerlerinin molekül yapıları ve şekilleri verilmiştir (Jin ve ark., 2011).

Çizelge 1.2. Bütanol izomerlerinin molekül yapıları ve şekilleri (Jin ve ark., 2011)

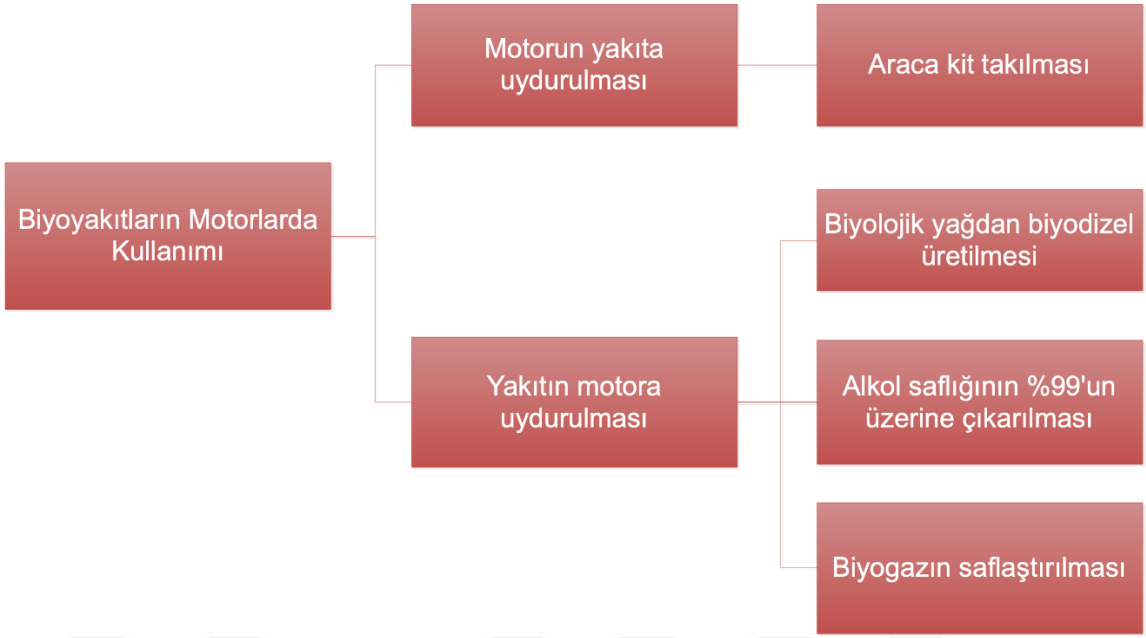
Bütanol İzomerleri	1-Bütanol	2-Bütanol	iso-Bütanol	Tert-Bütanol
Molekül Yapısı				
Şekli				

Bütanolün son yıllarda gündeme gelen yeni ve önemli bir uygulaması içten yanmalı motorlarda doğrudan veya mevcut yakıtlarla çeşitli oranlarda karıştırılarak kullanılmasıdır (Avcı ve Dönmez, 2011). Bütanolün dizel motorlarda kullanımına ilişkin avantajlar şu şekilde sıralanabilmektedir (Kumar ve Saravanan, 2016).

- Bütanol hidrofobik özelliği nedeniyle faz ayrımı olmadan motorin yakıtı ile iyi derecede karışabilmektedir.
- Bütanol, etanol ile karşılaştırıldığında daha yüksek kalorifik değere sahiptir. Bu da yaklaşık olarak %25 ekstra enerji anlamına gelmektedir.
- Bütanolün setan sayısı 17-25 arasında değerler almaktadır. Bu özelliği ile otomatik ateşlemeye yardımcı olmaktadır.
- Bütanol, metanol ve etanolden daha az korozif etkiye sahiptir.
- Korozyon etkisinin düşük olması nedeniyle mevcut yakıt sistemlerinde değişiklik yapılmadan kullanılabilmektedir.
- Bütanol petrokimyasal yollarla üretilebildiği gibi etanolün de üretim yöntemlerinden olan yenilenebilir biyokütle hammaddelerinin (buğday, mısır, şeker kamışı, şeker pancarı) fermentasyonu yoluyla da üretilebilmektedir.

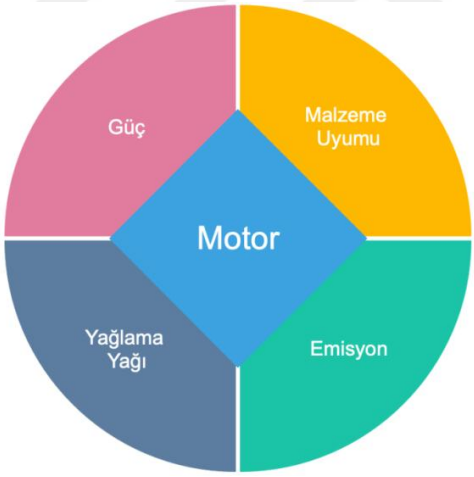
1.1.2. Biyoyakıtların motorlarda kullanım imkanları

Biyoyakıtların motorlarda kullanımına yönelik iki yaklaşım söz konusudur. Bukumar yaklaşımlar Şekil 1.12'de şematize edilmiştir.



Şekil 1.12. Biyoyakıtların motorlarda kullanımı (Öğüt, 2007)

Yapılan çalışmalar doğrultusunda biyoyakıt kullanımının motor üzerinde bıraktığı etkileri ise dört ana grupta toplamak mümkündür (Şekil 1.13).



Şekil 1.13. Biyoyakıtların motorlarda kullanımının etkileri (Öğüt, 2007)

Biyodizelin motorlarda kullanımının cazip hale gelmesi aşağıdaki sebeplerden ileri gelmektedir (Altun ve Gür, 2005):

- Biyodizelin setan sayısının ve ısıl değerinin yüksek olması,
- Motorin yakıtına eklendiği zaman egzoz emisyon değerlerini düşürmesi,
- Kullanım açısından motorda köklü yapısal değişim gerektirmemesi,
- Üretim kolaylığı, düşük üretim maliyeti ve hammadde çeşitliliği

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 araştırmaya konu olan biyoetanol, bütanol, biyodizel ve motorin yakıtlarının yakıt özellikleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 1.3. Biyoetanol, Bütanol, Biyodizel ve Motorin yakıtlarının yakıt özelliklerinin karşılaştırılması (Kumar ve Saravanan, 2016; Mofijur ve ark., 2016; Balcı, 2017)

Özellik	Birim	Motorin	Biyodizel	Biyoetanol	Bütanol
Molekül Formülü	-	$C_{12.226}H_{23.29}S_{0.0575}$	$C_{19}H_{35.2}O_2$	C_2H_5OH	C_4H_9OH
Yoğunluk (15º C)	kg/l	0.82-0.86	0.87-0.88	0.79	0.81
Kalori Değeri	$MJkg^{-1}$	42.72	37.11	26.95	33.11
Kinematik Viskozite (40º C)	mm^2s^{-1}	2.5-3.5	4.3	1.4	2.22
Parlama Noktası	(º C)	65-68	76-208	13	35-37
Su İçeriği	mg/kg	<200	<300	-	-
Setan Sayısı	-	49-55	37.9 - 65	-	17
Oktan Sayısı	-	-	-	98-100	-

1.1.3.1. Yoğunluk

Yakıtın yoğunluk değeri motor performansı için önemli bir kriterdir. Yoğunluk, biyodizelin üretiminde kullanılan hayvansal ya da bitkisel yağın çeşidine göre değişiklik göstermektedir. Biyodizel için yoğunluk değeri 15 °C sıcaklıkta 860-920 kgm^{-3}'tür (Oğuz ve Öğüt, 2006). Yakıtın yoğunluğu belirlenirken EN ISO 12185 ya da EN ISO 3675 deney yöntemleri kullanılmaktadır.

1.1.3.2. Kalori değeri

Kalori değeri bir yakıtın yanma sonucunda elde edilen enerji miktarının bir ölçüsüdür. Bu değer motorun optimum düzeyde çalışması ve yakıt tüketimi ile doğrudan ilişkilidir. Biyodizelin kalori değeri genellikle 35 $MJkg^{-1}$'den daha yüksek değerdedir. (Oğuz ve Öğüt, 2006). Kalori değerini belirlemek için DIN 51900-1, DIN 51900-2 ve DIN 51900-3 test metodları kullanılır.

1.1.3.3. Viskozite

Viskozite sıvıların molekül yapısına bağlı olarak iç sürtünmelerinin ve içerisinde bulunduğu ortamdaki akmaya karşı gösterdikleri direncin bir ölçüsüdür. Dinamik viskozite, aralarında 1 m uzaklık bulunan iki düzlem arasındaki 1 m^2 alana sahip sıvı tabakasını 1 ms^{-1} hız ile kaydırmak için gereken Newton kuvveti olarak tanımlanmaktadır. Sıvı yağlar ve sıvı yağlara göre nispeten daha katı olan yağların en önemli özelliklerinden biri olan kinematik viskozite ise dinamik viskozitenin yoğunluğa olan oranı şeklinde tanımlanmaktadır (Altın, 1998).

Viskozite, yakıtlar açısından düşünüldüğünde yanmayla olan ilişkisi nedeniyle önemli bir karakteristik özelliktir. Viskozite değeri küçüldükçe yakıt daha küçük zerrelere ayrılacağından hava ile daha homojen bir karışım sağlanır. Bu durum da daha düzgün ve verimli yanma anlamına gelmektedir. Tam tersi durum ise yetersiz püskürtme ve hava yakıt karışımının homojen olmamasına neden olmaktadır. Dolayısıyla bu netice yanma olayının düzgün olmaması ve performans kaybı demektir.

Viskozite değeri belirlenirken sıcaklık önemli bir kriterdir. Bu yüzden viskozite değeri yağın ısıtılarak yapıldığı ölçüm sıcaklığı ile birlikte verilmektedir. Kinematik viskozite ölçümü için EN ISO 3104 deney yöntemi uygulanmaktadır.

1.1.3.4. Parlama noktası

Parlama noktası bir ortamda ısıtılmakta olan yakıtın üzerine uygulanan alev ile geçici olarak tutuştuğu en düşük sıcaklık değeridir (Ulusoy, 1999). Taşıma ve depolamada parlama noktası önem arz etmektedir. Parlama noktası belirlenirken EN ISO 3679 deney metodu kullanılmaktadır.

1.1.3.5. Setan sayısı

Setan sayısı yakıtın yanma verimi için oldukça önemli bir kriterdir. Sıkıştırma zamanı sonunda sıcaklığı artan havanın içerisine püskürtülen yakıtın kendi kendine tutuşma kabiliyetinin bir göstergesidir. Setan sayısının yüksek olması tutuşma gecikme süresini azaltmakta, yanma hızını ise artırmaktadır (Heywood, 1988). Setan sayısı belirlenirken EN ISO 5145 deney yöntemi kullanılmaktadır.

1.1.3.6. Su içeriği

Yakıt içerisinde su ve nem olması filtrelerde tıkanmaya, enjektörler ve yakıt pompası parçalarında deformasyona neden olmaktadır (Keskin, 2005).

Yakıt içerisinde su bulunması aslında dezavantaj değildir. Su ve yakıtın belirli oranlarda bulunması yanma sıcaklığını ve NOx emisyon değerlerinin düşmesine neden olmaktadır. Ancak bu durum yüksek basınçlı enjeksiyon sistemlerinde su ve yakıtın birbirinden ayrılarak suyun enjeksiyon sisteminde belirli alanlarda bölgesel korozyona sebep olmaktadır (Oğuz ve Öğüt, 2006).

1.1.3.7. Soğuk akış özellikleri

Soğuk akış özellikleri bulutlanma noktası, soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN) ve akma noktası ile ifade edilmektedir.

- **Bulutlanma noktası**, soğutulan sıvı yakıtın içerisinde kristalleşmenin ilk görüldüğü sıcaklık olarak tanımlanmaktadır. Soğuk iklim şartlarında yakıtın kullanılabilirliği açısından önemli bir değerdir. Yakıtın mevcut sıcaklığı bulutlanma noktası sıcaklığı üzerinde ise yakıt sorunsuzca kullanılabilmekte, ancak sıcaklık değeri azaldıkça yakıtta katı formda küçük parçacıklar oluştuğu için filtre tıkanmaları görülmektedir (Eryılmaz, 2009).
- **Soğuk filtre tıkanma noktası**, 20 mL'lik numunenin 60 saniyelik sürede filtreden güvenle geçebildiği sıcaklık değerini ifade etmekle birlikte bulutlanma noktasında oluşan wax kristallerinin sıcaklığın daha da düşmesi ile kümeleştiği noktadır (Eryılmaz, 2009).
- **Akma noktası,** soğuktan etkilenen yakıtın bulunduğu ortam içerisinde akıcılığını devam ettirebildiği en düşük sıcaklık değeridir. Bu sıcaklıkta kristalleşen parçacıklar daha büyük hacimli kümeleşmeler oluşturmaktadır. Bu durum yakıtın jelleşmesine ve akmaz hale gelmesine neden olmaktadır (Öğüt ve Oğuz, 2006).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Üstün (2006) sığır kemiklerinden elde edilen kemik yağı ile çeşitli hayvansal yağları biyodizel elde etmek için kullanmış ve üretilen biyodizelin fiziksel ve kimyasal özelliklerini incelemiştir. Kemik yağı esteri-metanol karışımlarının fiziksel özelliklerini, motorin yakıtının viskozitesine eşdeğer olacak şekilde ester/etanol karışımını bulmak için tayin etmiştir. Araştırmacı, %0'dan %100'e kadar değişen oranlarda karışımlar ve hazırlanan karışımların viskozite ve yoğunluk değerlerini tespit ederek denemeler neticesinde hayvansal yağ esteri ve etanolün hacimce %65 - %35 karışımının motorin yakıtı ile aynı viskozite değerini verdiğini ifade etmiştir.

Eryılmaz (2009) yabani hardal tohumu yağının fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemiş, ardından bu yağdan transesterifikasyon yöntemi ile yabani hardal yağı metil esteri (YHME) üretmiştir. Ürettiği B100 formundaki biyodizeli hacimsel olarak %20 ve %2 oranında motorinle karıştırarak B20 ve B2 formunda yakıtlar elde etmiş ve bu yakıtların, (B100, B20 ve B2) fiziksel ve kimyasal yakıt özelliklerini belirlemiştir. Elde edilen yakıtları, dört zamanlı, 3 silindirli, 60 BG, direkt püskürtmeli dizel bir motorda test ederek motorin ile karşılaştırmış ve moment, güç, yakıt tüketimi, motor gürültü değerleri ve duman koyuluğunu incelemiştir. Çalışma sonunda;

- Bütün yakıtlar motorinle mukayese edildiğinde, maksimum moment değerlerine 1200 min^{-1} motor devrinde ulaşıldığını, motorine göre B100 yakıtında %2.39, B20'de %0.81 artış, B2 yakıtında ise değişim olmadığını,
- Maksimum güce ise bütün yakıtlarda 2500 min^{-1}'de ulaşıldığını, motorine göre B100 yakıtında %5.64, B20'de %2.64 artış, B2 yakıtında ise değişim olmadığını,
- Maksimum güçte B100 yakıtı kullanılmasıyla özgül yakıt tüketiminde motorine göre %2.86 artış, B20 ve B2 yakıtlarında ise sırasıyla %1.80 ve %2.84 azalma görüldüğünü,
- Tüm yakıtlarda (Motorin, B100, B20 ve B2) en yüksek toplam verim değerlerinin %34.348 ile %36.911 arasında gerçekleştiğini,
- Motor gürültü değerlerinin B100 ve B20 yakıtlarında motorine göre, belirli devirlerde yükselme ve azalmalar, B2 yakıtında ise bütün devir sayılarında azalma gösterdiğini,
- Duman yoğunluğunun ise karışımlardaki biyodizel oranı arttıkça daha fazla azalma gösterdiğini belirtmiştir.

Altun ve Öner (2010) hayvansal iç yağlardan baz katalizör kullanarak transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretmişlerdir. Üretimde %99.7 saflık oranına sahip metil alkol ile %98 saflıkta NaOH kullanmışlardır. Üretim tamamlanıp kullanılan hayvan iç yağı metil estere dönüştüğünde viskozitesi düşmüş, oda sıcaklığında sıvı formda bir yakıt halini almıştır. Elde ettikleri yakıtın yakıt özelliklerine bakıldığında ASTM standartlarını karşılamakla birlikte yoğunluk ve viskozite değerlerinin motorin yakıtına yakın çıktığı ve ısıl değerlerinin ise standartlara göre %8 daha düşük olduğu sonucuna varmışlardır.

Godiganur ve ark. (2010) balık yağı kullanımının yüksek viskozite nedeniyle pompalama ve püskürtme özelliklerinde sorunlara yol açtığını, dizel motorlarda balık yağının kullanımının en iyi yolunun balık yağından biyodizel elde etmek olduğunu vurgulamışlardır. Biyodizelin mineral özellikleri nedeniyle dizel yakıtına benzer özellik gösterdiği için motorlarda kullanımında çok az veya hiç modifikasyon gerekmediğini belirtmişlerdir. Balık yağı metil esteri ve dizel karışımlarının motor testleri için değişken yük koşulları altında 1500 min^{-1} sabit devirde çalışan Kirloskar H394 DI model motor kullanmışlardır. Testler sonucunda dizel motorun yanma özelliklerinde önemli bir sapma olmadığını ve buna ek olarak motor performansında da önemli bir değişim görülmediğini saptamışlardır. Emisyon testleri değerlendirildiğinde, azotoksit (NOx) hariç diğer emisyon parametrelerinde azalmalar görülmüştür. Balık yağından elde edilen biyodizelin iyi yanma özellikleri gösterdiği ve çevresel faydaları düşünüldüğünde ise alternatif bir yakıt olarak değerlendirilebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Aydin ve Ilkılıc (2010) ayçiçek yağından ürettikleri biyodizelin modifiye edilmemiş bir dizel motorda yüksek oranda kullanıldığında ortaya çıkan etkilerini araştırmayı amaçlamışlardır. Araştırmada karışım yakıtı olarak etanol de kullanmışlardır. Yakıt karışımları %80 dizel - %20 biyodizel (B20) ve %80 biyodizel - %20 etanol (BE20) şeklindedir. Hazırlanan yakıtları tek silindirli, dört zamanlı, direkt enjeksiyonlu dizel motorda denemişlerdir. Belirtilen oranlarda hazırlanan test yakıtlarının, motor torku, motor gücü, özgül yakıt tüketimi, egzoz gazı sıcaklığı ile CO_2, NOx ve SO_2 gibi bazı emisyon değerleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Deneysel sonuçlar, B20 yakıtına kıyasla BE20 kullanımının içten yanmalı motorlarda daha yüksek performans verdiğini, ayrıca BE20 yakıtı için egzoz emisyon değerlerinin oldukça düşük seviyelerde gerçekleştiğini göstermiştir.

Barabas ve ark. (2010) laboratuvar ortamında kolza yağından biyodizel üretip dizel-biyodizel-etanol karışımlarını kullanarak bir dizel motorda bu karışımların motor performansı ve emisyon değerlerine etkilerini incelemişlerdir.

Kullanılan yakıtların kimyasal bileşimi, yoğunluk, kinematik viskozitesi, SFTN değeri, parlama noktası değerlerini standart dizel yakıtı ile karşılaştırmışlardır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Kolza yağı metil esteri ve karışımların yakıt özellikleri

	Dizel	Biyodizel	Etanol	D85B10E5	D70B25E5	D80B10E10
Yoğunluk kgm^{-3} (15 ºC)	843	887.5	794.8	845	852	843
Kinematik Viskozite mm^2s^{-1} (40 ºC)	2.48	5.54	1.07	2.42	2.75	2.27
Parlama Noktası	61	126	13	14	18	15
SFTN	-9	-14	-	-17	-17	-6
Setan Sayısı	51-55	55-56	8	51	52	51
Setan İndeksi	47.6	55.4	5-8	47.7	48.6	48.8

Araştırma sonucunda;

- Alt motor yüklerinde özgül yakıt tüketiminde %32.4, motor termal verimliliğinde %21.7 oranında düşüşün gerçekleştiğini,
- Dizel yakıtta CO emisyonlarının, özellikle CO_2 emisyonlarındaki artışa bağlı olarak yüksek yüklerde en fazla %59 seviyesinde görüldüğünü ve karışım yakıtlarında ise bu değerin azaldığını ifade etmişlerdir.

Eryilmaz ve ark. (2010) dizel akaryakıt ile birlikte, referans olarak, 10 numaralı mineral yağ ve atık bitkisel yağların etkilerini incelemişlerdir. Araştırmada tek silindirli, direkt enjeksiyon ve 15 HP motor kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, atık bitkisel yağ ve 10 numaralı mineral yağ kullanıldığında, enerji ve moment değerlerinin sırasıyla %9.1 ve %2.8 oranında arttığını tespit etmişlerdir.

Rakopoulos ve ark. (2010) yüksek hızlarda çalışan bir dizel motorda bütanol-dizel yakıt karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini araştırmışlardır. Yakıt karışımlarını, standart dizel yakıta %8, %16 ve %24 oranlarında bütanol eklenmesi ile hazırlamışlardır. Sonuçta;

- Karışım içerisindeki bütanol oranı arttıkça HC konsantrasyonunda artış, is miktarı, CO ve NOx miktarında azalmalar olduğunu,
- Yakıtlardaki bütanol ilavesindeki artışla doğrusal olarak, özgül yakıt tüketimi ve termik verim değerlerinde artış görüldüğünü ifade etmişlerdir.

Özer (2010) tek silindirli, direkt enjeksiyonlu, sıkıştırma ateşlemeli, dört zamanlı bir dizel motorda dizel yakıta %3, %5, %8 ve %10 oranında ilave edilen bütanol kullanımının farklı yükler altındaki motor performansı ve emisyonlara etkisini deneysel olarak inceleyerek elde edilen sonuçları standart dizel yakıtı verileri ile karşılaştırmıştır.

Araştırmacı, yakıttaki bütanol konsantrasyonunun artmasıyla birlikte motor gücünün kayda değer şekilde azaldığını, HC emisyonlarında artışa, is ve NOx emisyon miktarında düşüşe, bunlara ek olarak dizel yakıtına eklenen bütanolün motor performansında azalmalara fakat emisyon değerlerinde ise olumlu etkilere neden olduğunu belirtmiştir.

Doğan (2011) dizel ve n-bütanol yakıt karışımlarının bir dizel motordaki performans ve egzoz emisyon özellikleri üzerinde araştırma yapmıştır. Yakıt karışımlarını dizele hacimce %5, %10, %15 ve %20 oranlarında bütanol karıştırılması ile elde etmiştir. Yakıt karışımlarını tek silindirli, dört zamanlı, doğal emişli, direkt enjeksiyona sahip bir dizel motorda 2600 min^{-1} sabit hızda ve 4 farklı yükte test etmiştir. Araştırma sonucunda, yakıt karışımı içerisindeki bütanol konsantrasyonunun artmasıyla NOx, CO, is miktarı ve egzoz gazı sıcaklığının azaldığını, HC emisyonlarının arttığını, ayrıca bütanol miktarındaki artışın, özgül yakıt tüketimi ve ısıl verimin artmasına neden olduğunu vurgulamıştır.

Behçet (2011) hamsi balığı yağından transesterifikasyon reaksiyonu yoluyla ile elde ettiği biyodizelin motorda kullanım koşullarını araştırmıştır. Araştırmayı direkt enjeksiyonlu, sıkıştırma ateşlemeli motor üzerinde yapmıştır. Yakıt olarak B100 formundaki saf biyodizeli, dizel yakıtı ile sırasıyla %25, %50, ve %75 oranlarında karıştırarak B25, B50 ve B75 yakıtları elde etmiştir. Ayrıca test yakıtlarının yakıt özelliklerini belirlemiştir. Analizler sonucunda yakıtlara ait yakıt özellikleri Çizelge 2.2'de toplu olarak verilmiştir.

Çizelge 2.2. Hamsi yağı metil esteri yakıt özellikleri

Özellik	Birim	Motorin	B100	B75	B50	B25
Yoğunluk	kgm^{-3}	843	881	875	866	853
Viskozite	mm^2s^{-1}	3.52	4.451	4.22	3.95	3.84
Isıl Değer	$MJkg^{-1}$	43356	40546	41249	41952	42655
Parlama Noktası	ºC	60	155	130	106	82
Akma Noktası	ºC	-15	-14	-14.7	-14.4	14.2
Setan Sayısı	-	52	52.4	-	-	-

Motor testlerini tam motor yükü koşulları altında 1000, 1500, 2000 ve 2500 min^{-1} motor devirlerinde değişken hızlarda yapmıştır. Motor testlerinde motorine göre biyodizel kullanılan yakıt karışımlarında;

- Motor tork değerlerinde %4.14, motor gücünde ortalama %5.16 azalma,
- Özgül yakıt tüketiminde %4.96 artış,

- Emisyon değerlerinden, karbondioksit (CO_2), karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) oranlarında sırasıyla ortalama %4.576, %21.3, %33.42 azalma, oksijen (O_2), azot oksit (NO_x) ve egzoz gazı sıcaklığında ise sırasıyla %9.63, %29.37 ve %7.54 artış olduğunu belirtmiştir.

Bunlara ek olarak hamsi yağı biyodizelinin setan sayısını artırmaya ve NO_x emisyonlarını düşürmeye yardımcı olarak ağırlıkça %37 oranında doymuş yağ asidi içerdiğini ifade etmiştir. Tüm bu veriler ışığında, atık hamsi balığından elde edilen biyodizelin dizel motorlarda petro-dizel yerine kullanılabileceğini vurgulamıştır.

Varuvel ve ark. (2012) balık yağı endüstri atıklarından biyodizel üretmişler ve bir dizel motorda üretilen biyodizeli test etmişlerdir. Bu deneysel çalışma için 4.5 kW gücünde, 1500 min^{-1}'de, tek silindirli hava soğutmalı direkt enjeksiyon sistemi olan dizel motor kullanmışlardır. Dizel ile elde ettikleri B20 ve B40 yakıtlarını karşılaştırmışlardır. Yaptıkları motor deneyleri sonucunda karışımdaki biyodizel konsantrasyonu artttıkça azotoksit (NOx) miktarında artış olmasına rağmen karbonmonoksit (CO) hidrokarbon (HC) ve partiküler madde (PM) emisyonlarında azalmalar meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca motorine biyodizel eklenmesi ile biyodizelin yüksek setan sayısından dolayı yanma süresi ve ateşleme gecikmesinin azaldığını bildirmişlerdir.

Bhaskar ve ark. (2013) balık atıklarından çıkarılan ve transesterifikasyon yoluyla rafine edilmiş balık yağı biyodizeli kullanımının biyodizel üretimi için alternatif bir yöntem olduğunu vurgulamışlardır. Araştırmada balık yağı metil esteri ile dizeli %20 ile %40 oranında karıştırarak hazırladıkları B20, B40 yakıt karışımları ile B100 yakıtlarının motor performansı ve emisyon özelliklerini, öncelikle tarımsal alanda kullanılan direkt enjeksiyonlu, tek silindirli, sabit hızda çalışan dizel bir motorda değerlendirmişlerdir. Araştırma sonucunda, karışımlar arasında B20 yakıt karışımının dizel ile karşılaştırıldığında daha düşük yanmamış hidrokarbon (HC), karbonmonoksit (CO) ve kurum emisyonu ile daha yüksek azot oksit (NOx) emisyonu ürettiğini belirtmişlerdir. NOx emisyonlarını kontrol etmek için EGR kullanmışlar ve B20 yakıtının kullanımına yönelik optimum EGR oranını tespit etmişlerdir.

Hong ve ark. (2013) menhaden balığı yağı ile biyodizel üretimi için optimum koşulları belirlemeye çalışmışlardır. Balık yağının karbon zinciri uzunluğunun bitkisel yağlardan fazla olduğunu ve bu nedenle daha yüksek setan sayısına sahip balık yağı biyodizeli kullanımının dizel motor performansını artırıp kirletici emisyonların azalmasına neden olabileceğini belirtmişlerdir. Menhaden yağından biyodizel üretiminin optimum koşullarını şu şekilde belirlemişlerdir:

- 120 dakika reaksiyon süresi
- 55 °C reaksiyon sıcaklığı
- Metanol/balık yağı molar oranı: 12
- Alkali katalizör hacimce: %2

Araştırmada, üretilen biyodizelin yakıt özelliklerinden, kinematik viskoziteyi 40 °C'de 4.60 mm^2s^{-1}, asit değerini 0.20 mg KOH/g ile ısıl değeri 42.1 $MJkg^{-1}$ olarak bulmuşlardır. Ayrıca araştırmacılar çalışma sonunda belirlenen değerlerin biyodizel kalite standartlarına uygun olduğunu ifade etmişlerdir.

Buyukkaya ve ark. (2013) alabalık yağı ve katalizör olarak potasyum hidroksit kullanarak transesterifikasyon yöntemi ile alabalık yağı metil esteri üretmişlerdir. Alabalık yağı biyodizelini motorin ile hacimsel olarak %10, %20, %40 ve %50 oranlarında karıştırarak karışım yakıtlarını tek silindirli, doğal emişli, endirekt enjeksiyonlu dizel bir motorda test etmişlerdir. Testler sonucunda, motorun gücü ve özellikle torkunda önemli değişiklikler meydana geldiğini, B40 ve B50 yakıtları için egzoz emisyonlarında daha iyi bir yanma sonucu NOx emisyonları dışında büyük iyileşmeler olduğunu ifade etmişlerdir. Maksimum tork ve nominal güç koşullarında B50 yakıtının özgül yakıt tüketimi değerlerinin dizel yakıtına göre hemen hemen aynı olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca alabalık yağı metil esterinin dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında, karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyon değerlerinin sırasıyla ortalama %13 ve %45 oranlarında azaldığını vurgulamışlardır. Çizelge 2.3'de araştırmacıların belirledikleri dizel yakıtı ve karışımlarına ait yakıt özellikleri görülmektedir.

Çizelge 2.3. Alabalık yağı metil esteri ile motorin karışımlarına ait yakıt özellikleri

Özellik	Birim	Motorin	B10	B20	B40	B50	B100
Yoğunluk	kgm^{-3}	830	835.5	841	852	857.5	885
Viskozite	mm^2s^{-1}	2.9	3.20	3.38	3.48	3.54	4.25
Isıl Değer	$MJkg^{-1}$	42.5	42.03	41.56	40.62	40.15	37.8
Parlama Enerjisi	kj/mol	22	21	20	18	17	12
Donma Noktası	ºC	-	-	-	-	-	4
Setan Sayısı	-	48	48.33	48.66	49.32	49.65	51.3

Yilmaz ve ark. (2014) bütanol ile yemeklik yağdan üretilen biyodizeli harmanlayarak dört zamanlı doğal aspirasyonlu, su soğutmalı dizel motorda, performans ve egzoz emisyon değerleri açısından araştırmışlardır. Araştırılan test yakıtlarını D100, B100 ve %5, %10, %20 bütanol katkısı ile hazırlamışlardır. Biyodizel ile karşılaştırıldığında, bütanol ilave edilen yakıtların, daha yüksek CO ve yanmamış HC ile daha düşük egzoz gazı ve NOx emisyonları ürettiğini, bütanol ile karıştırılmış yakıtların %5 - %10 gibi az seviyeli konsantrasyonlarında ise daha düşük CO ve daha yüksek NOx emisyonlarına neden olduğunu ancak HC emisyonları açısından bir değişiklik olmadığını ifade etmişlerdir. Ayrıca çalışmada, biyodizele %20 bütanol ilavesinin dizel yakıtına göre daha yüksek CO, HC ve NOx ürettiğini, biyodizel ve biyodizel-bütanol karışımlarının özgül yakıt tüketimi değerlerinin dizel ile karşılaştırıldığında daha yüksek değerler aldığını belirtmişlerdir.

Sakthivel ve ark. (2014) sardalya balığı yağından hazırlanan biyodizel kullanımının uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Biyodizel-dizel karışımlarının viskozite, yoğunluk, kalori değeri, parlama noktası, setan sayısı gibi yakıt özelliklerini belirleyerek değişken yük koşulları altında biyodizel-dizel karışımlarını tek silindirli, sabit hızlı, direkt enjeksiyonlu dizel motorda motor performansı, yanma özellikleri ve emisyon değerleri açısından test ederek değerlendirmişlerdir. Çizelge 2.4'de sardalya biyodizeli ve karışımlarının yakıt özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.4. Sardalya biyodizeli ve karışımların yakıt özellikleri

Özellik	Birim	Motorin	B100	B80	B60	B40	B200
Yoğunluk	kgm^{-3}	850	885	879	869	860	852
Viskozite	mm^2s^{-1}	3.05	4.74	4.52	4.36	4.22	4.1
Isıl Değer	$MJkg^{-1}$	42.800	40.057	40.517	40.973	41.388	41.844
Parlama Noktası	ºC	56	114	98	79	63	44
Yanma Noktası	ºC	63	125	107	90	72	52
Setan İndisi	-	52	52.6	-	-	-	-

Emisyon sonuçlarına göre yakıt içerisindeki biyodizel oranı arttıkça;

- Azot oksit (NOx), karbonmonoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) oranlarında düşüş,
- Karbondioksit (CO_2), egzoz gazı sıcaklığı ve duman emisyon oranlarında artış olduğunu ifade etmişlerdir.

Bunlara ek olarak dizel ile karşılaştırıldığında biyodizel-dizel karışımları için fren termal verimliliğinin tüm yük koşullarında daha yüksek, ateşleme gecikmesi, maksimum ısı salınımı hızı ve yanma süresinin ise daha düşük seviyede gerçekleştiğini belirlemişlerdir. Sonuç olarak balık yağının biyodizel üretimi için uygun alternatif olabileceğini vurgulamışlardır.

Wu ve ark. (2014) kıyı balıkçılığı ile üretilen uskumru balıklarının endüstriyel olarak değerlendirildikten sonra atılan kısımlarından elde edilen yağı, transesterifikasyon reaksiyonu yoluyla ile biyodizel üretmek için hammadde olarak kullanmışlardır. Yakıta ait iyot, viskozite, ısıl ve parlama noktası değerlerini belirleyerek ölçüm sonuçlarını ayçiçeği çekirdeği yağı metil esteri, jatropha curcas biyodizeli ve dizel yakıtları ile karşılaştırmışlardır. Yakıt özellikleri testleri sonuçlarına göre uskumru biyodizelinin karşılaştırılan diğer yakıtlara göre iyot, viskozite, yoğunluk ve parlama noktası değerleri açısından daha yüksek, ısıl değerinin (39.305 $MJkg^{-1}$) ise daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Uskumru biyodizelinin, emisyon değerlerini belirlemek için dizel bir motorda yakıt olarak kullanmışlardır. Ayrıca araştırmacılar, egzoz emisyon testi için uskumru biyodizeli yakıtını saf (B100) olarak ve dizel yakıtı ile %20 oranında (B20) karıştırarak kullanmışlardır. Uskumru biyodizelinin egzoz emisyon değerlerini dizel ve jatropha curcas biyodizelinin değerleri ile karşılaştırmışlardır. Emisyon testleri sonuçlarına göre;

- B20 yakıtının çeşitli motor yükleri altında yapılan test sonuçlarına göre azotmonoksit (NO), azotoksit (NOx) ve kükürtdioksit (SO_2) emisyonlarında önemli bir azalma olduğunu,
- Uskumru yağı biyodizelinin kullanımında motor modifikasyonuna gerek olmadığını belirtmişlerdir.

Behçet ve ark. (2014) transesterifikasyon yöntemi ile atık balık ve pişirme yağlarından iki ayrı yakıt üretmişlerdir. Üretilen yakıtları %25 oranında dizel yakıt ile karıştırarak iki yakıt numunesi elde etmişlerdir. Bu yakıtların performans ve emisyon özelliklerini saptamak için dizel bir motorda denemişlerdir. Yaptıkları analizler neticesinde;

- Balık yağı bazlı yakıtın, pişirme yağından elde edilen yakıt ile karşılaştırıldığında daha iyi performans ve egzoz emisyonu değerleri gösterdiğini,
- Motor gücü değerlerinin, balık yağı biyodizeli (B25) ve pişirme yağı biyodizelinde (B25) dizel yakıtına göre sırasıyla %3.05 ve %1.25 oranlarında daha düşük olduğunu,

- Motor tork değerlerinin, balık yağı biyodizeli (B25) ve pişirme yağı biyodizelinde (B25), dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla %4.07 ve %2.2 oranında daha düşük değerler verdiğini,
- Üretilen yakıtlar için özgül yakıt tüketimi değerlerinde, dizel yakıta göre %5.69'a kadar artış olduğunu,
- Bununla birlikte, dizel yakıta kıyasla balık yağı biyodizeli (B25) ve pişirme yağı biyodizelinde (B25), HC ve CO emisyon oranlarındaki düşüşün sırasıyla %16.24 ve %19.81 olarak gerçekleştiğini, biyodizel yakıtları için NOx emisyonlarındaki artış miktarının dizel yakıtına göre %17.2' ye ulaştığını belirlemişlerdir.

Zhang ve Balasubramanian (2014) dizel-biyodizel-bütanol karışımlarını, tek silindirli, direkt enjeksiyonlu, sıkıştırma ateşlemeli bir motor üzerinde deneyerek, elde ettikleri karışım yakıtlarının fiziksel, kimyasal ve toksikolojik özelliklerini değerlendirmişlerdir. Araştırmacılar, düşük kükürtlü dizel yakıtına önce hacimce %20 hurma yağı metil esteri karıştırarak B20 yakıtını ve daha sonra bu karışımlara %5, %10 ve %15 bütanol ilave ederek üçlü karışım yakıtlarını elde etmişlerdir. Araştırma sonucunda, özgül yakıt tüketimi değerlerinde bütanol ilavesiyle %10'a kadar düşüş olduğunu, orta ve yüksek motor yüklerinde fren termal verimliliğinde ise bir iyileşme görüldüğünü saptamışlardır. Ayrıca araştırmacılar B20'ye kıyasla partikül kütlesi, karbon elementi konsantrasyonu ve toplam parçacık sayısında önemli bir azalma, üçlü yakıt karışımlarında bütanoldeki artışa paralel olarak parçacıklardaki organik karbon oranınında artış ve bunlara ek olarak bütanol ilavesi yapılan yakıtların B20 yakıtı ile kıyaslandığında daha düşük kanserojen potansiyeli gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Tüccar ve ark. (2014) dizel, mikroalg biyodizeli ve bütanolü D80B20, D70B20Bü10 ve D60B20Bü20 oranlarında karıştırmışlardır. Oluşan yakıtların dizel motordaki motor performansı ve emisyonu (azot oksit, karbonmonoksit ve duman opaklığı) üzerindeki etkilerini değerlendirmek üzere test etmişlerdir. Bütanol ilavesinin motor torku ve fren gücü değerlerinde hafif bir azalmaya neden olduğunu, egzoz emisyonu değerlerinde ise olumlu sonuçlar gösterdiğini belirtmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar, mikroalg biyodizeli – bütanol karışımının dizel yakıtına eklenmesiyle umut verici bir karışım maddesi olarak kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Makarevičienė ve ark. (2015) dizel yakıta kolza yağı metil esteri ve kolza yağı bütil esteri eklenmesi ile elde edilen yakıt karışımlarının, soğuk akış özelliklerine ilişkin karşılaştırmalı olarak değerlendirme yapmışlardır. Donma noktası ve soğuk filtre tıkanma noktası değerlerinin karışım bileşimine olan bağlılığından söz etmişlerdir.

Yapılan deneyler neticesinde kolza tohumu yağı metil esterinin bütil ester ile değiştirildiği takdirde, karışımların daha iyi soğuk akış özelliklerine sahip olduğunu, yaz döneminde kullanılan dizel yakıt gereksinimlerini karşıladığını fakat geçiş döneminde kullanılan yakıtta kolza yağı bütil esterlerinin konsantrasyonunun %78'e kadar çıkabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca çalışmada kolza yağı metil esterleri içeren karışımlar için kolza yağı metil ester içeriğinin sadece %45'e kadar olabileceğini, kutup iklim bölgelerinde, %10-14'e kadar kolza tohumu metil esterleri, %18'e kadar ise kolza tohumu bütil esterleri içeren yakıt karışımlarının kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Mofijur ve ark. (2015) yenilenebilir hammaddelerden üretilen biyodizel ve etanol yakıtlarının fosil yakıtlara en uygun alternatif olduğunu ve dizel yakıtta etanolün doğrudan kullanımının, düşük setan sayısı, parlama noktası ve zayıf çözünürlük nedeniyle özellikle soğuk havalarda bazı problemlere neden olabileceğini belirtmişlerdir. Biyodizelin hem etanol hem de dizel yakıtla karışım davranışını inceleyen ve dizel motorlarda biyodizel-dizel-alkol karışımlarının kullanılabileceği belirtilen çalışmada, motor performansı ve emisyon değerleri üzerinde durulmuştur. Araştırmacılar, derlemelerinde yer alan çalışmaların büyük kısmında, dizel motorlarda biyodizel- dizel karışımına etanol ilavesinin HC, PM ve Nox değerlerini önemli ölçüde azalttığını ancak yakıt tüketimini artırdığını sonucuna varıldığını ifade etmişlerdir. Çalışma sonunda, biyodizel-dizel-etanol karışımının motor egzoz emisyonlarını düşürmede ve fosil yakıtlara olan bağımlılığı azalmakta etkili bir yöntem olduğunu ifade etmişlerdir.

Ileri ve ark. (2016) dizel-kolza tohumu yağı biyodizeli ve bütanol karışımlarının [B100, B20 ve %70 dizel - %20 kolza tohumu yağı - %10 n-bütanol (DKYBnB)] motor performansı ve emisyon değerlerine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmada dört zamanlı, dört silindirli, direkt enjeksiyon sistemine sahip, turboşarjlı bir dizel motor kullanmışlardır. Motor testlerini tüm yakıtlar için tam motor yükünde 1800 ve 4400 min^{-1} arasında 8 farklı motor hızında gerçekleştirmişlerdir. Dizel yakıtla karıştırılan test yakıtlarının tork, fren gücü ve egzoz gazı sıcaklığı değerlerinde azalma, özgül yakıt tüketim değerlerinde ise artış olduğunu ifade etmişlerdir. Dizel yakıtına kıyasla B100 yakıtının CO emisyonunda azalma B20 ve DKYBnB karışım yakıtlarında ise artış olduğu, ayrıca test edilen tüm yakıtlarda Nox değerlerinde azalma, HC emisyonu değerlerinde ise artış olduğunu belirtmişlerdir.

Sekmen ve Şen (2016) hamsi yağı kullanarak ürettikleri %100 saf biyodizel ile motorin yakıtını hacimsel olarak %5, %20 ve %50 oranında harmanlayarak karışım yakıtları elde etmişlerdir. Elde edilen yakıtları tek silindirli, dört zamanlı bir dizel motorda tam yük ve farklı devirlerde deneysel olarak test etmişlerdir. Analizler sonucunda, araştırmacıların deney yakıtlarına ait elde ettikleri yakıt özellikleri değerleri Çizelge 2.5'de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Hamsi yağı metil esteri ve motorin yakıtın yakıt özelliklerinin standartlarla karşılaştırılması

Özellik	BYME	Dizel Yakıtı	EN 14214	Metot
Yoğunluk, (kgm^{-3} 15°C)	893.6	830.4	860-900	EN ISO 12185
Kinematik viskozite (mm^2s^{-1} 40°C)	4.708	2.853	3.5-5.0	EN ISO 3104
Parlama noktası (°C)	163	62	>120	EN ISO 3679
Karbon kalıntısı % (m/m)	-	<0.1	<0.30	EN ISO 10370
Bakır Şerit Korozyonu (3 saat 50°C)	1a	1a	No.1	EN ISO 2160
Kükürt (mg/kg)	7.2	9.7	<10	EN ISO 20846
Setan sayısı	55.8	55.2	>51	EN ISO 5165
Su (mg/kg)	495	80	<500	EN ISO 12937
Asit sayısı, (mgKOH/g)	0.15	-	<0.50	EN 14104
İyot Sayısı (g iyot/100g)	93.9	-	<120	EN 14111
Monogliserid içeriği (% kütlesel)	0.02	-	<0.8	EN 14105
Digliserid içeriği (% kütlesel)	0.17	-	<0.2	EN 14105
Trigliserid içeriği (% kütlesel)	0.12	-	<0.2	EN 14105
Serbest gliserin (% kütlesel)	<0.01	-	<0.02	EN 14105
Toplam gliserin (% kütlesel)	0.042	-	<0.25	EN 14105
2. Grup metaller (Ca+Mg) (mg/kg)	<1.0	-	<5.0	EN 14538
Soğuk filtre tıkanma noktası, (°C)	1	-10	+5 (Yaz), -15(Kış)	EN 116
Akma noktası (°C)	4	-12	<4 (Yaz),<-1 (Kış)	ISO 3016
Bulutlanma noktası (°C)	3	-3	-	EN 23015
Alt ısıl değer (kJ/kg)	38702	43220	-	ASTM D240
Yağlama özelliği (µm)	119	409	-	EN ISO 12156-1
Karbon % (m/m)	72.01	80.97	-	ASTM D 5373
Hidrojen % (m/m)	11.62	14.42	-	ASTM D 5373

Araştırmacılar motor testleri sonucunda karışımdaki biyodizel oranı arttıkça;

- Motorin yakıtına kıyasla özgül yakıt tüketiminde %5 ile %12 arasında bir artış,
- Motor momentinde %2 ile %6 arasında azalma,
- Emisyon testlerinde ise karbonmonoksit ve hidrokarbon değerlerinde azalma,
- Azotoksit (NOx) değerlerinde ise artış olduğunu belirtmişlerdir.

Ibrahim (2016) atık yemeklik yağdan biyodizel üretip dizel ve bütanol ile farklı oranlarda harmanlayarak beş farklı yakıt (B50, B100, Bu10, Bu20) elde etmiştir. Hazırladığı bu yakıtları tek silindirli doğrudan enjeksiyonlu dizel bir motorda test yakıtı olarak kullanmıştır. Motor performansı, yanma karakteristiği, NOx emisyonu ve motor stabilitesinin deneysel olarak karşılaştırıldığı çalışmada tüm testleri 1500 min^{-1} sabit hızında ve farklı motor yüklerinde gerçekleştirmiştir. Araştırmacı, test edilen tüm yakıtlar arasında en uygun yakıtın B50 yakıt karışımının olduğunu, bu yakıtın kullanımında motor termal verimliliğinin %65 arttığını ve özgül yakıt tüketiminin ise %5 azaldığını, bunlara ilaveten motor emisyonu arttıkça NOx emisyonu değerlerinin önemli ölçüde arttığını belirtmiştir. Ayrıca çalışma sonucunda yakıt türlerindeki değişimin tutuşma başlangıcı üzerinde önemli bir değişikliğe yol açmadığını, yanma süresinin motor yükünün artmasıyla doğru orantılı olarak arttığını ve test edilen tüm yakıtlarda motor stabilitesinin olumsuz yönde etkilenmediğini ifade etmiştir.

Gharehghani ve ark. (2017) dizel ile atık balık yağından üretilen biyodizeli %25, %50 ve %75 oranında karıştırarak elde ettikleri yakıtların yanma özelliklerini, motor performansı ve egzoz emisyon değerlerini deneysel olarak test etmişlerdir. Testleri sabit motor yükü koşulları altında E6 Ricardo model motorda gerçekleştirip toplanan verileri analiz etmek için, deney süresi boyunca test motorunun silindir iç basıncını, egzoz emisyonlarını, yakıt tüketim değerlerini ve egzoz gazı sıcaklıklarını kayıt altına almışlardır. Araştırma sonuçlarına göre;

- Atık balık yağı biyodizeli kullanılarak hazırlanan karışım yakıtları ile dizel yakıt kıyaslandığında, biyodizelin daha kısa ısı salınım süresiyle birlikte daha yüksek silindir iç basıncına neden olduğunu,
- Karışım yakıtlarında dizel yakıtına göre, ortalama %2.92 daha fazla ısıl verim elde edildiğini ve %1.1 daha düşük yanma kaybı olduğunu,
- Karışım yakıtlarının CO ve HC emisyonu değerlerinde, dizel yakıtına göre sırasıyla %5.2 -%27 ve %11.6 - %60 oranında azalmalar gerçekleştiğini,
- Biyodizel karışımlarında, biyodizelin içeriğinde bulunan oksijen nedeniyle daha iyi yanma gerçekleştiğini ve buna bağlı olarak dizel yakıtına göre CO_2 ve NOx değerlerinde sırasıyla ortalama %7.2 ve %1.9 -%12.8 oranında artış olduğunu bildirmişlerdir.

Yılmaz (2017) kanola yağı ve büyükbaş hayvan böbrek iç yağlarından ürettiği biyodizele ait yakıt özelliklerini belirlemiştir. Kanoladan üretilen biyodizelin maksimum verimini %100, büyükbaş hayvan böbrek iç yağından üretilen biyodizelin maximum verimini ise %95.83 olarak hesaplamıştır. Araştırma sonucunda;

- Yakıtlara ait, yoğunluk, pH, viskozite, bakır şerit korozyon testi, parlama ve ısıl değerleri standart değerler ile uyum gösterdiğini,
- Üretilen yakıtların bulutlanma, akma ve donma değerlerinin standartların üzerinde olduğunu ve dolayısıyla katkı maddesi olmadan yalnızca sıcak ülkelerde kullanılması gerektiğini,
- Yakıtların soğuk hava şartlarında kullanımı için soğuk akış özelliklerini iyileştirici kimyasalların kullanılması gerekliliğini ifade etmiştir.

Balcı (2017) transesterifikasyon yöntemi ile ürettiği menengiç yağı biyodizelini, motorini ve biyoetanolü farklı oranlarda (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) karıştırarak tek silindirli dört zamanlı bir dizel motorda motor performansı ve emisyon değerlerini incelemiştir. Bunun yanı sıra elde ettiği karışım yakıtlarının yakıt özelliklerinin analizlerini gerçekleştirmiştir.

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 alarak aşınma elementi (Al, Fe, Pb, Cu, Cr) analizlerini yapmış, karışım yakıtları ve yağlama yağına ait sonuçları motorin (M100) ile karşılaştırarak motor yağlama yağındaki değişimleri incelemiştir. Araştırma sonucunda, karışım yakıtlarına ait motor performans değerlerinde dizel yakıtı ile kıyaslandığında düşüş ve yükselişlerin olduğunu, dizele en yakın sonucu E-B1-M1 yakıtının verdiğini belirtmiştir. Emisyon değerlerinde ise dizel yakıta göre karışım yakıtlarının tamamında CO, SO_2 değerlerinde azalma, HC, CO_2, O_2, NO_x emisyonlarında artış olduğunu vurgulamıştır. Motor yağlama yağında ise en iyi sonucun E-B3-M3 yakıtında olduğunu ifade etmiştir.

Jiaqiang ve ark. (2018) balık işleme yan ürünlerinden ürettikleri biyodizeli kullanarak hazırladıkları yakıt karışımları ile çalıştırılan bir test motorunun motor performansı ve emisyon değerlerini incelemişlerdir. Ayrıca araştırmacılar enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon zamanlamasının motor üzerindeki etkilerini de araştırmışlardır. Dizel, biyodizel ve dizel-biyodizel karışımlarını B0, B10, B20, B30, B40, ve B50 olmak üzere altı farklı karışım oranında hazırlamışlardır.

B0 yakıtı ile karşılaştırıldığında;

- Biyodizel ile karıştırılarak hazırlanan yakıtlarda, motor gücündeki azalmanın yakıt içerisindeki biyodizel miktarına paralel olarak artış gösterdiğini,
- Özgül yakıt tüketimi ve NOx değerlerinde yakıtlardaki biyodizel miktarı ile doğru orantılı olarak artış olduğunu, aynı şekilde biyodizel miktarındaki artışın HC ve CO emisyonlarında azalmalara neden olduğunu ifade etmişlerdir.
- Yanma özellikleri değerlendirildiğinde, enjeksiyon zamanlamasının arttığını, fren gücünün başlangıçta maksimum değerine ulaşana kadar artıp daha sonra test edilen tüm yakıtlarda hafifçe azaldığını, enjeksiyon basıncının ise basınç aralığında olup biyodizel karışımlarındaki biyodizel miktarına bağlı olarak değiştiğini belirlemişlerdir.

Madiwale ve ark. (2018) jatropha, soya fasulyesi, hurma yağı ve pamuk tohumu yağından ürettikleri biyodizel ile karışım oranları %20 biyodizel - %75 dizel - %5 etanol olacak şekilde yakıt karışımları hazırlamışlar ve elde ettikleri yakıtların yakıt özelliklerini IS 1448 standartlarına göre test etmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar karışım yakıtlarını, tek silindirli, dört zamanlı, değişken sıkıştırma oranına sahip bir motorda, çeşitli yük koşulları altında motor performansı testlerine tabi tutmuşlardır. Etanol ilave edilen yakıtların kinematik viskozitesinin, bulutlanma ve akma noktalarının düştüğünü, motor performansı analizleri sonucunda ise mevcut karışımlara etanol katkısı ile özgül yakıt tüketimi, fren gücü ve fren termal verimliliği değerlerinde artış olduğunu belirtmişlerdir.

Prbakaran ve Viswanathan (2018) dizel motorlarda pamuk tohumu yağı metil esteri ve etanol içeren yakıt karışımlarının performans, yanma ve emisyon özelliklerini değerlendirmişlerdir. Karışımlarda kullanılan biyodizeli, pamuk tohumu yağından transesterifikasyon yöntemini kullanarak üretmişlerdir. Karışım yakıtlarını hacimce biyodizele %20 ve %50 oranında etanol ilavesi ile elde etmişler ve dizel yakıtına ait deneme sonuçları ile karşılaştırmışlardır. Araştırma sonucunda;

- Karışımların fren termal verimliliğinin dizel yakıtla benzer sonuçlar verdiğini,
- Yüksek yüklerde CO ve HC, normal yüklerde NOx ve duman emisyonlarında azalma, düşük yüklerde ise bu değerlerde artış olduğunu belirtmişlerdir.

Ayrıca araştırmacılar, dizel motorlarda yenilenebilir kaynaklardan üretilen yakıtların kullanımı ile fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılabileceğini vurgulamışlardır.

Geng ve ark. (2019) bütanolün kinematik viskozitesini azaltmak ve yakıt atomizasyonunu artırmak için biyoyakıt ile harmanlanabileceğini vurgulamışlar ve biyodizele %10 ve %20 oranlarında bütanol ilave ederek yakıt karışımları hazırlamışlardır. Elde edilen karışımların yanma özelliklerini ve partikül emisyonlarını belirlemek için yakıtları, altı silindirli, turboşarjlı, Common Rail bir dizel motorda 1400 min^{-1} sabit hızda test etmişlerdir. Araştırmacılar, çeşitli motor yüklerinde bütanol ve biyodizel yakıt karışımlarının, bütanolün daha yüksek olan oksijen içeriğinden dolayı dizelden daha iyi yanma sağladığını, bütanol oranındaki artış ile bütanol-biyodizel yakıt karışımlarının kurum emisyonlarında azalmalara neden olduğunu, ultra ince partiküllerin sayısı ve konsantrasyonu ile hacminin belirgin şekilde azaldığını ifade etmişlerdir.

(Şahin, 2019) kanola yağından transesterifikasyon yoluyla ürettiği biyodizel yakıtını motorinle %5 ve %10 oranında biyoetanol ilavesi ile birlikte ve ters oranla hacimsel olarak karıştırarak, D100, E10B10D80, E5B5D90, E10B5D85, E5B10D85 ve B100 formunda yakıtlar elde etmiştir. Ayrıca yakıtlara ait yakıt özellikleri, motor performansı ve egzoz emisyon değerlerini incelemiştir. Araştırmada motor performansı ve egzoz emisyonu değerlerini belirlemek için yaptığı testleri, tek silindirli, dört zamanlı ve su soğutmalı dizel bir motor üzerinde gerçekleştirmiştir. Araştırma sonucunda;

- En yüksek motor torkunu E5B10D85 yakıtında, en yüksek motor gücünü ise kullanılan dizel (D100) yakıtında elde ettiğini,
- CO_2, HC ve NOx değerlerinin genel olarak dizel yakıtından düşük çıktığını,
- CO miktarındaki maksimum azalmanın B100 yakıtında olduğunu,
- SO_2 değerinin en düşük B100, en yüksek D100 yakıtında gerçekleştiğini,
- En yüksek O_2 içeriğinin düşük devirlerde D100 yakıtında, yüksek devirlerde ise B_{100} yakıtından elde edildiğini ifade etmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Hamsi balığı ve yağı

Dünya üzerindeki konumu itibariyle ülkemiz, üç tarafının denizlerle çevrili olması ve çok sayıda göl, gölet, baraj gölleri ve akarsu barındırması ile su ürünleri üretim potansiyeli bakımından önemli ülkeler arasında yer almaktadır. Ülkemizde su ürünleri üretiminin büyük bir kısmı avcılıktan, avcılıkla elde edilen üretim ise büyük oranda denizlerden sağlanmaktadır. Bu ürünlerden biri olan ve ülkemiz balıkçılığında önemli bir yer tutan hamsi, genellikle bütün tropik ve subtropik denizlerde yaşam sürmekte olup, denizlerin kıyı kesimlerinde sürüler oluşturmaktadır. Hamsinin bol miktarda bulunduğu Karadeniz'de genellikle iki türüne rastlanmaktadır. Bu türler sistematikte Karadeniz hamsisi (*Engraulis encrasicolus ponticus*) ve Azak hamsisi (*Engraulis encrasicolus maeticus*) olarak isimlendirilmektedir (Genç, 2007). Şekil 3.1'de hamsi balığının (*Engraulis encrasicolus*) genel görünümü verilmiştir.



Şekil 3.1. Hamsi balığı (*Engraulis encrasicolus*)

FAO (Food and Agriculture Organization) verilerine göre dünyada 2016 yılında avcılık ile toplam 90 milyon 925 bin ton, yetiştiricilik ile 80 milyon 70 bin ton olmak üzere toplamda 170 milyon 995 bin ton balık üretimi yapılmıştır (Anonymous, 2018b). Türkiye'de ise 2017 yılı itibariyle avlanmak suretiyle 354 bin, yetiştirmek suretiyle ise 276 bin ton olmak üzere toplamda 630 bin ton balık üretimi yapılmıştır. Ülkemiz denizlerinde hemen her türden balık bulunmakla birlikte, 2017 yılında avcılığı yapılan balıklar arasında 158.094 ton ile hamsi balığı ilk sırada yer almaktadır (Anonymous, 2017).

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre 2017 yılında ülkemizde üretimi yapılan 630 bin ton balığın 441 bin 573 tonu iç tüketimi karşılamış, 130 bin 917 tonu ise balık unu ve yağı fabrikalarında işlenmiştir (Anonymous, 2017).

Araştırmada kullanılan hamsi yağı, avlanma sırasında zarar gören, bu yüzden atık olarak nitelendirilen ve dolayısıyla piyasada satılma imkanı olmayan hamsilerin toplatılıp ısıl işlemler sonucu balık yağı ve balık unu olarak işlendiği bir tesisten temin edilmiştir. Tesis Trabzon ili Çarşıbaşı ilçesinde yer almaktadır.

3.1.2. Biyoetanol

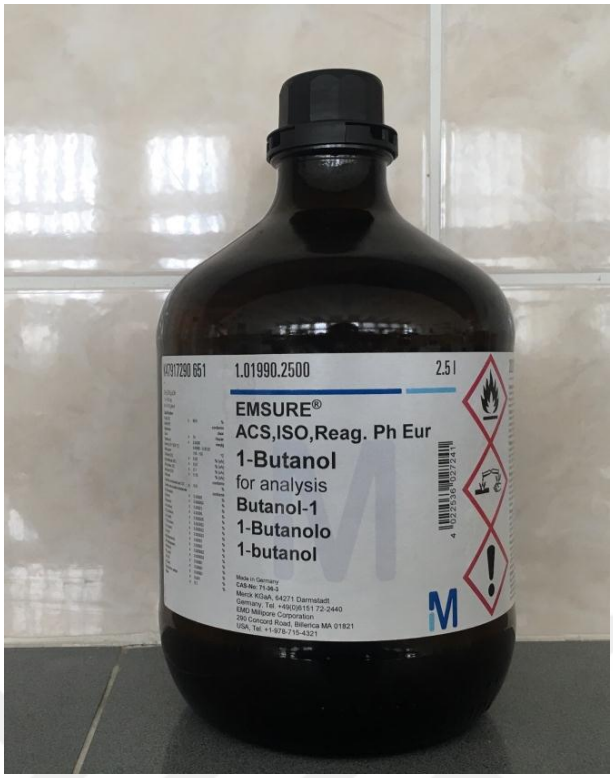
Araştırmada, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$ ve $M_{65}B_{20}E_{15}$ yakıt karışımlarında kullanılan biyoetanol Konya Şeker Sanayi ve Tic. A.Ş bünyesinde bulunan Biyoetanol Tesisi'nden temin edilmiştir. Biyoetanolün görünümü Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Biyoetanol

3.1.3. Bütanol

Araştırmada, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıt karışımlarında kullanılan bütanol piyasadan temin edilmiştir. Kullanılan bütanolün görünümü Şekil 3.3'de görülmektedir.



Şekil 3.3. Bütanol

3.1.4. Motorin

Motorin, Eurodiesel olup piyasadan temin edilmiştir.

3.1.5. Hamsi yağından elde edilen biyodizelin üretiminde kullanılan kimyasallar

3.1.5.1. Metil alkol ve katalizör

Hamsi yağından biyodizel üretimi sırasında uygulanan transesterifikasyon işleminde, reaksiyonun gerçekleşmesi için "Merck" marka metil alkol ve üretim safhasında katalizör olarak sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Şekil 3.4'de biyodizel üretiminde kullanılan sodyum hidroksit ve metil alkol görülmektedir.



Şekil 3.4. Metil alkol (CH_3OH) ve sodyum hidroksit (NaOH)

3.1.6. Hamsi yağı metil esterinin üretilmesinde kullanılan pilot üretim tesisi

Hamsi yağından biyodizel elde etmek için Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesinde bulunan "DPT 2004/7" nolu proje desteği ile kurulmuş olan "PLC Destekli Pilot Üretim Tesisi"nden yararlanılmıştır. Şekil 3.5 ve 3.6'da Pilot Biyodizel Üretim Tesisi'nin genel ve şematik görünümü verilmiştir. Pilot üretim tesisi ;

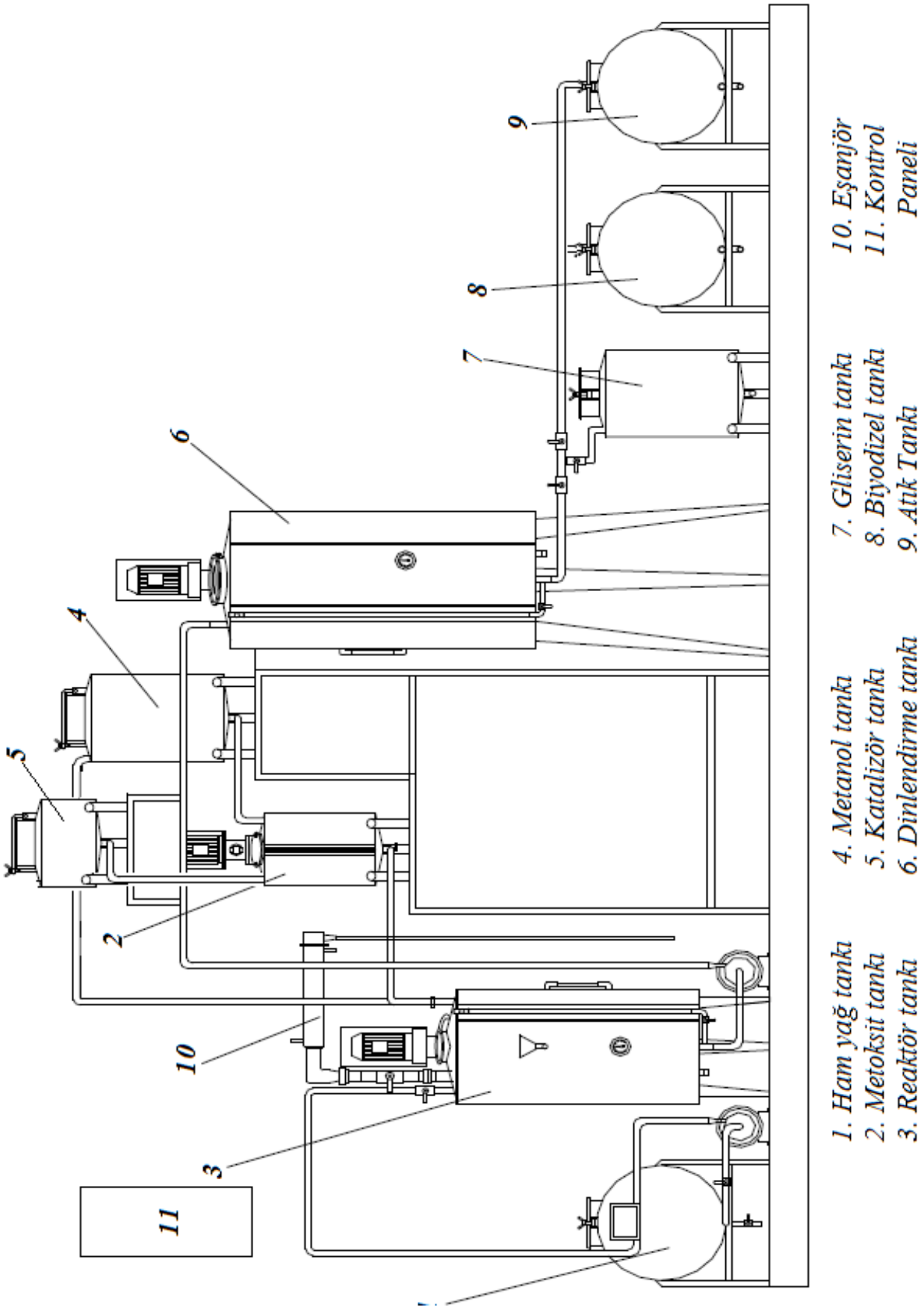
- Ham yağ tankı,
- Reaktör tankı,
- Metoksit tankı,
- Katalizör tankı,
- Metanol tankı,
- Dinlendirme tankı,
- Biyodizel tankı,
- Gliserin tankı,
- Atık tankı
- Kontrol paneli ünitesi kısımlarından oluşmaktadır.

3.1.7. Yakıt analiz laboratuvarı

Motor denemelerinde kullanılan tüm yakıt ve karışımlarına (M_{100}, B_{100}, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$) ait yakıt özelliklerini belirlemek amacıyla aynı proje bünyesinde oluşturulan ve Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü'nde yer alan Yakıt Analiz Laboratuvarı'ndan faydalanılmıştır. Laboratuvarın genel görünümü Şekil 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.5. PLC destekli pilot üretim tesisinin genel görünümü



Şekil 3.6. PLC destekli pilot üretim tesisi şematik görünümü (Oğuz ve Öğüt, 2005)



Şekil 3.7. Biyodizel laboratuvarı genel görünümü

3.1.8. Yakıt ve karışımlarına ait fiziksel ve kimyasal özelliklerin belirlenmesinde kullanılan cihazlar

3.1.8.1. Laboratuvar tipi karıştırıcı

Yakıt karışımları ($M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$) hazırlanırken, karışımı oluşturan yakıtların birbirleriyle homojen bir şekilde karışımını sağlamak için laboratuvar tipi karıştırıcıdan yararlanılmıştır. "Yellow Line" marka "DI 18 Basic" model olan karıştırıcının devir sayısı 50-2000 min^{-1} arasındadır. Şekil 3.8'de cihazın görünümü verilmiştir.

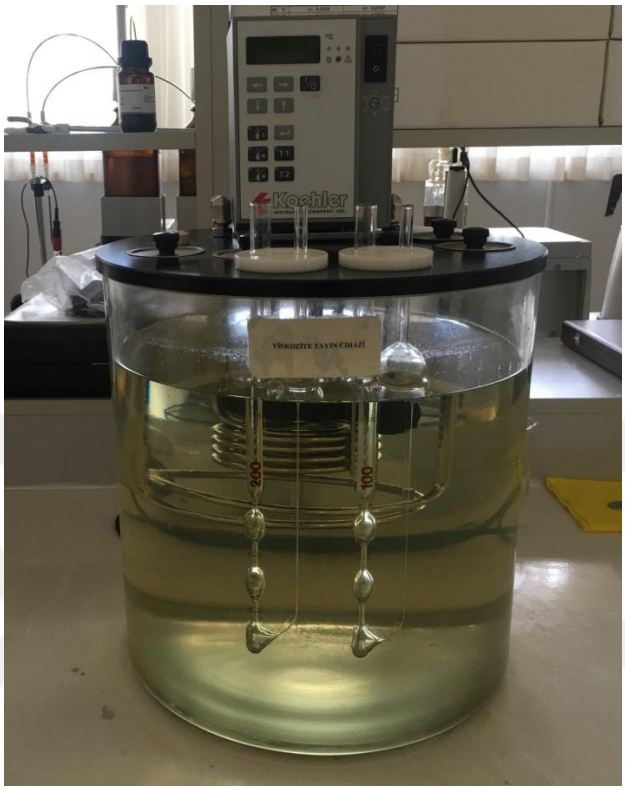


Şekil 3.8. Homojenizatör

3.1.8.2. Kinematik viskozite ölçüm cihazı ve kronometre

Hamsi yağı, hamsi yağından elde edilen biyodizel (B_{100}), motorin (M_{100}) ve yakıt karışımlarının ($M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$) viskozite değerlerinin belirlenmesinde yakıt laboratuvarında bulunan kinematik viskozite

ölçüm cihazı kullanılmıştır. 25 °C ile 150 °C arası çalışma sıcaklığına sahip olan "Koehler" marka "K23377" modelindeki cihazla ASTM D 445, DIN 51550 VE ISO 3104 standartlarına göre ölçüm yapılabilmektedir. Kinematik viskozite ölçüm cihazının görünümü Şekil 3.9'da görülmektedir.



Şekil 3.9. Kinematik viskozite ölçüm cihazı

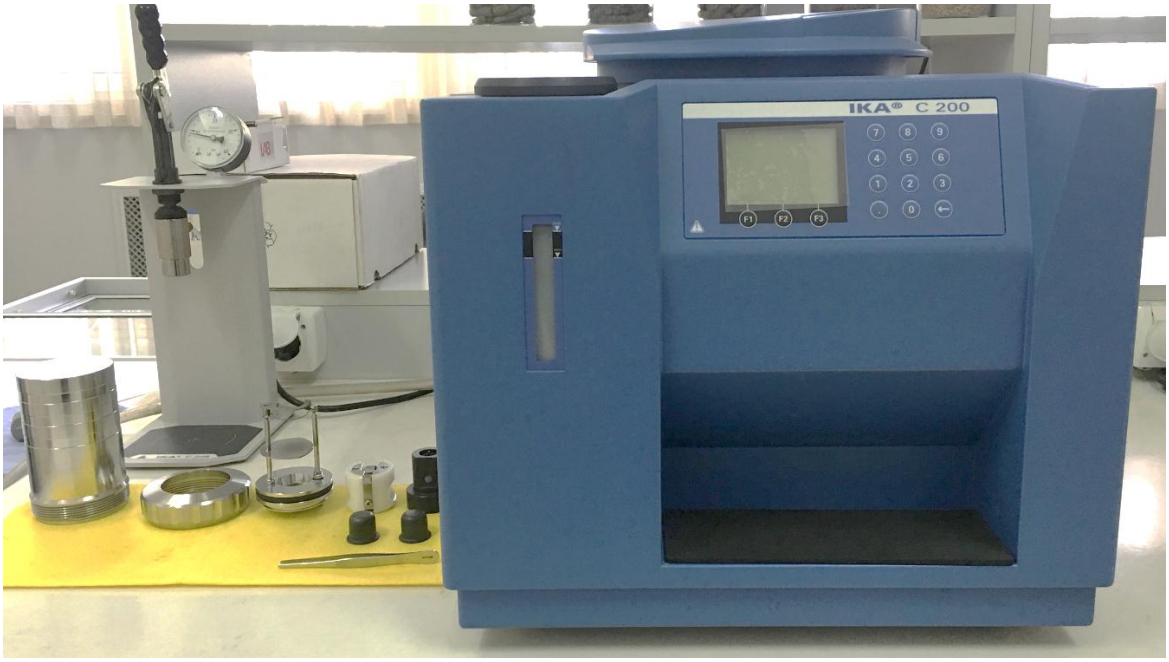
Tüm yakıt ve karışımlarına ait Kinematik viskozite değerlerinin belirlenmesi sırasında zaman ölçümünü yapmak için "Taksun" marka "TS-615" model kronometre kullanılmıştır. 15 dakika kapasitesi olan ve 0.1 saniye hassasiyetle ölçüm yapabilen kronometrenin genel görünümü Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. Kronometre

3.1.8.3. Kalori ölçüm cihazı

M_{100}, B_{100}, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıt ve karışımlarının kalori değerlerinin analizinde "IKA" marka "C200" model cihaz kullanılmıştır. Maksimum ölçüm aralığı 40.000 J olan kalori tayin cihazı EN 61020, EN 50082, EN 55014, ve EN 60555 standartlarında ölçüm yapabilmektedir. Şekil 3.11'de kalori ölçüm cihazı görülmektedir.



Şekil 3.11. Kalori tayin cihazı

3.1.8.4. Yoğunluk ölçüm cihazı

Şekil 3.12'de genel görümü verilen yoğunluk ölçüm cihazı ile, Hamsi yağı, M_{100}, B_{100}, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıt ve karışımlarının yoğunluk değerleri belirlenmiştir. "Kem Kyoto" marka "DA-130N" model olan cihazın ölçüm sıcaklık aralığı 0 °C ile 40 °C arasında olup, ölçüm sonuçlarını 15 °C'de g/cm^3 cinsinden vermektedir.



Şekil 3.12. Yoğunluk ölçüm cihazı

3.1.8.5. Setan sayısı ölçüm cihazı

M_{100}, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıt ve karışımlarının setan sayısı analizleri Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümüne ait yakıt analizi laboratuvarında yaptırılmıştır. Şekil 3.13'de "Zeltex" marka ve "ZX 440" model setan sayısı ölçüm cihazı görülmektedir.



Şekil 3.13. Setan sayısı ölçüm cihazı

3.1.8.6. Su içeriği ölçüm cihazı

Hamsi yağı ile M_{100}, B_{100}, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıt ve karışımlarına ait su içeriği analizlerinde "Kem Kyoto Electronics" marka ve "MKC-501" model ölçüm cihazı kullanılmıştır. Ölçüm sıcaklığı 5-35 °C arasında olan cihazın, ölçüm aralığı 10 - 100 miligram arasındadır. Cihaz, ölçüm sonuçlarını 16 karakterli LCD ekranından vermektedir. Şekil 3.14'de su içeriği ölçüm cihazının görünümü verilmiştir.



Şekil 3.14. Su içeriği ölçüm cihazı

3.1.8.7. Parlama noktası ölçüm cihazı

M_{100} ve B_{100} yakıtlarının parlama noktalarının ölçümünde "Koehler" marka ve "K16270" model cihaz kullanılmıştır. Şekil 3.15'de, ASTM D 93, DIN 51758 ve ISO 2719 standartlarına göre ölçüm yapabilen cihazın genel görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.15. Parlama noktası tayin cihazı

3.1.8.8. Soğuk filtre tıkanma noktası ölçüm cihazı

M_{100}, B_{100}, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıt ve karışımlarına ait soğuk filtre tıkanma noktası değerlerinin ölçümünde, ASTM D 6371 standartlarına uygun ölçüm yapabilen "TANAKA" marka ve "AFP-102" model cihaz kullanılmıştır.

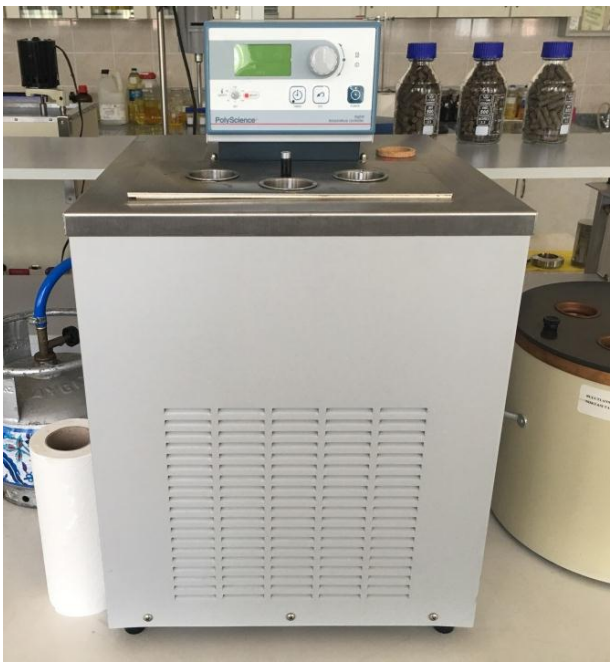
Tek pozisyonlu masaüstü tip ve peltier soğutma üniteli cihazda, petrol türevi ve biyoyakıtların ölçümleri yapılabilmektedir. Soğutmalı sirkülatör ünitesi –60 °C'ye kadar kontrol edilebilen cihazda, yapılan testlerin sonucu UFD ekran modülü kontrol ünitesinden otomatik olarak alınabilmektedir. Soğuk filtre tıkanma noktası ölçüm cihazının görünümü Şekil 3.16'da verilmiştir.



Şekil 3.16. Soğuk filtre tıkanma noktası ölçüm cihazı

3.1.8.9. Bulutlanma ve akma noktası tayin cihazı

M_{100}, B_{100}, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıt ve karışımlarına ait bulutlanma ve akma noktalarının tespiti için "PolyScience" marka cihaz kullanılmıştır. Şekil 3.17'de ASTM D 97 standardına uygun ölçüm yapabilen cihazın genel görünüşü verilmiştir.



Şekil 3.17 Bulutlanma akma noktası tayin cihazı

3.1.8.10. Bakır şerit korozyon test cihazı

M_{100}, B_{100}, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıt ve karışımlarının, bakır ve alaşımları üzerindeki korozif etkisini belirlemek için "Koehler" marka ve "K 25330" model cihaz kullanılmıştır. Banyo sıcaklığının maksimum 190 ± 1 °C'ye kadar kademeli olarak artırılabildiği cihaz ASTM D 130, DIN 51759 ve ISO 2160 standartlarına göre ölçüm yapabilmektedir. Şekil 3.18'de bakır şerit korozyon test cihazı görülmektedir.



Şekil 3.18 Bakır şerit korozyonu test cihazı

3.1.8.11. Hassas terazi

Biyodizel üretimi (katalizör miktarının ölçülmesinde) ile tüm yakıt ve karışımlarına ait bazı analizlerde (su muhtevası ölçümü, kalori değeri ölçümü) tartım işlemlerini gerçekleştirmek için 0.1 mg - 210 gr aralığında ölçüm yapabilen "Denver Instrument" marka hassas terazi kullanılmıştır. Şekil 3.19'da hassas terazinin görünüşü verilmiştir.

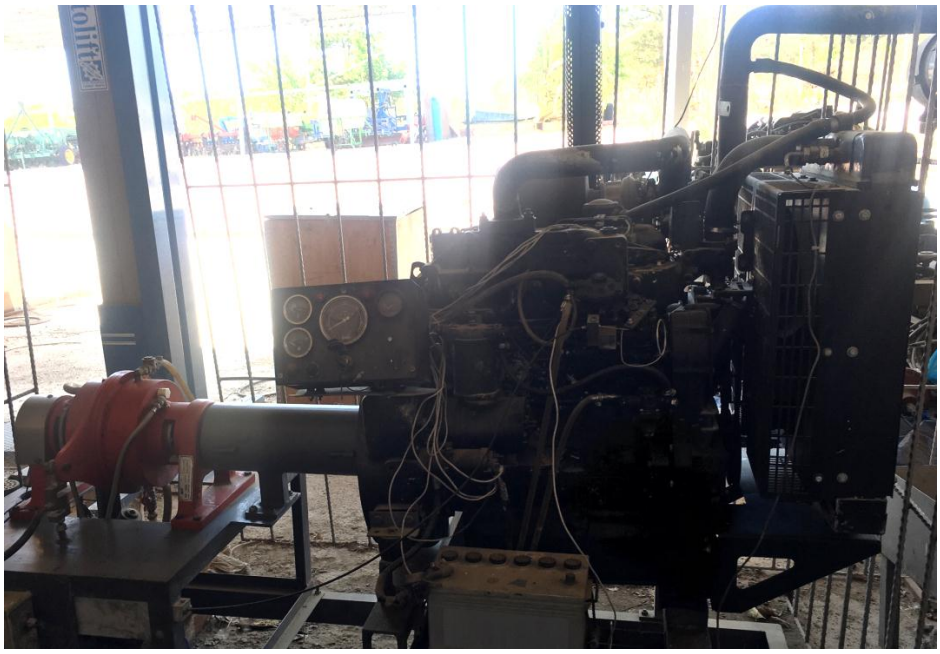


Şekil 3.19. Hassas terazi

3.1.9. Motor ve test düzeneği

3.1.9.1. Motor

Tüm yakıt ve karışımlarına ait motor performansı ve emisyonu değerlerinin belirlenmesinde kullanılan 4 silindirli, turboşarjlı, dizel motorun genel görünüşü ile motora ait teknik özellikler sırasıyla Şekil 3.20 ve Çizelge 3.1'de verilmiştir.



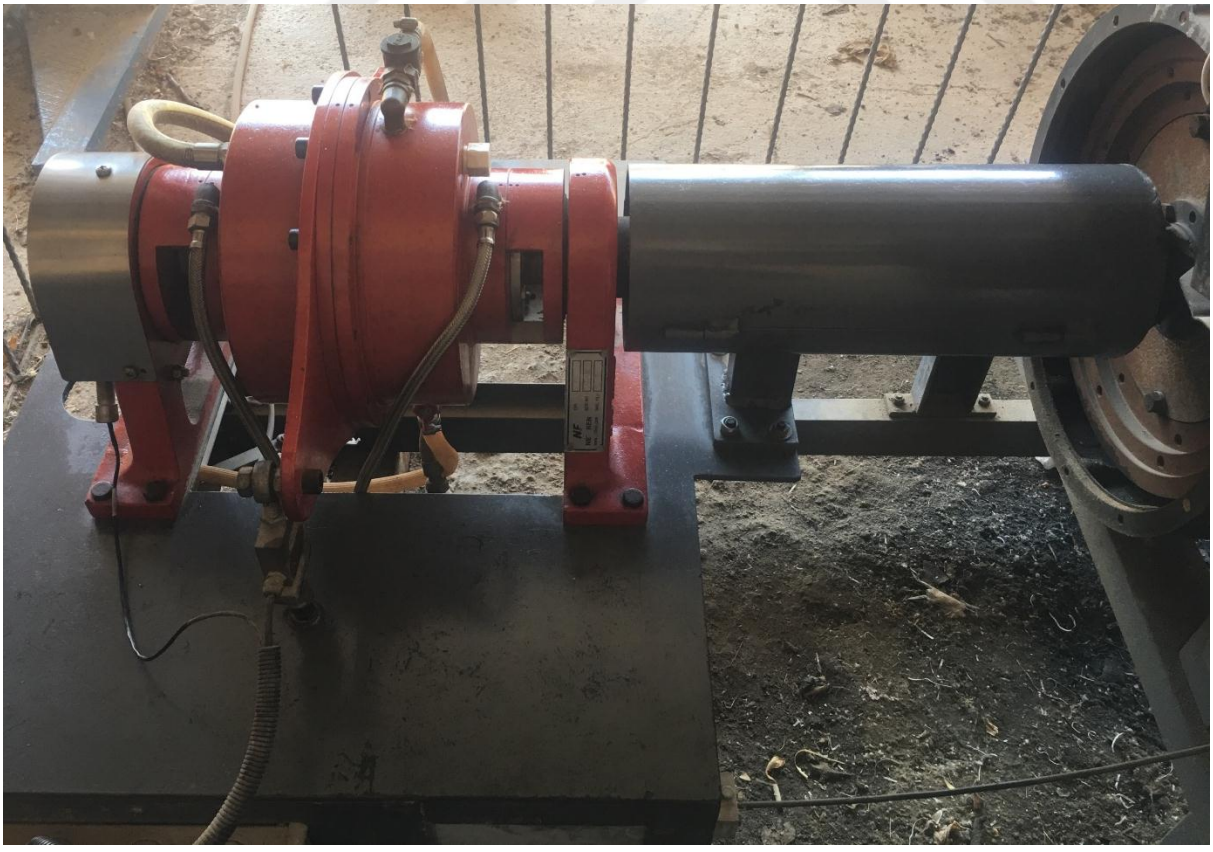
Şekil 3.20. Deney motoru ve deney düzeneği

Çizelge 3.1. Deney motoruna ait teknik özellikler

Teknik Özellikler	Birim	Değeri/Markası
Markası - Modeli	-	Tümosan 4DT-39T-185C
Anma Gücü	BG	85
Anma Torku	Nm	330
Toplam Motor Hacmi	cm^3	3908
Çap x Strok	mm	104 x 115
Silindir Sayısı	-	4
Aspirasyon	-	Turboşarj
Sıkıştırma Oranı	-	17:01
Yanma Sistemi	-	Direkt Enjeksiyon
Soğutma Sistemi	-	Su Soğutmalı

3.1.9.2. Hidrolik dinamometre

Motorun torkunu, hızını ve motor gücünü ölçmek üzere stator ve rotor grubundan oluşan, paslanmaz çelikten imal edilmiş hidrolik dinamometre kullanılmıştır. Harici yağlamaya gerek duyulmadan çalışan sistemde rotor ile stator arasında su kullanılmaktadır. Hidrolik Dinamometreye ait görünüm Şekil 3.21'de verilmiştir.



Şekil 3.21. Hidrolik dinamometre

3.1.9.3. Magnetic pick-up

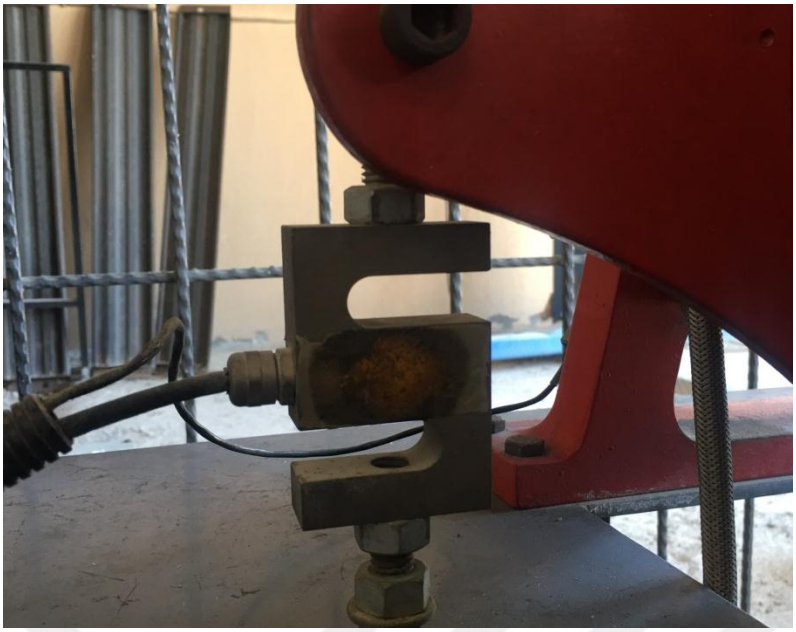
Motor ya da dinamometre devir sayısını ölçmek amacıyla magnetic pick-up kullanılmıştır. Dinamometre mili üzerine yerleştirilen cihaz dönme esnasında diş sayarak ölçüm yapabilmektedir. Sabit durumdaki algılayıcı sensörün karşısından geçen her bir diş için ileti üretilmektedir. Üretilen bu iletiler bilgisayara bağlı bir sayıcı ile sayılıp motor devri belirlenmektedir. Şekil 3.22'de magnetic pick-up'ın görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.22. Magnetic pick-up

3.1.9.4. S tipi loadcell

Sisteme bağlı olan dinamometrenin torkunu ölçmek için S tipi loadcell kullanılmıştır. Tork koluna bağlanan loadcelle etkiyen kuvvet ölçülmek suretiyle dinamometre frenleme momenti ya da motor momenti belirlenmektedir. Ölçülen değerler bilgisayar ortamına aktarılarak motor gücü hesaplanabilmektedir. S tipi loadcell'in görünümü Şekil 3.23'de verilmiştir.



Şekil 3.23. S tipi loadcel

3.1.9.5. Kütlesel ölçüm cihazı

Motor üzerinde test yapılırken birim motor yükünde birim zamanda tüketilen yakıt miktarını ölçmek için kütlesel ölçüm cihazı kullanılmıştır. Kütlesel ölçüm cihazı yakıt deposu ve yakıt pompası arasında konumlandırılmış olup kütlesel olarak ölçüm yapmaktadır. Denemeler esnasında elde edilen değerler cc/s, g/s, kg/h, ve g/BGh cinsinde bilgisayara aktarılıp kaydedilebilmektedir. Şekil 3.24'de kütlesel olarak yakıt tüketimi ölçümü yapabilen cihaz görülmektedir.



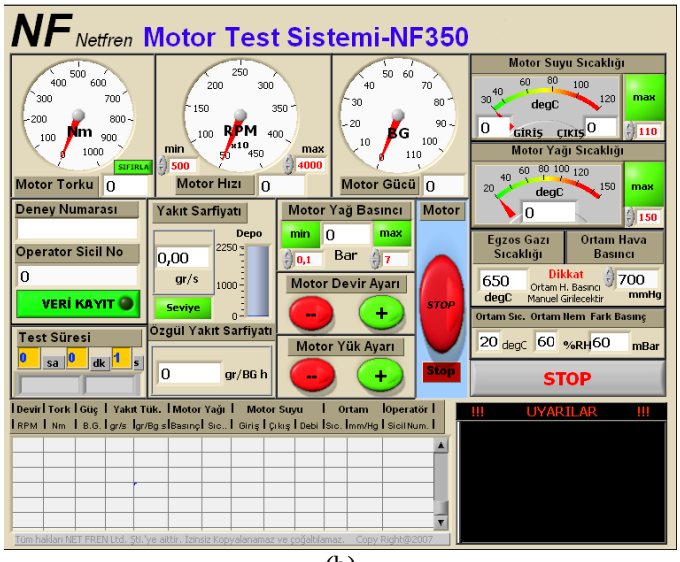
Şekil 3.24. Kütlesel ölçüm cihazı

3.1.9.6. Dinamometre kontrol ünitesi

Motor testi boyunca sensörlerden gelen verilerin işlenip ölçüm için anlamlı hale getirildiği ünitedir. Motorun çalışması esnasında hızını ve dinamometre yükünü ayarlamak için gerekli fonksiyonları barındıran Dinamometre Kontrol Ünitesi ölçülen değerlerin sınır değerlerini aşması durumunda uyarı vermektedir. Ayrıca değerlerin tehlikeli sınırlara gelmesi halinde sistemi otomatik olarak kapatacak şekilde tasarlanmıştır. Motorun çalıştırılıp durdurulması ünite üzerindeki şalterler ile sağlanmaktadır. Şekil 3.25'de Dinamometre Kontrol Ünitesi (a) ve kayıt sistemi (b) görülmektedir.



(a)



(b)

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

3.1.9.7. Egzoz emisyonları ölçümü

Motor testleri esnasında egzoz emisyonu ölçüm değerleri "Mobydic" marka egzoz emisyon cihazı ile belirlenmiştir (Şekil3.26).



Şekil 3.26. Egzoz ölçüm cihazı

Egzoz emisyon ölçüm cihazına ait teknik özellikler ise Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Egzoz ölçüm 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

3.2. Yöntem

3.2.1. Hamsi yağının filtre edilmesi

Araştırmada kullanılan hamsi yağı, biyodizel üretiminde kullanılmadan önce ilk olarak filtrasyon işleminden geçirilmiştir. Şekil 3.27'de kullanılan filtre, yapılan filtrasyon işlemi ve sonucunda elde edilen hamsi yağı görülmektedir.



Şekil 3.27. Hamsi yağının filtre edilme işlemi

3.2.2. Hamsi yağından biyodizel üretimi

Hamsi yağından biyodizeli üretiminde Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi bünyesinde bulunan ve DPT 2004/7 proje desteği ile kurulmuş olan PLC destekli Pilot Üretim Tesisinden faydalanılmıştır. Biyodizel üretiminde en çok tercih edilen yöntem olan transesterifikasyon yöntemi kullanılmıştır (Öğüt ve Oğuz, 2006).

Hamsi yağından biyodizel elde etmek için pilot üretim tesisinde bulunan reaktörde aşağıda işlemler sırasıyla uygulanmıştır:

- Pilot üretim tesisi sisteminde bulunan ham yağ tankına 20 litre hamsi yağı konmuştur. Ham yağ sistem içerisinde bir diğer ünite olan ve reaksiyonun gerçekleşeceği reaktör tankına pompalanmıştır. 60 °C'ye kadar ısıtılan yağ reaktör tankı içerisinde bulunan karıştırıcı ile karıştırılarak ayarlanan sıcaklığın tank içerisinde homojen olarak dağılması sağlanmıştır. Termostat ve PLC kontrol ünitesi yardımıyla sıcaklık 60 °C'de sabit tutulmuştur.
- Üretimde kullanılacak olan metanol ve karışımındaki sodyum hidroksit miktarı, hassas terazi yardımıyla ölçülmüştür. 20 litre yağa karşılık 4 litre metanol ve 94 gram NaOH hazırlanıp metoksit tankına boşaltılmıştır.
- 4 litre metanol ile 94 gram NaOH (alkol ve katalizör) metoksit tankında çözülerek, reaksiyonun gerçekleştirileceği reaktör tankı içerisindeki hamsi yağına aktarılmıştır. Alkol kaybının önlenmesi için reaktör kapağı sıkıca kapatılmıştır.
- Reaktör tankında metoksit ile birleştirilen hamsi yağı 60°C sabit sıcaklıkta 120 dakika karıştırılmıştır. 120 dakikalık karıştırma süresi dolduktan sonra gerçekleştirilen reaksiyon sonucu ortaya çıkan iki üründen biri olan gliserinin çökmesi için 24 saat beklenmiştir. Çökme işlemi sonucunda biyodizel ve dibe çöken gliserin Şekil 3.28'de görülmektedir.



Şekil 3.28. Biyodizel ve dibe çöken gliserin

- Gliserinden ayrılan ham biyodizel dinlendirme tankına alınıp yıkama işlemi için bir süre soğuması beklenmiştir.
- Elde edilen ham biyodizel mistleme yöntemi ile 50°C saf su ile yıkama işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlemden sonra yıkama suyunun tankın dibine çökmesi için 15 saat beklenmiştir. Çökmüş olan su atık su tankına aktarılmıştır.
- Yıkama işleminden sonra yıkama tankındaki biyodizelin içerisinde su kalma ihtimaline karşı sıcaklık 115°C çıkarılıp 2 saat boyunca biyodizele buharlaştırma işlemi uygulanmıştır. 2 saatlik süre sonunda hamsi yağından biyodizel üretimi gerçekleşmiştir (Eryılmaz, 2009; Sekmen ve Şen, 2016). Elde edilen hamsi yağı metil esteri Şekil 3.29'da görülmektedir.



Şekil 3.29. Hamsi yağı biyodizeli (B_{100})

3.2.3. Biyodizel, biyoetanol, bütanol ve motorin karışımlarının hazırlanması

Karışım yakıtları oluşturulurken hacimsel olarak belli oranlarda hazırlanmış ve motorine önce hamsi yağı metil esteri, daha sonra alkoller (biyoetanol ve bütanol) ilave edilmiştir. Çizelge 3.3'de araştırmada kullanılan yakıt ve karışımlarına ait % miktarları Şekil 3.30'da ise hazırlanan yakıt ve karışımlara ait genel görünüşler verilmiştir.

Çizelge 3.3. Motorin, biyodizel ve alkol karışım oranları

Karışım Adı	Motorin (M) (%)	Biyodizel (B) (%)	Biyoetanol (E) (%)	Bütanol (Bü) (%)
M_{100}	100	-	-	-
B_{100}	-	100	-	-
$M_{80}B_{20}$	80	20	-	-
$M_{75}B_{20}E_5$	75	20	5	-
$M_{70}B_{20}E_{10}$	70	20	10	-
$M_{65}B_{20}E_{15}$	65	20	15	-
$M_{75}B_{20}Bü_5$	75	20	-	5
$M_{70}B_{20}Bü_{10}$	70	20	-	10
$M_{65}B_{20}Bü_{15}$	65	20	-	15



1	2	3	4	5	6	7	8
M_{100}	$M_{80}B_{20}$	$M_{75}B_{20}E_5$	$M_{70}B_{20}E_{10}$	$M_{70}B_{20}E_{15}$	$M_{75}B_{20}Bü_5$	$M_{70}B_{20}Bü_{10}$	$M_{70}B_{20}Bü_{15}$

Şekil 3.30. Araştırmada kullanılan yakıt ve karışımlar

3.2.4. Yakıt ve karışımlarına ait yakıt özelliklerinin belirlenmesi

3.2.4.1. Yoğunluk

Ölçüm hassasiyetini sağlamak için ölçülmek istenen yakıt ile yoğunluk ölçüm cihazının içi temizlenmiştir. Ardından ölçümler yapılıp cihaz üzerinde bulunan LCD ekrandan gcm^{-3} biriminde değerler okunarak kaydedilmiştir.

3.2.4.2. Kinematik viskozite

Analizi yapılacak olan yakıt, cihaz içerisindeki cam ölçüm tüpüne konulmadan önce cihaz açılarak ölçüm sıcaklığı olan 40 °C'ye ayarlanmış ve sıcaklığın yükselmesi için bir süre beklenmiştir. Ölçüm hassasiyetini korumak için viskozite ölçümü yapılacak yakıt ile cihaz içine daldırılmış olan cam ölçüm tüpü temizlenmiştir. Temizlik işleminden sonra ölçüm tüpünün içine yakıt numunesi konulmuştur. Yaklaşık olarak oda sıcaklığında bulunan yakıt numunesinin ölçüm sıcaklığına gelmesi beklenmiştir. Ters akış özelliğine uygun olarak çalışan viskozite ölçüm cihazında bulunan cam tüpün üzerinde farklı büyüklüklerde balonlar bulunmaktadır. Pipet ya da puar yardımıyla balonun dolması sağlanıp ters akış özelliğine bırakılmıştır.Cam tüp üzerinde bulunan iki ölçüm çizgisi arasında geçen akma süresi kronometre yardımıyla ölçülüp saniye cinsine çevrilip not edilmiştir. İlgili balonun 40 °C'deki ölçüm katsayısı ile kronometreden okunan değer saniye cinsinden çarpılıp (örn. 64 x 0.0747) viskozite sonucu bulunmuştur.

3.2.4.3. Kalori değeri

Kalori ölçümü yapılacak olan yakıt numunesinden oda sıcaklığında hassas terazi yardımıyla ölçüm yapılıp 0.1 gram alınmıştır. Alınan bu numune kalori ölçüm cihazı içindeki kroze adı verilen numune kabına konulmuştur. Ardından yakma ipi kroze içine daldırılmıştır. Askı aparatına yerleştirilen kroze bomba içerisine yerleştirildikten sonra ağzı sıkıca kapatılıp içerisine 28 bar oksijen basılmıştır. Bomba kalorimetre cihazına yerleştirilip cihazın ilgili bölümüne oda sıcaklığında yaklaşık 2 litre çeşme suyu ilave edilmiştir. Cihazın kapağı kapatılıp "Prepare"(F2) tuşuna basılmıştır. Cihazın üzerinde bulunan numaratör yardımıyla 0.1 g olan numune miktarı cihaza girildikten sonra "OK" tuşuna basılmıştır. Yaklaşık 8 dakika bekleme süresinden sonra cihaz bilgi ekranında kalori değeri cal/g biriminde okunmuştur. Ardından bu değer $MJkg^{-1}$ birimine çevrilmiştir.

3.2.4.4. Su içeriği

Yakıt içerisindeki su miktarı belirlenirken Karl Fischer titrasyon yönteminden faydalanılmıştır. Tek kullanımlık şırınga vasıtasıyla yakıttan 3 ile 5 ml kadar yakıt numunesi alınarak hassas terazi ile hem şırınga hem de içerisindeki yakıt numunesi tartılmıştır. Tartılan

ilk değer not edilmiştir. Cihaz ekranında numunenin enjekte edilmesine izin veren "GİR" komutu görüldüğünde yakıt numunesi cihazın titrasyon kabına şırınga içinde kalmayacak şekilde boşaltılmıştır. Boş şırınga hassas terazide tekrar tartılıp şırınganın kendi ağırlığı belirlenmiştir. Tartılan bu ikinci değer de not edilmiştir. Son olarak cihaz bilgi ekranında "GİR" komutu çıktığında ilk ağırlık girilip "Enter" tuşuna basılmıştır. Ardından tartılıp not edilen ikinci ağırlık girilip tekrar "Enter" tuşuna basılmıştır. Sonuç olarak yakıttaki su miktarı cihaz bilgi ekranında ppm (mg/kg) biriminde okunup kaydedilmiştir.

3.2.4.5. Soğuk filtre tıkanma noktası

Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (SFTN) ölçüm cihazında bulunan deney tüpüne 45 ml yakıt numunesi koyularak tüp cihaz içine yerleştirilmiştir. 20 ml yakıtın 60 saniye süre boyunca güvenle geçeceği minimum sıcaklık değeri cihaz tarafından ölçülmüş ve sonuç bilgi ekranından okunmuştur.

3.2.4.6. Bulutlanma noktası

Yakıtın bulutlanma noktasını ölçmek için 32 x 115 mm çapındaki deney tüpüne üzerinde bulunan çizgiye kadar (45 ml) yakıt numunesi konulmuştur. Cihaza yerleştirilen tüp belirli bir hızda soğutulurken periyodik olarak yakıttaki değişim tüp cihazdan çıkarılarak takip edilmiştir. Soğutma seviyesi ilerledikçe deney tüpü daha sık aralıklarla kontrol edilerek alt kısmında bulutlanmanın oluştuğu sıcaklık değeri yakıt numunesinin bulutlanma noktası olarak not edilmiştir.

3.2.4.7. Akma noktası

Bulutlanma noktasını tayin ettikten sonra tüp cihazın içerisinde bırakılıp soğutmaya devam edilmiştir. Tüp içerisindeki yakıt numunesi periyodik olarak kontrol edilmiştir. Ardından tüpün elle hareketi sağlanıp içerisindeki yakıtın akıcılığı kontrol edilmiştir. Akıcılığın tamamen durduğu anda yakıt cihazdan çıkarılıp akıcılığın olmadığı sıcaklık değeri not edilmiştir. Akıcılığın durduğu bu sıcaklığa 3 °C eklenerek test tekrarlanmıştır. Akıcılığın saptandığı en son sıcaklık yakıtın akma noktası olarak belirlenmiştir.

3.2.4.8. 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.

3.2.5. Hamsi yağına ait bazı kimyasal özelliklerin belirlenmesi

3.2.5.1. Serbest yağ asitleri

Hamsi yağının Serbest yağ asitleri analizi Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü yemeklik ve uçucu yağ laboratuvarında yapılmıştır.

Yağ asit analizi aşağıdaki basamaklardan oluşmaktadır;

- 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):

$$\text{Serbest yağ asitleri} = \frac{V}{m_n} \times 2.8 (\,\%\text{ oleik asit olarak}) \qquad (1)$$

V = Harcanan 0.1 N biyoetanollü KOH çözeltisi (ml)

m_n = Numunenin ağırlığı (g)

3.2.5.2. Peroksit sayısı

Peroksit sayısı, yağlarda bulunan aktif oksijen miktarının ölçüsü olup, 1 kg yağda bulunan peroksit oksijeninin miliekivelant gram olarak miktarıdır. Peroksit sayısı oksidasyon derecesini gösteren bir parametredir. Yağdaki peroksit miktarının belirlenmesi yağın bozulma

derecesi hakkında bir fikir vermektedir (Anonim, 2012b). Peroksit sayısı tayini, TS EN ISO 3960'a göre yapılmaktadır.

Hamsi yağının peroksit sayısının analizi, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü Yemeklik ve Uçucu Yağ laboratuvarında yapılmıştır. Analiz yöntemi işlem basamakları aşağıdaki gibidir:

- Erlenmayer içerisine 2 g numune konulmak suretiyle 0.001 g duyarlılıkta tartılır.
- Üzerine 10 ml kloroform ilave edilir. Daha sonra erlenmayer hızla çalkalanarak yağın çözülmesi sağlanır.
- Sırasıyla 15 ml asetik asit ve 1 ml potasyum iyodür ilave edilerek, erlanmayerin ağzı sıkıca kapatılır ve 1 dakika süre boyunca 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 tiyosülfat 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):

$$\text{Peroksit sayısı} = \frac{V_t}{m_{ö}} * 2meqqO_2 / kg \qquad (2)$$

V_t = Deney için hazırlanan tiyosülfat miktarı (g)

$m_{ö}$ = Kullanılan örnek miktarı (g)

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Hamsi yağına ait bazı kimyasal özellikler

Hamsi yağına ait bazı kimyasal özellikler ile bu özelliklere ilişkin analiz sonuçları Çizelge 4.1 ve 4.2'de verilmiştir. Hamsi yağına ait serbest yağ asidi değerlerinin Sekmen ve Şen (2016) ile benzerlik gösterdiği görülmektedir.

Çizelge 4.1. Hamsi yağına ait yağ kompozisyonun ağırlıklı bileşimi

Yağ Asitleri		Hamsi Yağı Konsanstrasyonu
Miristik asit	(C14:0)	6
Palmitik asit	(C16:0)	23.5
Stearik asit	(C18:0)	4.5
Oleik asit	(C18:1)	24.5
Linoleik asit	(C18:2)	3

Çizelge 4.2. Hamsi yağının peroksit sayısı

Kimyasal Özellik	Birimi	Değer
Peroksit sayısı	meqq O_2 / kgyağ	0.75

4.2. Yakıt özellikleri

4.2.1. Yoğunluk

Motorda kullanılan yakıtın tutuşması ve dolayısıyla motor performansını etkileyen yoğunluk değeri, önemli bir yakıt özelliğidir. Çizelge 4.3'de araştırmada kullanılan yakıtların yoğunluk değerleri ve ölçüm standartları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.3. Motorin, hamsi yağı metil esteri ve yakıt karışımlarının yoğunluk ölçüm sonuçları

Yakıt ve Karışımlar	Yoğunluk (15 ºC) (kgm^{-3})	TS EN 14214	TS 3082 EN 590
M_{100}	835.0	-	820-845
B_{100}	895.1	860-900	-
$M_{80}B_{20}$	838.7	-	-
$M_{75}B_{20}E_5$	838.8	-	-
$M_{70}B_{20}E_{10}$	837.3	-	-
$M_{65}B_{20}E_{15}$	835.3	-	-
$M_{75}B_{20}Bü_5$	838.4	-	-
$M_{70}B_{20}Bü_{10}$	837.3	-	-
$M_{65}B_{20}Bü_{15}$	835.8	-	-
Hamsi Yağı	922.2	-	-

Hamsi yağının yüksek yoğunluğu, metil ester şekline dönüştükten sonra önemli bir şekilde azalmış ve karışım yakıtlarında da bu azalma eğilimi devam etmiştir. Hamsi yağının 922.2 kgm^{-3} olan yoğunluk değeri metil esterine dönüştürüldükten sonra 895.1 kgm^{-3} değerine düşmüştür. Çizelge 4.3'de görüleceği üzere tüm yakıt ve karışımlarının yoğunluk değerleri standart (TS EN 14214) sınırları arasında bulunmuştur. Karışım yakıtlarına ($M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$) ait yoğunluk değerleri incelendiğinde ise bu değerlerin motorin standart (TS 3082 EN 590) sınır değerleri (en az 820 kgm^{-3}, en çok 845 kgm^{-3}) arasında kaldığı görülmektedir.

4.2.2. Kinematik viskozite

Kullanılan yakıtın yanma performansını doğrudan etkileyen ve karakteristik özelliklerinden birisi de kinematik viskozite değerleridir. Çizelge 4.4'de tüm yakıt ve karışımlarının viskozite değerlerine ait ölçüm sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.4. Yakıt ve karışımlarına ait kinematik viskozite ölçüm sonuçları

Yakıt ve Karışımlar	Kinematik Viskozite (40 ºC) ($mm^2 s^{-1}$)	TS EN 14214	TS 3082 EN 590
M_{100}	3.052	-	2-4.5
B_{100}	4.551	3.5-5	-
$M_{80}B_{20}$	3.187	-	-
$M_{75}B_{20}E_5$	2.834	-	-
$M_{70}B_{20}E_{10}$	2.737	-	-
$M_{65}B_{20}E_{15}$	2.663	-	-
$M_{75}B_{20}Bü_5$	2.956	-	-
$M_{70}B_{20}Bü_{10}$	2.854	-	-
$M_{65}B_{20}Bü_{15}$	2.780	-	-
Hamsi Yağı	28.441	-	-

Çizelge 4.4'de görüldüğü gibi hamsi yağının viskozitesinin (28.44 mm^2s^{-1}) yüksek olmasından dolayı öncelikle transesterifikasyon yöntemi ile yağın viskozitesi standart değerlere (TS EN 14214) düşürülmüştür (B_{100} : 4.551 mm^2s^{-1}) Karışım yakıtlarına ($M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$) ait viskozite değerleri incelenecek olursa, bu değerlerin motorin (M^{100}) ve hamsi yağından elde edilen dizel yakıtına göre daha düşük değerler gösterdiği görülmektedir. Bunun sebebini karışım yakıtlarına ilave edilen biyoetanol ve bütanolün viskozite değerlerinin (biyoetanol:1.4 mm^2s^{-1}, bütanol: 2.2 mm^2s^{-1}) motorin ve biyodizel yakıtına göre daha düşük değerler göstermesine bağlayabiliriz (Kumar ve Saravanan, 2016).

4.2.3. Isıl değerler

Araştırmada yakıtlar ve karışımlarına ait ısıl değerler (kalori değerleri) ile bu değerlere ait standartlar Çizelge 4.5'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Yakıt ve karışımlarının ısıl değer ölçüm sonuçları

Yakıt ve Karışımlar	Isıl Değer ($MJkg^{-1}$)	TS EN 14213	TS 3082 EN 590
M_{100}	46.335	-	-
B_{100}	39.720	35 (en az)	-
$M_{80}B_{20}$	45.142	-	-
$M_{75}B_{20}E_5$	42.688	-	-
$M_{70}B_{20}E_{10}$	41.989	-	-
$M_{65}B_{20}E_{15}$	41.202	-	-
$M_{75}B_{20}Bü_5$	44.576	-	-
$M_{70}B_{20}Bü_{10}$	43.597	-	-
$M_{65}B_{20}Bü_{15}$	43.216	-	-

Çizelgenin incelenmesinden de görüleceği üzere karışım yakıtlarına ($M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$) ait ısıl değerler incelendiğinde bkarışımlardaki artan biyoetanol ve bütanole oranlarına göre ısıl değerlerde az da olsa düşüş meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca bütanol ilavesiyle elde edilen karışım yakıtlarının ısıl değerlerinde, biyoetanol ihtiva eden karışım yakıtlarına göre bir miktar artış gözlenmiştir. Kumar ve Saravanan (2016), çalışmalarında bütanolün, biyoetanol ile karşılaştırıldığında daha yüksek bir ısıl değere (Biyoetanol:26.95 $MJkg^{-1}$, Bütanol: 33.1 $MJkg^{-1}$) sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

4.2.4. Parlama noktası

Parlama noktası değerleri her iki yakıt çeşidinde de (M_{100} ve B_{100}) yakıtlara ait standart sınır değerlerinin üzerinde çıkmıştır. Analiz sonuçları karşılaştırıldığında biyodizel yakıtına ait parlama noktası değerinin motorin yakıtının parlama noktası değerinden daha yüksek (%157.9 fazla) olduğu görülmektedir. Öğüt ve Oğuz (2006), biyodizelin parlama noktasının yüksek olduğu için güvenle depolanabildiğini ve ayrıca bu durumun taşımacılık açısından önemli bir avantaj olduğunu ifade etmişlerdir. Çizelge 4.6'da M_{100} ve B_{100} yakıtlarının parlama noktası ölçüm sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.6. Motorin, hamsi yağı metil esteri ve yakıt karışımlarının parlama noktası ölçüm sonuçları

Yakıt	Parlama Noktası (ºC)	TS EN 14214	TS 3082 EN 590
M_{100}	57	-	55
B_{100}	147	101	-

4.2.5. Su içeriği

Yakıt içerisinde belirli sınırlar dahilinde su içeriğinin olması yanma sıcaklığını ve NOx emisyonlarını azaltarak olumlu etkiler gösterebilmektedir (Öğüt ve Oğuz, 2006). Ancak bu değerin belirli sınırlar üzerinde olması yakıt sistemindeki parçalar üzerinde zararlı etkilere yol açmaktadır. Çizelge 4.7'de araştırmada kullanılan yakıtların su içeriği değerleri ve ölçüm standartları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Çizelge 4.7. Yakıt ve karışımlarına ait su içeriği ölçüm sonuçları

Yağ, Yakıt ve Karışımlar	Su İçeriği (ppm)	TS EN 14214	TS 3082 EN 590
M_{100}	17.880	-	200 (en çok)
B_{100}	183.13	500 (en çok)	-
$M_{80}B_{20}$	452.37	-	-
$M_{75}B_{20}E_5$	246.27	-	-
$M_{70}B_{20}E_{10}$	392.58	-	-
$M_{65}B_{20}E_{15}$	441.06	-	-
$M_{75}B_{20}Bü_5$	86.06	-	-
$M_{70}B_{20}Bü_{10}$	106.32	-	-
$M_{65}B_{20}Bü_{15}$	123.17	-	-
Hamsi Yağı	651.20	-	-

Yakıt ve karışımlarına ait su içeriği analiz sonuçlarına göre sadece biyoetanol ilave edilerek hazırlanan karışım yakıtlarının ($M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$) su içeriği değerleri hariç diğer yakıtlar ve karışımların su içeriği değerleri her iki standardın sınır değerleriyle uyum içerisindedir. Biyoetanol ilave edilerek hazırlanan karışım yakıtlarının ($M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$) su içeriği değerleri ise biyodizel standart (TS EN 14214) değerleriyle uyum gösterirken motorine ait standart (TS 3082 EN 590) değerine uygunluk göstermediği tespit edilmiştir. Biyoetanol ilavesi yapılan $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$ yakıt karışımlarına ait su içeriği değerlerinin motorin standart değerine göre (en çok 200 ppm) sırasıyla %23, %46 ve %120 fazla olduğu belirlenmiştir. Bu durumu karışım yakıtları içerisinde bulunan biyoetanolün su içeriğinin yüksek olmasıyla açıklayabiliriz. Balcı (2017) çalışmasında benzer sonuçlara ulaşmıştır.

Biyoetanol ve bütanol ilavesi yapılan karışım yakıtlarına ait su muhtevası değerleri incelendiğinde ise, karışımlardaki alkol oranı artışına paralel olarak su muhtevası değerlerinde de artış gözlenmiştir. Örneğin, karışım yakıtlarında bu değerler biyoetanol karışımlarında

246.27 ppm (E_5), 392.58 ppm (E_{10}), ve 441.06 ppm (E_{15}), bütanol karışımlarında ise 86.066 ppm ($Bü_5$), 106.321 ppm ($Bü_{10}$) ve 123.172 ppm ($Bü_{15}$) olarak tespit edilmiştir. Ayrıca biyoetanol ve bütanol ilavesi yapılan karışım yakıtlarına ait, bütanolde, biyoetanole göre ($Bü_5$-E_5) %65, ($Bü_{10}$-E_{10}) %72.1 ve ($Bü_{15}$-E_{15}) %72 daha düşük bulunmuştur. Bu durumu, bütanolün, biyoetanole göre daha hidrofobik olmasına bağlayabiliriz (Kumar ve Saravanan, 2016).

4.2.6. Bulutlanma noktası, soğuk filitre tıkanma noktası (SFTN) ve akma noktası

Akışkan halde bulunan yakıtın bünyesinde barındırdığı katı parçacıkların ortamdaki sıcaklığın azalmasıyla birlikte görülmeye başlandığı sıcaklık değerine Bulutlanma Noktası denir. Filtrelerdeki tıkanmalar için önemli olan bu değer yakıtların soğuk havalarda kullanılabilirliği açısından önem taşımaktadır. Çizelge 4.8, 4.9 ve 4.10'da sırasıyla yakıt ve karışımlarına ait bulutlanma noktası, soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN) ve akma noktası değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.8. Yakıt ve karışımlarına ait bulutlanma noktası ölçüm değerleri

Yakıt ve Karışımlar	Bulutlanma Noktası (ºC)
M_{100}	-4.5
B_{100}	8
$M_{80}B_{20}$	-2.9
$M_{75}B_{20}E_5$	-3
$M_{70}B_{20}E_{10}$	-3.8
$M_{65}B_{20}E_{15}$	-4.4
$M_{75}B_{20}Bü_5$	-3.1
$M_{70}B_{20}Bü_{10}$	-4.9
$M_{65}B_{20}Bü_{15}$	-6.5

Çizelge 4.9. Yakıt ve karışımlarına ait SFTN (Soğuk Filtre Tıkanma Noktası) ölçüm değerleri

Yakıt ve Karışımlar	SFTN (ºC)
M_{100}	-16
B_{100}	7
$M_{80}B_{20}$	-4
$M_{75}B_{20}E_5$	-4
$M_{70}B_{20}E_{10}$	-6
$M_{65}B_{20}E_{15}$	-7
$M_{75}B_{20}Bü_5$	-5
$M_{70}B_{20}Bü_{10}$	-6
$M_{65}B_{20}Bü_{15}$	-7

Çizelge 4.10. Yakıt ve karışımlarına ait akma noktası ölçüm değerleri

Yakıt ve Karışımlar	Akma Noktası (ºC)
M_{100}	-26
B_{100}	6
$M_{80}B_{20}$	-6.5
$M_{75}B_{20}E_5$	-7.1
$M_{70}B_{20}E_{10}$	-8.9
$M_{65}B_{20}E_{15}$	-9.9
$M_{75}B_{20}Bü_5$	-8.4
$M_{70}B_{20}Bü_{10}$	-9.5
$M_{65}B_{20}Bü_{15}$	-11.2

Hayvansal yağlar, bitkisel yağlarla karşılaştırıldığında soğuk akış özellikleri bakımından daha dezavantajlı durumdadır. Hayvansal yağlardan üretilen biyodizelin soğuk kış şartlarında kullanılabilmesi için soğuk akış iyileştirici katkılar kullanmak gerekebilmektedir (Altun ve Öner, 2008). B_{100} yakıtına ait soğuk akış özellikleri değerleri incelenecek olursa bu değerlerin motorine göre yüksek olduğu görülmektedir. Biyodizel yakıtındaki bu değerler karışım yakıtlarına alkol ilavesiyle giderilmeye çalışılmıştır.

4.2.7. Setan sayısı ölçüm sonuçları

Yakıtın kendiliğinden tutuşabilme yeteneğinin bir göstergesi olan ve yakıtın verimli bir şekilde yanması ile doğrudan ilişkili olan setan sayısı, yakıt kalitesi için önemli bir parametredir. Motorin ve karışım yakıtlarının setan sayısı ölçüm sonuçları Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Motorin, hamsi yağı metil esteri ve yakıt karışımlarının setan sayısı ölçüm sonuçları

Yakıt ve Karışımlar	Setan Sayısı	TS EN 14214	TS 3082 EN 590
M_{100}	53.717	-	51 (en az)
$M_{75}B_{20}E_5$	52.344	-	-
$M_{70}B_{20}E_{10}$	51.877	-	-
$M_{65}B_{20}E_{15}$	44.149	-	-
$M_{75}B_{20}Bü_5$	53.249	-	-
$M_{70}B_{20}Bü_{10}$	53.682	-	-
$M_{65}B_{20}Bü_{15}$	53.359	-	-

Çizelge 4.11'den görüleceği üzere karışım yakıtlarına ait setan sayısı değerleri incelendiğinde $M_{65}B_{20}E_{15}$ yakıtı dışındaki tüm yakıtların setan sayısı değerlerinin motorin standart (EN 590) değerinin üzerinde çıktığı (en az 51.0) görülmektedir. Etanolün setan sayısının çok düşük olması nedeniyle %10'un üzerindeki karışım oranlarında dizel yakıtın

tutuşma karakteristiklerini olumsuz yönde etkilediği ve bu nedenle setan artırıcı kullanılması gerektiği bildirilmektedir (Yahuza ve Dandakouta, 2015).

Genel olarak bütanol karışımlarının setan sayıları etanol karışımlarına göre daha yüksek bulunmuştur. Bu sonucu bütanolün biyoetanole göre daha yüksek olan setan sayısına (Biyoetanol: 8, Bütanol: 17) bağlayabiliriz (Kumar ve Saravanan, 2016).

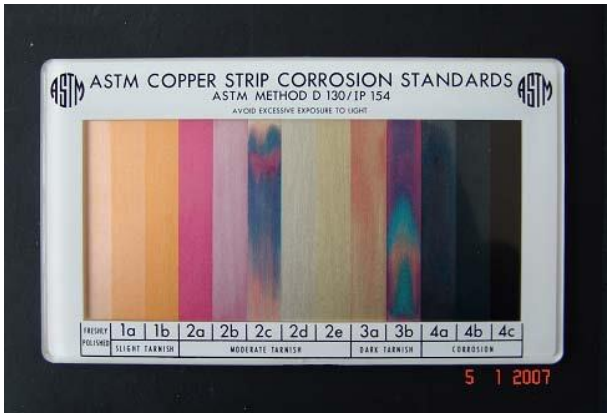
4.2.8. Bakır şerit korozyon testi sonuçları

Yakıtların korozif etkisinin belirlenmesi için önem arz eden bakır çubuk korozyonu TS EN 14214 e göre en çok 1 olarak, EN 590'a göre ise sınıf 1 olarak belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; tüm yakıt ve karışımlarına ait (M_{100}, B_{100}, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15)}$ bakır çubuk korozyonu 1a bulunmuştur. Bu değerler standart sınır değerleriyle uyum içerisindedir. Çizelge 4.12'de TS 2741 EN ISO 2160 referans korozyon şeritlerinin derecelendirilmesi, Şekil 4.12'de ise Referans korozyon şeritlerinin sınıflandırılması verilmiştir.

Çizelge 4.12. TS 2741 EN ISO 2160 referans korozyon şeritlerinin derecelendirilmesi (Eryılmaz, 2009)

Derece	Adı	Tarif [1)]
Yeni Parlatılmış Şerit	-	- [2)]
1	Hafif Renk Değişimi	a. Açık turuncu, yeni parlatılmış şerit ile hemen hemen aynı b. Koyu turuncu
2		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. Grafit rengi veya parlak olmayan siyah c. Parlak veya kehribae 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.



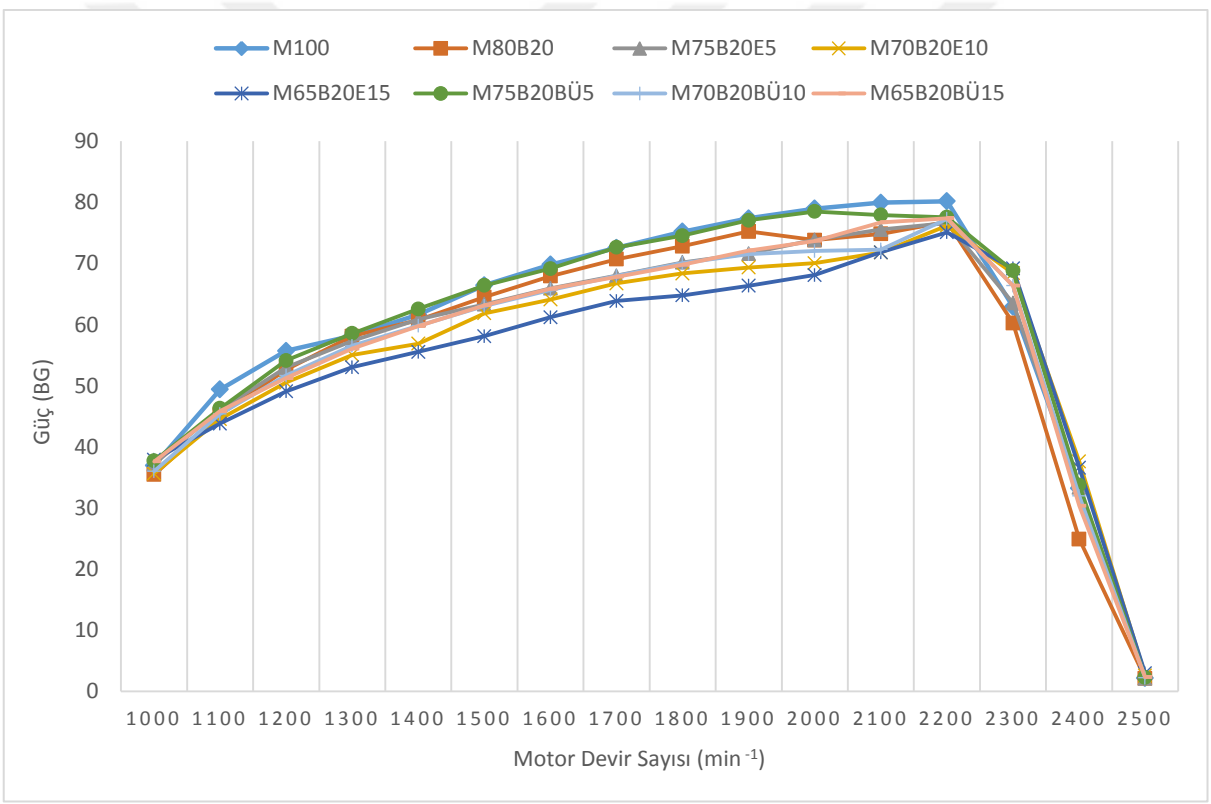
Şekil 4.1. Referans korozyon şeritleri (Eryılmaz, 2009)

4.3. Motor performansı ve egzoz emisyon sonuçları

4.3.1. Performans deneyleri sonuçları

4.3.1.1. Efektif motor gücü değerlerinin değişimi

Motorin (M_{100}), Biyodizel (B_{100}) yakıtları ile farklı oranlarda karışımlardan ($M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$) elde edilen yakıtları ile tam yük şartlarında yapılan motor performansı deneylerinde devir (min^{-1}) sayısına bağlı olarak elde edilen efektif motor gücü değerleri değişimi Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Motorin ve yakıt karışımlarının efektif motor gücü ölçüm sonuçları

Şekil 4.2'de görüleceği maksimum efektif motor gücüne 2200 min^{-1} motor devrinde ortalama 80.1 BG değeri ile M_{100} yakıtından elde edilmiştir. Aynı devir sayısında $M_{80}B_{20}$, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıtlarının motor gücü değerleri ise sırasıyla 76.817 BG, 76.595 BG, 76.176 BG, 75.112 BG, 77.556 BG, 77.316 BG ve 77.399 BG olarak belirlenmiştir.

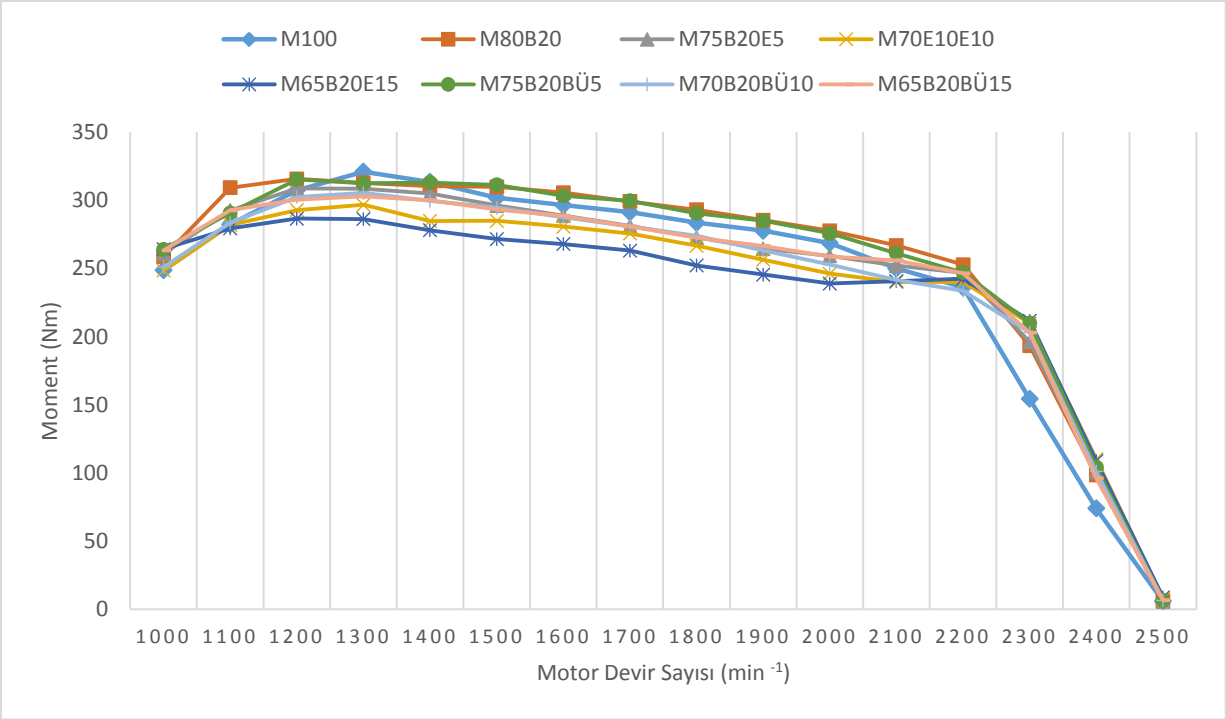
Karışım yakıtları karşılaştırıldığında aynı motor devrinde en düşük efektif motor gücüne $M_{65}B_{20}E_{15}$ (75.112 BG) yakıtında ulaşılmıştır. Bu durumu $M_{65}B_{20}E_{15}$'in tüm yakıt ve karışımlar içerisinde setan sayısının (44.14) daha düşük olmasına bağlayabiliriz. Ayrıca Yahuza ve Dandakouta (2015) ve Sezer (2017) çalışmalarında etanolün setan sayısının çok düşük olması nedeniyle %10'un üzerindeki karışım oranlarında dizel yakıtın tutuşma karakteristiklerini olumsuz yönde etkilediği ve bu nedenle setan artırıcı kullanılması gerektiği bildirmişlerdir.

Bütanol ilave edilerek hazırlanan ($M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$) karışım yakıtlarının aynı devir sayısındaki motor efektif güçlerinde, etanol ilave edilerek hazırlanan ($M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$) karışım yakıtlarına göre sırasıyla %1.23, %1.47 ve %2.95 artış olduğu saptamıştır. Bu durumu bütanol karışım yakıtlarının etanol karışım yakıtlarına göre daha yüksek ısıl değer ve setan sayısı değerine sahip olmasına bağlayabiliriz (Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.11).

Aynı motor devrinde, karışım yakıtlarından $M_{80}B_{20}$ (%80 Motorin + %20 Biyodizel) M_{100} yakıtıyla karşılaştırılacak olursa, $M_{80}B_{20}$ yakıtının efektif motor gücünün motorine göre %4.11 azaldığı tespit edilmiştir. Altun ve Öner (2010) çalışmasında farklı hammaddelerden elde edilen biyodizel yakıtların dizel yakıtı ile karışımlarının farklı tasarımlı dizel motorlarda yakıt olarak kullanılmaları halinde dizel yakıta göre motor gücünde bir düşüş olduğunu bildirmiştir.

4.3.1.2. Motor momenti değerlerinin değişimi

Motorin (M_{100}), Biyodizel (B_{100}) yakıtları ile farklı oranlarda karışımlardan ($M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$) elde edilen yakıtların, tam yük şartlarında yapılan motor performansı deneylerinde devir (min^{-1}) sayısına bağlı olarak elde edilen motor moment değerleri değişimi Şekil 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Motorin ve yakıt karışımlarının motor momenti ölçüm sonuçları

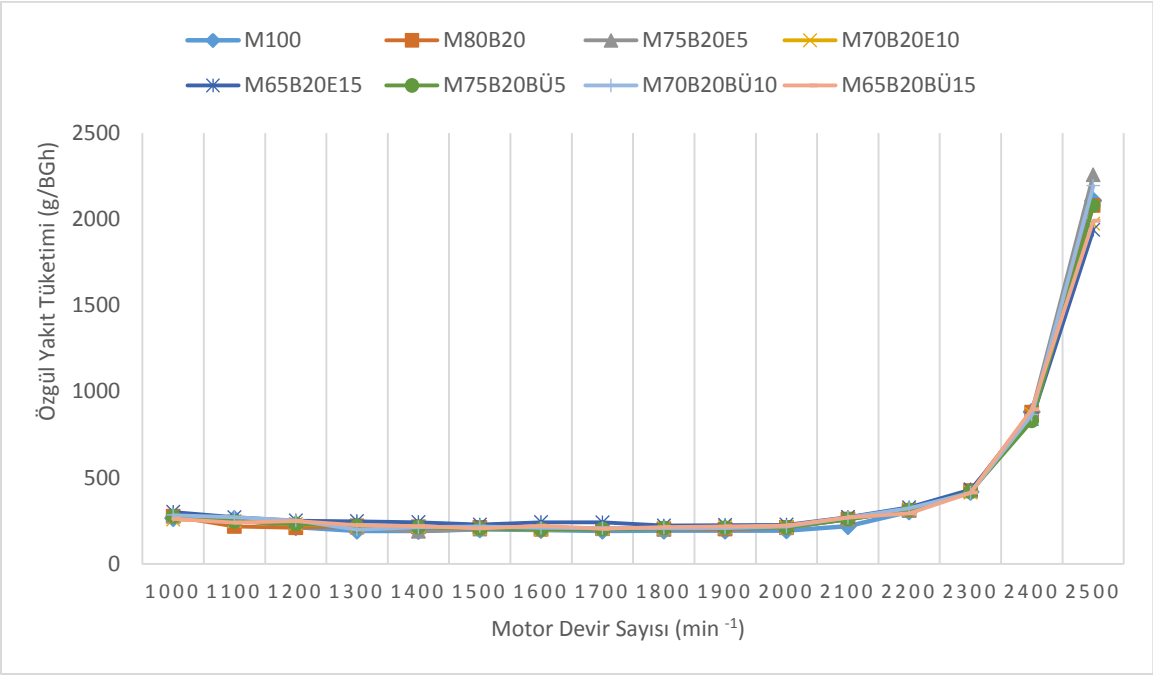
Şeklin incelenmesinden anlaşılacağı üzere maksimum motor momenti 1300 min^{-1} motor devrinde ortalama 321.03 Nm değeri ile M_{100} yakıtından elde edilmiştir. Bu yakıtı sırasıyla 312.84 Nm, 308.52 Nm, 296.72 Nm, 286.31 Nm, 312.49 Nm ve 305.38 Nm, 302.86 Nm değerleriyle $M_{80}B_{20}$, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıtları izlemiştir.

Aynı motor devrinde, karışım yakıtlarından $M_{80}B_{20}$ (%80 Motorin + %20 Biyodizel) M_{100} yakıtıyla karşılaştırılacak olursa, $M_{80}B_{20}$ yakıtının motor moment değerinin (312.84 Nm) motorine göre (316.03 Nm) %1.009 azaldığı tespit edilmiştir.

Bütanol ilave edilerek hazırlanan ($M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$) karışım yakıtlarının aynı devir sayısındaki motor moment değerleri, etanol ilave edilerek hazırlanan ($M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$) karışım yakıtlarına göre sırasıyla %1.40, %2.91, ve %5.78 oranında artmıştır. Bu durumu bütanol karışım yakıtlarının etanol karışım yakıtlarına göre daha yüksek setan sayısı ve kalori değerine sahip olmasına bağlayabiliriz (Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.11).

4.3.1.3. Yakıt tüketimi değerlerinin değişimi

Motorin, B_{100}, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıtları ile tam yük koşulları altında yapılan motor performansı deneylerinde devir sayısına bağlı olarak elde edilen özgül yakıt tüketimi değerleri değişimi Şekil 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.4. Motorin ve yakıt karışımlarının özgül yakıt tüketimi ölçüm sonuçları

Şekil incelendiğinde tüm yakıtlara ait özgül yakıt tüketimi değerleri arasından minimum özgül yakıt tüketimi değeri 1400 min^{-1} 190.54 g/BGh ile M_{100} yakıtında gerçekleşmiştir. Aynı devir sayısında $M_{80}B_{20}$, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri ise sırasıyla 201.7 g/BGh, 199.1 g/BGh, 208.4 g/BGh, 221.90 g/BGh, 205.86 g/BGh, 207.68 g/BGh, ve 213.14 g/BGh olarak bulunmuştur.

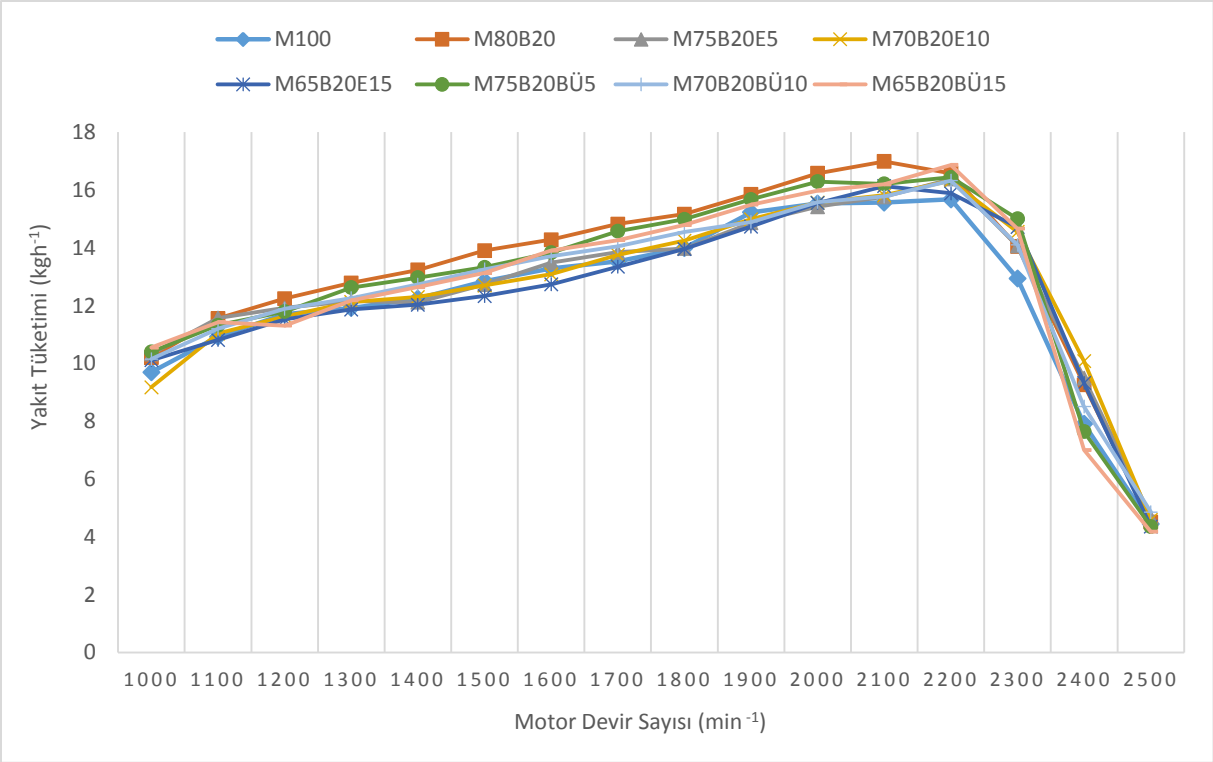
Yakıt tüketimi değerleri arasından minimum özgül yakıt tüketimi değeri 1400 min^{-1} 190.54 g/BGh ile M_{100} yakıtında gerçekleşmiştir. Aynı devir sayısında $M_{80}B_{20}$, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri ise sırasıyla 214.84 g/BGh 187.27 g/BGh, 216.21 g/BGh, 241.56 g/BGh, 212.43 g/BGh, 212.86 g/BGh, ve 218.01 g/BGh olarak bulunmuştur.

Aynı motor devrinde, karışım yakıtlarından $M_{80}B_{20}$ (%80 Motorin + %20 Biyodizel) M_{100} yakıtıyla karşılaştırılacak olursa, $M_{80}B_{20}$ yakıtının özgül yakıt tüketim değerinin (201.70 g/BGh) motorine göre (192.19 g/BGh) %4.94 oranında fazla olduğu tespit edilmiştir. Araştırmacıların çoğu, biyodizel yakıtının dizel yakıta göre daha düşük ısıl değere sahip olmasından ötürü dizel motorda kullanımlarında, motor gücünde bir düşüşe sebep olduğuna ve buna bağlı olarak özgül yakıt tüketiminde de artış olduğu konusunda hemfikirdirler (Altun, 2010). Nispeten düşük ısıl değere sahip yakıtlar kullanıldığında, eşit güç üretilebilmesi için daha fazla yakıt harcanmasına ihtiyaç vardır (Ulusoy, 1999; Altun, 2010). Başka bir ifadeyle biyodizelin ısıl değerindeki kaybın daha fazla yakıt tüketimi ile karşılanması gerekmektedir (Lapuerta ve ark., 2008; Altun, 2010).

Benzer şekilde bütanol ilave edilerek hazırlanan karışımlarda ($M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$) bütanol oranı artıkça özgül yakıt tüketiminde de artış görülmüştür. Kumar ve Saravanan (2016), çalışmalarında karışımdaki bütanol içeriğinin artışına bağlı olarak özgül yakıt tüketiminin artmasını, bütanolün ısıl değerinin (33.11 $MJkg^{-1}$) motorinin ısıl değerinden (42.72 $MJkg^{-1}$) yaklaşık olarak %21-22 daha düşük olmasına ve dolayısıyla motorun aynı performansı üretmek için daha fazla yakıt tüketmesi gerekliliğine bağlamıştır.

Alkol ilave edilen yakıtlar mukayese edildiğinde genel olarak etanol içeren yakıtların ($M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$ ve $M_{65}B_{20}E_{15}$) özgül yakıt tüketimi, bütanol içeren ($M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$) yakıtların özgül yakıt tüketiminden yüksek olduğu görülmüştür. Bu durumu biyoetanolün ısıl değerinin (26.95 $MJkg^{-1}$) bütanolün ısıl değerinden (33.11 $MJkg^{-1}$) yaklaşık %18.60 oranında daha düşük olmasına bağlayabiliriz.

Motorin, B_{100}, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıtları ile tam yük koşulları altında yapılan motor performansı deneylerinde devir sayısına bağlı olarak elde edilen saatlik yakıt tüketimi değerleri değişimi Şekil 4.5'de verilmiştir.



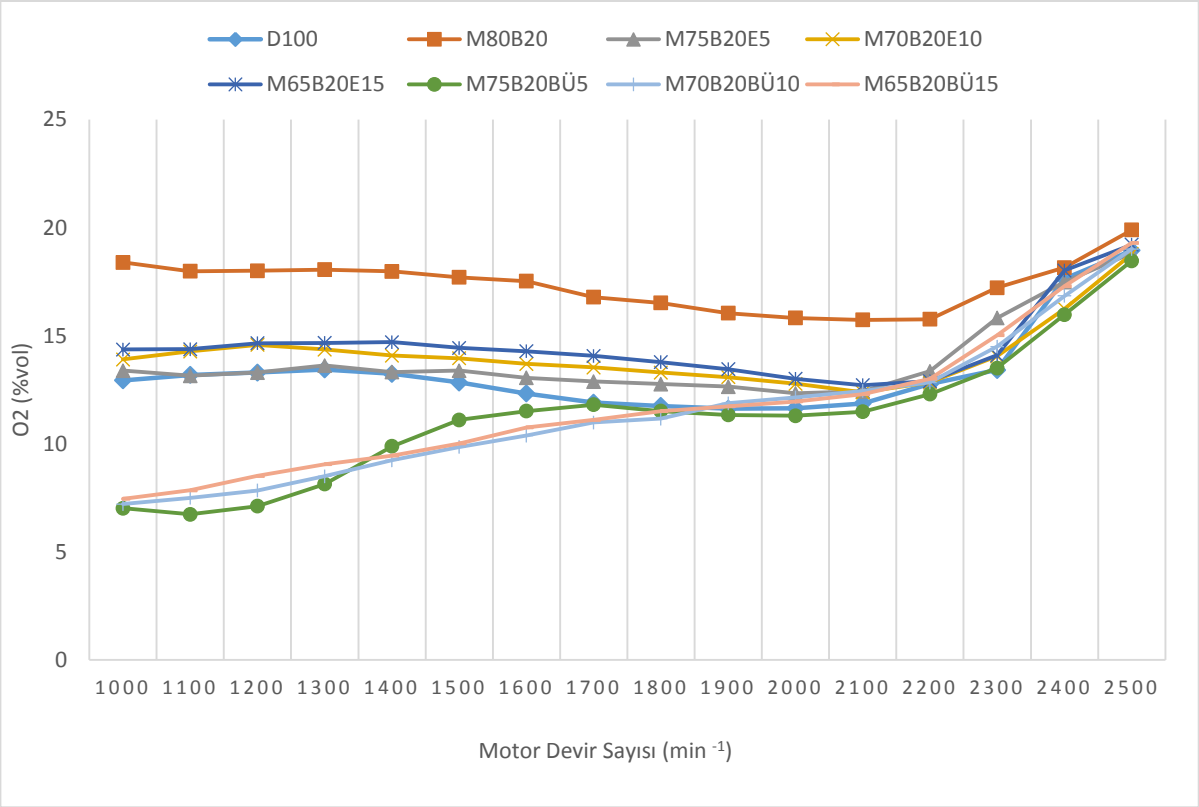
Şekil 4.5. Motorin ve yakıt karışımlarının saatlik yakıt tüketimi ölçüm sonuçları

Şekil 4.5 incelendiğinde yakıtlar arasında devir sayısına bağlı olarak saatlik yakıt tüketimi değerleri 4.17 kgh^{-1} ile 16.99 kgh^{-1} arasında gerçekleşmiştir.

4.3.2. Egzoz emisyon deneyleri sonuçları

4.3.2.1. Oksijen (O_2) sonuçlarının karşılaştırılması

Motorin, B_{100}, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıtları ile tam yük koşulları altında yapılan motor performansı deneylerinde devir sayısına bağlı olarak elde edilen egzoz emisyon O_2 değerlerinin değişimi Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Motorin ve yakıt karışımlarının devir sayısına bağlı O_2 değerleri

Biyodizel, motorine göre yaklaşık olarak %11 daha fazla oksijen içermesinin sonucu olarak, yanma karakteristikleri, motor performansı ve egzoz emisyonlarında farklılık göstermektedir (Eryılmaz, 2009). Şekil 4.5'den anlaşılacağı üzere tüm yakıtlara ait O_2 değerleri arasından en yüksek O_2 emisyonu, içeriğindeki %20 biyodizel miktarına bağlı olarak 2500 min^{-1}'de $M_{80}B_{20}$ yakıtında (%19.89) değerinde gerçekleşmiştir. Bir çok çalışmada, yanma odasına daha fazla oksijen sağlanması için dizel yakıtlara oksijen içeren yakıtların katılması veya bu yakıtların doğrudan kullanılması, umut verici bir alternatif olarak değerlendirilmiştir (Ren ve ark., 2007). Biyodizel, başlıca oksijen içeren alternatif dizel motor yakıtı olarak dikkate alınmaktadır (Altun, 2010).

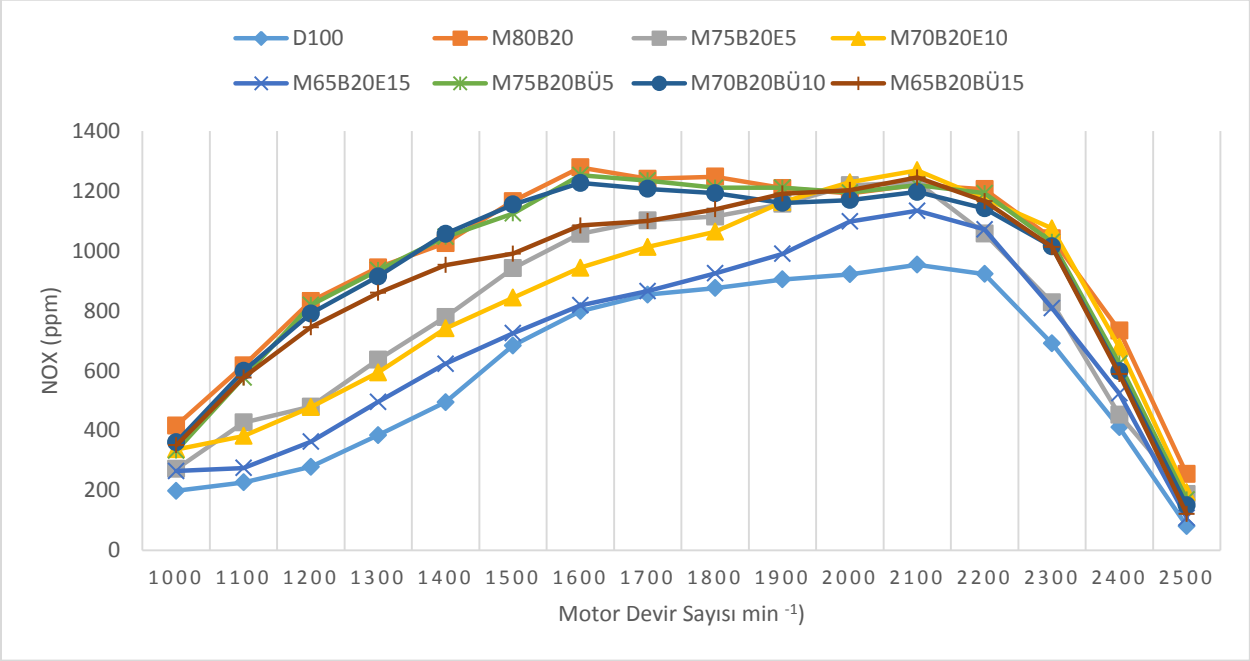
Aynı devir sayısında M_{100}, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıtlarına ait O_2 değerleri sırasıyla %18.94, %18.82, %18.78, %19.21, %18.46, %19.01 ve %19.29 oranlarında olmuştur

Bütanol ilave edilerek hazırlanan ($M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$) karışım yakıtlarının O_2 değerleri etanol ilave edilerek hazırlanan ($M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$) karışım yakıtlarına göre daha düşük değerler almıştır. Bu sonucu, bütanolün O_2 içeriğinin etanole göre daha az olmasına bağlayabiliriz. Kumar ve Saravanan (2016) çalışmalarında,

bütanolün O_2 içeriğinin (%21.59) etanolün O_2 içeriğine (%34.73) göre %37.83 daha az olduğunu bildirmişlerdir.

4.3.2.2 Azotoksit (NO_x) sonuçlarının karşılaştırılması

Motorin, B_{100}, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıtları ile tam yük koşulları altında yapılan motor performansı deneylerinde devir sayısına bağlı olarak elde edilen NO_x emisyon değerlerinin değişimi Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Motorin ve yakıt karışımlarının devir sayısına bağlı NOx değerleri

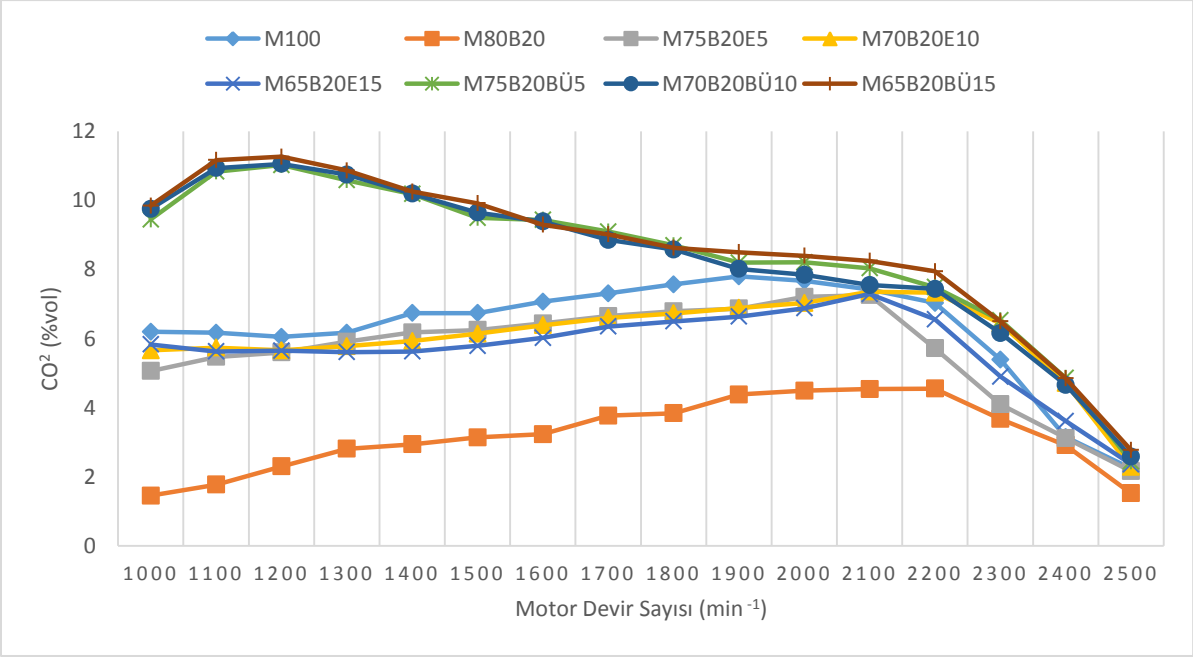
Şekil 4.7'den anlaşılacağı üzere tüm yakıtlara ait NO_X değerleri arasından en yüksek NOx emisyonu, 1600 min^{-1} devirde $M_{80}B_{20}$ (1279 ppm) yakıtında gerçekleşmiştir. Yanma sırasında ortamdaki ek oksijenin yanma odasında hidrokarbon oksidasyonunu artırarak yanmayı iyileştirdiği bilinmektedir. Böylece yanmanın iyileştiği durumlarda silindir içi sıcaklığın yükselmesi sonucu NOx emisyonlarının artması beklenmektedir. Nitekim biyodizel kullanımı ile yanma sırasında artan oksijen seviyesinin maksimum sıcaklığı yükselttiği ve böylece NOx emisyonlarının da arttığı bildirilmiştir (Ozsezen ve ark., 2008; Altun, 2010). Bu durum M_{100} ve %20 biyodizel kullanılan $M_{80}B_{20}$ yakıtları arasındaki NOx miktarı farkına da yansımıştır. Biyodizel oranındaki artış ile NOx değerindeki değişim, Sekmen ve Şen (2016) çalışmasında da benzerlik göstermiştir.

Aynı devir bandında M_{100}, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıtlarına ait NOx değerleri sırasıyla 799 ppm, 1057 ppm, 944 ppm, 818 ppm, 1253 ppm, 1227 ppm ve 1085 ppm değerlerini almıştır. Yine aynı devirde etanol içeren yakıtlar ($M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$ ve $M_{65}B_{20}E_{15}$), bütanol içeren yakıtlara göre ($M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$) göre sırasıyla %15.6, %23.06 ve %24.60 daha düşük NOx emisyonu değerlerini almaktadır.

Aydin ve Ilkılıc (2010), Devan ve Mahalakshmi (2009) ve Rakopoulos ve ark. (2006) yaptıkları çalışmalarda dizel motorlarda biyodizel/alkol yakıtlarının kullanımı sonucunda NOx emisyon değerlerinde düşüş olduğunu bildirmişlerdir. Buna paralel olarak $M_{80}B_{20}$ yakıtına eklenen alkoller (biyoetanol ve bütanol) NOx değerlerinde düşüşe sebep olmuştur.

4.3.2.3. Karbondioksit (CO_2) sonuçlarının karşılaştırılması

Motorin, B_{100}, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıtları ile tam yük koşulları altında yapılan motor performansı deneylerinde devir sayısına bağlı olarak elde edilen egzoz emisyon sonuçlarından biri olan CO_2 değerleri değişimi Şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8. Motorin ve yakıt karışımlarının devir sayısına bağlı CO_2 değerleri

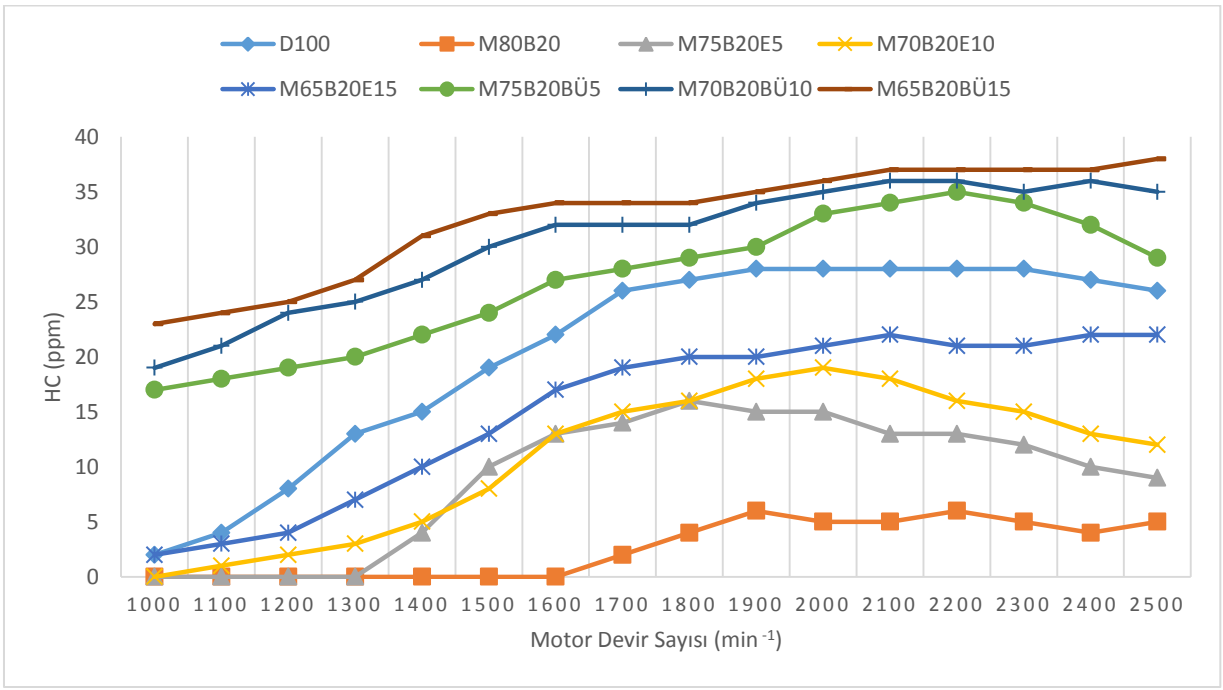
Şekil 4.8'den de anlaşılacağı gibi tüm yakıtlara ait CO_2 değerleri arasından en düşük CO_2 emisyonu 1000 min^{-1}'de $M_{80}B_{20}$ (%1.45) yakıtında görülmüştür.

Aynı devir sayısında M_{100}, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıtlarına ait CO_2 değerleri sırasıyla %6.21, %5.06, %5.66, %5.83, %9.45, %9.76 ve %10.85 oranlarında gerçekleşmiştir. $M_{80}B_{20}$ yakıtının CO_2 içeriği (%1.45) ile M_{100} yakıtının CO_2 içeriği (%6.21) karşılaştırıldığında %76.6 oranında bir azalma olduğu tespit edilmiştir.

Bütanol ilave edilerek hazırlanan ($M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$) karışım yakıtlarının CO_2 değerleri, etanol ilave edilerek hazırlanan ($M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$) karışım yakıtlarına göre daha yüksek sonuçlar vermiştir. Bu sonuç, bütanolün C içeriğinin etanole göre daha fazla olmasıyla açıklanabilir. Kumar ve Saravanan (2016) çalışmalarında, bütanolün karbon içeriğinin (%64.82) etanolün karbon içeriğine (%37.48) göre %72.9 daha fazla olduğunu bildirmişlerdir.

4.3.2.4. Hidrokarbon (HC) sonuçlarının karşılaştırılması

Motorin, B_{100}, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıtları ile tam yük koşulları altında yapılan motor performansı deneylerinde devir sayısına bağlı olarak elde edilen egzoz emisyon sonuçlarından biri olan HC değerleri değişimi Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Motorin ve yakıt karışımlarının devir sayısına bağlı HC değerleri

Şekil 4.9'dan anlaşılacağı üzere tüm yakıtlara ait HC değerleri arasından en yüksek HC emisyonu, içeriğindeki bütanol oranına paralel olarak $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıtında 2500 min^{-1}'de 38 ppm olarak gerçekleşmiştir.

Aynı devir sayısında M_{100}, $M_{80}B_{20}$, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve yakıtlarına ait HC değerleri sırasıyla 29 ppm, 5 ppm, 9 ppm, 12 ppm, 22 ppm, 29 ppm ve 35 ppm oranlarında gerçekleşmiştir.

$M_{80}B_{20}$ yakıtının ortalama yanmamış HC değeri, motorin yakıtına göre oldukça düşük çıkmıştır. Bazı çalışmalarda biyodizel katkılı yakıt kullanımında, yanmamış HC emisyon değerlerinde biyodizelin yapısında oksijen bulunmasından dolayı azalma olduğu bildirilmiştir. Çünkü biyodizel yakıtının oksijen içeriği, yanma sırasında ek oksijen sağlayarak tüm yanmayı geliştirmekte ve yanmamış HC emisyonlarının azalmasına neden olmaktadır (Altun, 2010). Soylu ve ark. (2004) çalışmalarında, biyodizel yakıtı ile ortalama HC emisyonlarında azalmalar olduğunu ifade etmektedirler.

Diğer yandan bütanol katkılı yakıtların HC değerlerinin diğer yakıtlardaki ortalama HC değerlerine göre daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Buna ek olarak karışımdaki bütanol oranı arrtıkça HC değerinin de arttığı görülmektedir. Kumar ve Saravanan (2016) ve Silitonga ve ark. (2018) çalışmalarında karışımlardaki bütanol içeriği arttıkça HC emisyonlarının da arttığını bildirmişlerdir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Tez kapsamında yapılan çalışmada atık niteliği taşıyan hamsiden elde edilen yağdan transesterifikasyon yoluyla biyodizel üretilmiş olup motorin ve bazı alkoller (etanol/bütanol) ile karıştırılarak bir dizel motorda motor performansı ve egzoz emisyon değerleri doğrultusunda biyoyakıt olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu bağlamda üretilen hamsi yağı biyodizeli ile birlikte biyodizel, motorin ve alkol(etanol ve bütanol) kullanılarak hazırlanan karışım yakıtlarının yakıt özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra elde edilen karışım yakıtlarının motor performansı ve egzoz emisyon testleri dört zamanlı, dört silindirli, 85 BG, turboşarjlı bir dizel motorda test edilmiştir.

Hamsi yağının viskozitesinin (28.44 mm^2s^{-1}) yüksek olmasından dolayı öncelikle transesterifikasyon yöntemi ile yağın viskozitesi standart değerlere (TS EN 14214) düşürülmüş (4.55 mm^2s^{-1}) ve daha sonra yakıt karışımları hazırlanarak karışım yakıtlarının yakıt özellikleri belirlenmiştir. Karışım yakıtlarına ($M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$) ait viskozite değerleri incelendiğinde, bu değerlerin motorin (M_{100}) ve hamsi yağından elde edilen dizel yakıtına göre daha düşük değerler gösterdiği görülmektedir.

Yoğunluk değerleri incelendiğinde hamsi yağının yüksek yoğunluğu metil ester şekline dönüştükten sonra önemli bir şekilde azalmış ve karışım yakıtlarında da bu azalma eğilimi devam etmiştir. Hamsi yağının 922.2 kgm^{-3} olan yoğunluk değeri metil esterine dönüştürüldükten sonra 895.1 kgm^{-3} değerine düşmüştür. Tüm yakıt ve karışımlarının yoğunluk değerleri standart (TS EN 14214) sınırları arasında bulunmuştur. Ayrıca karışım yakıtlarına ($M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$) ait yoğunluk değerleri incelendiğinde ise bu değerlerin motorin standart (TS 3082 EN 590) sınır değerleri (en az 820 kgm^{-3}, en çok 845 kgm^{-3}) arasında kaldığı görülmüştür.

Karışım yakıtlarına ($M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$) ait ısıl değerleri değerlendirildiğinde karışımlardaki artan biyoetanol ve bütanole oranlarına göre ısıl değerlerde az da olsa düşüş meydana geldiği görülmektedir. Ayrıca bütanol ilavesiyle elde edilen karışım yakıtlarının ısıl değerlerinde, biyoetanol ihtiva eden karışım yakıtlarına göre bir miktar artış gözlenmiştir.

M_{100} ve B_{100} yakıtlarının parlama noktası değerlerine bakıldığında her iki yakıt çeşidinde parlama noktası değerleri yakıtlara ait standart sınır değerlerinin üzerinde çıkmıştır.

Ayrıca biyodizel yakıtına ait parlama noktası değerinin motorin yakıtının değerinden daha yüksek (%157.9 fazla) olduğu tespit edilmiştir.

Yakıt ve karışımlarına ait su içeriği analiz sonuçlarına göre sadece biyoetanol ilave edilerek hazırlanan karışım yakıtlarının ($M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$) su içeriği değerleri hariç diğer yakıtlar ve karışımların su içeriği değerleri her iki standardın sınır değerleriyle uyum içerisindedir. Biyoetanol ilave edilerek hazırlanan karışım yakıtlarının ($M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$) su içeriği değerleri ise biyodizel standart (TS EN 14214) değerleriyle uyum gösterirken motorine ait standart (TS 3082 EN 590) değerine uygunluk göstermediği tespit edilmiştir. Biyoetanol ilavesi yapılan $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$ yakıt karışımlarına ait su içeriği değerlerinin motorin standart değerine göre (en çok 200 ppm) sırasıyla %23, %46 ve %120 fazla olduğu belirlenmiştir.

Biyodizel yakıtına ait soğuk akış özellikleri değerleri incelendiğinde bu değerlerin motorine göre yüksek olduğu görülmektedir. Biyodizel yakıtındaki bu olumsuzluk karışım yakıtlarına alkol ilavesiyle düşürülmüştür. Bütanol karışımları etanol karışımlarına göre daha iyi soğuk akış özellikleri göstermiştir.

Karışım yakıtlarına ait setan sayısı değerleri incelendiğinde $M_{65}B_{20}E_{15}$ yakıtı dışındaki tüm yakıtların setan sayısı değerlerinin motorin standart (EN 590) değerinin üzerinde çıktığı (en az 51.0) görülmüştür.

Tüm yakıt ve karışımlarına ait (M_{100}, B_{100}, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$) bakır çubuk korozyonu 1a bulunmuştur. Bu değerler ilgili standart sınır değerleriyle uyum içerisindedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde yakıt ve karışımların yakıt özellikleri biyodizel standardı olan TS EN 14214 standart sınırlar değerleri arasında bulunmuştur.

Motor performansı değerleri incelendiğinde maksimum efektif motor gücüne 2200 min^{-1} motor devrinde ortalama 80.1 BG değeri ile M_{100} yakıtından elde edilmiştir. Aynı devir sayısında $M_{80}B_{20}$, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıtlarının motor gücü değerleri ise sırasıyla 76.817 BG, 76.595 BG, 76.176 BG, 75.112 BG, 77.556 BG, 77.316 BG ve 77.399 BG olarak gerçekleşmiştir.

Maksimum motor momenti ise 1300 min^{-1} motor devrinde ortalama 321.03 Nm değeri ile M_{100} yakıtından elde edilmiştir. Bu yakıtı sırasıyla 312.84 Nm, 308.52 Nm, 296.72 Nm, 286.31 Nm, 312.49 Nm ve 305.38 Nm, 302.86 Nm değerleriyle $M_{80}B_{20}$, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıtları izlemiştir.

Yakıt tüketimi değerleri arasından minimum özgül yakıt tüketimi değeri 1400 min^{-1} 190.54 g/BGh ile M_{100} yakıtında gerçekleşmiştir. Aynı devir sayısında $M_{80}B_{20}$, $M_{75}B_{20}E_5$,

$M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri ise sırasıyla 214.84 g/BGh 187.27 g/BGh, 216.21 g/BGh, 241.56 g/BGh, 212.43 g/BGh, 212.86 g/BGh, ve 218.01 g/BGh olarak bulunmuştur.

Emisyon değerleri incelendiğinde tüm yakıtlara ait O_2 değerleri arasından en yüksek O_2 emisyonu içeriğindeki %20 biyodizel miktarına bağlı olarak 2500 min^{-1}'de $M_{80}B_{20}$ yakıtında (%19.89) değerinde gerçekleşmiştir. Aynı devir sayısında M_{100}, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıtlarına ait O_2 değerleri sırasıyla sırasıyla %18.94, %18.82, %18.78, %19.21, %18.46, %19.01 ve %19.29 oranlarında olmuştur.

NO_X değerleri arasından en yüksek NOx emisyonu, 1600 min^{-1} devirde $M_{80}B_{20}$ (1279 ppm) yakıtında gerçekleşmiştir. Aynı devir bandında M_{100}, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıtlarına ait NOx değerleri sırasıyla 799 ppm, 1057 ppm, 944 ppm, 818 ppm, 1253 ppm, 1227 ppm ve 1085 ppm değerlerini almıştır. Yine aynı devirde etanol içeren yakıtlar ($M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$ ve $M_{65}B_{20}E_{15}$), bütanol içeren yakıtlara göre ($M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$) göre sırasıyla %15.6, %23.06 ve %24.60 daha düşük NOx emisyonu değerlerini almaktadır.

Yakıtlara ait CO_2 değerleri arasından en düşük CO_2 emisyonu 1000 min^{-1}'de $M_{80}B_{20}$ (%1.45) yakıtında görülmüştür. Aynı devir sayısında M_{100}, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıtlarına ait CO_2 değerleri sırasıyla %6.21, %5.06, %5.66, %5.83, %9.45, %9.76 ve %10.85 oranlarında gerçekleşmiştir.

HC değerleri arasından en yüksek HC emisyonu, içeriğindeki bütanol oranına paralel olarak $M_{65}B_{20}Bü_{15}$ yakıtında 2500 min^{-1}'de 38 ppm olarak gerçekleşmiştir. Aynı devir sayısında M_{100}, $M_{80}B_{20}$, $M_{75}B_{20}E_5$, $M_{70}B_{20}E_{10}$, $M_{65}B_{20}E_{15}$, $M_{75}B_{20}Bü_5$, $M_{70}B_{20}Bü_{10}$ ve yakıtlarına ait HC değerleri sırasıyla 29 ppm, 5 ppm, 9 ppm, 12 ppm, 22 ppm, 29 ppm ve 35 ppm oranlarında gerçekleşmiştir.

5.2 Öneriler

Yapılan bu çalışmada, biyodizel olarak kullanılacak hammaddenin incelenmesi, biyodizel elde edilmesi, motorin-biyodizel-biyoetanol ve motorin-biyodizel-bütanol karışımlarından 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 kıyaslanmıştır. Bundan sonraki yapılacak çalışmalarda ise, hamsi yağı biyodizeli – biyoetanol/bütanol – motorin olarak hazırlanan karışım yakıtları için performans ve emisyon açısından en uygun oran araştırılmalıdır. Hamsi yağı biyodizeli ve alkol karışımlarında setan artırıcı katkıların etkisi incelenmelidir. Kullanılan alkollerin viskozite, yoğunluk ve soğuk akış özelliklerini, emisyon değerlerini iyileştirme özellikleri dikkate alınarak biyodizel – biyoetanol/bütanol – motorin olarak farklı oranlarda karşımlar hazırlanmalı ve farklı motor tiplerinde denemeler yapılıp sonuçlar mukayese edilmelidir. Farklı hammaddelerden elde edilmiş biyodizellerin biyoetanol/bütanol ve motorin ile karışımları sonucu elde edilen yakıtlar ile motorin - hamsi yağı biyodizeli - biyoetanol/bütanol karışım yakıtlarının yakıt özelikleri, motor performansı ve egzoz emisyon değerleri karşılaştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

Acaroğlu, 2003, Alternetif enerji kaynakları Atlas Yayın Dağıtım, *Konya*, Nobel Yayın Dağıtım, p.

Adıgüzel, A. O., 2013, Biyoetanolün genel özellikleri ve üretimi için gerekli hammadde kaynakları, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2 (2), 204-220.

Altın, R., 1998, Bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılmasının deneysel olarak incelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara*.

Altun, Ş. ve Gür, M., 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)*, 2 (1), 9-19.

Altun, Ş. ve Öner, C., 2010, Hayvansal Yağların Dizel Motor Yakıtı Olarak Değerlendirilmesi, *Electronic Journal of Vehicle Technologies/Tasit Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2 (3).

Anonim, 2012b, Gıda teknolojisi, yemeklik yağların analizleri 2. Ankara, Türkiye Cumhuriyeti Milli Eğitim Bakanlığı.

Anonim, 2014, http://www2.bayar.edu.tr/muhendislik/gida/docs/databank/unite9.pdf: [ziyaret tarihi: 11.05.2019].

Anonymous, 2006, Enerji Politikaları Yerli, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Raporu. Ankara., TMMOB Makina Mühendisleri Odası.

Anonymous, 2011, Aile ve tüketici hizmetleri, atık yağlar Türkiye Cumhuriyeti Milli Eğitim Bakanlığı.

Anonymous, 2012a, Yenilenebilir enerji teknolojileri, yenilenebilir enerji kaynakları ve önemi. Ankara, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı.

Anonymous, 2016, Food and Agriculture Organization, http://www.fao.org/3/a-BO103e.pdf: [ziyaret tarihi: 07.07.2019].

Anonymous, 2017, Su Ürünleri İstatistikleri, *Food and Organization*.

Anonymous, 2018b, The State of World Fisheries and Aquaculture, *Food and Organization of the United Nations* (Meeting and Sustainable Goals).

Anonymous, 2019a, http://deneysan.com/Content/images/documents/es-07_182760.pdf: [ziyaret tarihi: 01.06.2019].

Anonymous, 2019b, İnternational Renewable Energy Agency, Bioenergy Data, https://www.irena.org/bioenergy: [ziyaret tarihi: 12.07.2019].

Anonymous, 2019c, Biyodizel, http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyodizel.aspx: [ziyaret tarihi: 01.07.2019].

Anonymous, 2019d, Biyoetanol, http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyoetanol.aspx: [ziyaret tarihi: 01.07.2019].

Anonymous, 2019e, *Resmi Gazete*, 30098.

Avcı, A. ve Dönmez, S., 2011, Biyoyakıt olarak bütanol ve fermantasyonla üretimi, *Elektronik Mikrobiyoloji Dergisi*, 2, 1-12.

Aydin, H. ve Ilkılıc, C., 2010, Effect of ethanol blending with biodiesel on engine performance and exhaust emissions in a CI engine, *Applied Thermal Engineering*, 30 (10), 1199-1204.

Balcı, A. B., 2017, Biyoetanol ile Menengiç Biyodizelinin Motorinle Karışımlarının Dizel Bir Motorda Performans, Egzoz Emisyonları ve Yağlama Yağına Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi*, Konya.

Barabas, I., Todoruţ, A. ve Băldean, D., 2010, ", *Fuel*, 89 (12), 3827-3832.

Behçet, R., 2011, Performance and emission study of waste anchovy fish biodiesel in a diesel engine, *Fuel Processing Technology*, 92 (6), 1187-1194.

Behçet, R., Yumrutaş, R. ve Oktay, H., 2014, Effects of fuels produced from fish and cooking oils on performance and emissions of a diesel engine, *Energy*, 71, 645-655.

Bengisu, G., 2014, Alternatif yakıt kaynağı olarak biyoetanol, *Alınteri Zirai Bilimler Dergisi*, 27 (2), 43-52.

Bhaskar, K., Nagarajan, G. ve Sampath, S., 2013, Optimization of FOME (fish oil methyl esters) blend and EGR (exhaust gas recirculation) for simultaneous control of NOx and particulate matter emissions in diesel engines, *Energy*, 62, 224-234.

Borovalı, 2019, Dünya'da ve Türkiye'de Biyodizel Sektörünün Bugünü ve Yarını. Dünya Enerji Konseyi Yenilenebilir Enerji Eğitimi. Ankara.

Buyukkaya, E., Benli, S., Karaaslan, S. ve Guru, M., 2013, Effects of trout-oil methyl ester on a diesel engine performance and emission characteristics, *Energy conversion and management*, 69, 41-48.

Devan, P. ve Mahalakshmi, N., 2009, A study of the performance, emission and combustion characteristics of a compression ignition engine using methyl ester of paradise oil–eucalyptus oil blends, *Applied energy*, 86 (5), 675-680.

Doğan, O., 2011, The influence of n-butanol/diesel fuel blends utilization on a small diesel engine performance and emissions, *Fuel*, 90 (7), 2467-2472.

Eryılmaz, T., 2009, Hardal yağı biyodizelinde farklı karışım oranlarının dizel motorlarda performansa etkisi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Eryilmaz, T., Hüseyin, Ö., Hidayet, O. ve Bacak, S., 2010, Investigation of the performance and emission values of non-standard fuels at diesel engines, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 6 (1), 45-53.

Genç, 2007, Son 20 yılda Türkiye' deki Hamsi Avcılığı *SÜMAE Yunus Araştırma Bülteni*, 7:2, 4-7. .

Geng, L., Chen, Y., Chen, X. ve Chia-fon, F. L., 2019, Study on combustion characteristics and particulate emissions of a common-rail diesel engine fueled with n-butanol and waste cooking oil blends, *Journal of the Energy Institute*, 92 (3), 438-449.

Gharehghani, A., Mirsalim, M. ve Hosseini, R., 2017, Effects of waste fish oil biodiesel on diesel engine combustion characteristics and emission, *Renewable Energy*, 101, 930-936.

Godiganur, S., Murthy, C. S. ve Reddy, R. P., 2010, Performance and emission characteristics of a Kirloskar HA394 diesel engine operated on fish oil methyl esters, *Renewable Energy*, 35 (2), 355-359.

Heywood, J. B., 1988, Internal combustion engine fundamentals, *Combustion science and technology, 2008*.

Hong, I. K., Park, J. W. ve Lee, S. B., 2013, Optimization of fish-oil-based biodiesel synthesis, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19 (3), 764-768.

Ibrahim, A., 2016, Performance and combustion characteristics of a diesel engine fuelled by butanol–biodiesel–diesel blends, *Applied Thermal Engineering*, 103, 651-659.

Ileri, E., Atmanli, A. ve Yilmaz, N., 2016, Comparative analyses of n-butanol–rapeseed oil–diesel blend with biodiesel, diesel and biodiesel–diesel fuels in a turbocharged direct injection diesel engine, *Journal of the Energy Institute*, 89 (4), 586-593.

Jiaqiang, E., Pham, M., Deng, Y., Nguyen, T., Duy, V., Le, D., Zuo, W., Peng, Q. ve Zhang, Z., 2018, Effects of injection timing and injection pressure on performance and exhaust emissions of a common rail diesel engine fueled by various concentrations of fish-oil biodiesel blends, *Energy*, 149, 979-989.

Jin, C., Yao, M., Liu, H., Chia-fon, F. L. ve Ji, J., 2011, Progress in the production and application of n-butanol as a biofuel, *Renewable and sustainable energy reviews*, 15 (8), 4080-4106.

Keskin, A., 2005, Tall yağı esaslı biyodizel ve yakıt katkı maddesi üretimi ve bunların dizel motor performansı üzerindeki etkileri, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara*.

Kumar, B. R. ve Saravanan, S., 2016, Use of higher alcohol biofuels in diesel engines: A review, *Renewable and sustainable energy reviews*, 60, 84-115.

Kumbur, H., Özer, Z., Özsoy, H. D. ve Avcı, E. D., 2005, Türkiye'de geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli ve çevresel etkilerinin karşılaştırılması, *Yeksem 2005, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, 19-21.

Lapuerta, M., Armas, O. ve Rodriguez-Fernandez, J., 2008, Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions, *Progress in energy and combustion science*, 34 (2), 198-223.

Madiwale, S., Karthikeyan, A. ve Bhojwani, V., 2018, Properties investigation and performance analysis of a diesel engine fuelled with Jatropha, Soybean, Palm and Cottonseed biodiesel using Ethanol as an additive, *Materials Today: Proceedings*, 5 (1), 657-664.

Makarevičienė, V., Kazancev, K. ve Kazanceva, I., 2015, Possibilities for improving the cold flow properties of biodiesel fuel by blending with butanol, *Renewable Energy*, 75, 805-807.

Minteer, S., 2016, Alcoholic fuels, CRC Press, p.

Mofijur, M., Rasul, M. ve Hyde, J., 2015, Recent developments on internal combustion engine performance and emissions fuelled with biodiesel-diesel-ethanol blends, *Procedia Engineering*, 105, 658-664.

Mofijur, M., Rasul, M., Hyde, J., Azad, A., Mamat, R. ve Bhuiya, M., 2016, Role of biofuel and their binary (diesel–biodiesel) and ternary (ethanol–biodiesel–diesel) blends on internal combustion engines emission reduction, *Renewable and sustainable energy reviews*, 53, 265-278.

Nas, S., Ünsal, M. ve Gökalp, H. Y., 1998, Bitkisel Yağ Teknolojisi, *Pamukkale Üniversitesi Müh. Fak. Ders Kitapları*, Yayın No:5/ Denizli.

Nigam, P. S. ve Singh, A., 2011, Production of liquid biofuels from renewable resources, *Progress in energy and combustion science*, 37 (1), 52-68.

Ozsezen, 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.

Öğüt, 2007, Yakıtı Olarak Biyoyakıtlar Enerji Güvenliği,Enerji Tarımı. Küresel Isınma Açısından Biyoyakıtlar Sempozyomu Ankara.

Öğüt, H. ve Oğuz, H., 2006, Üçüncü milenyum yakıtı; biyodizel, 3. Baskı, *Konya*, Nobel Yayınları, p.

Özer, S., 2010, Bütanol kullanımın dizel motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkilerinin deneysel olarak araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük*.

Prbakaran, B. ve Viswanathan, D., 2018, Experimental investigation of effects of addition of ethanol to bio-diesel on performance, combustion and emission characteristics in CI engine, *Alexandria engineering journal*, 57 (1), 383-389.

Rakopoulos, C., Antonopoulos, K., Rakopoulos, D., Hountalas, D. ve Giakoumis, E., 2006, Comparative performance and emissions study of a direct injection diesel engine using blends of diesel fuel with vegetable oils or bio-diesels of various origins, *Energy conversion and management*, 47 (18-19), 3272-3287.

Rakopoulos, D., Rakopoulos, C., Giakoumis, E., Dimaratos, A. ve Kyritsis, D., 2010, Effects of butanol–diesel fuel blends on the performance and emissions of a high-speed DI diesel engine, *Energy conversion and management*, 51 (10), 1989-1997.

Ren, Y., Huang, Z., Miao, H., Jiang, D., Zeng, K., Liu, B. ve Wang, X., 2007, Effect of the addition of diglyme in diesel fuel on combustion and emissions in a compression− ignition engine, *Energy & Fuels*, 21 (5), 2573-2583.

Sakthivel, G., Nagarajan, G., Ilangkumaran, M. ve Gaikwad, A. B., 2014, Comparative analysis of performance, emission and combustion parameters of diesel engine fuelled with ethyl ester of fish oil and its diesel blends, *Fuel*, 132, 116-124.

Sekmen, Y. ve Şen, S., 2016, Hamsi (Engraulis Encrasicolus) Yağından Biyodizel Üretimi Ve Dizel Motor Performans Ve Emisyonlarına Etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31 (1).

Sezer, İ., 2017, Dizel Yakıtına Etanol ve Dietil Eter Katılmasının Motor Performansı ve Emisyonlara Etkilerinin Deneysel İncelenmesi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 38 (1), 61-68.

Silitonga, A. S., Masjuki, H. H., Ong, H. C., Sebayang, A. H., Dharma, S., Kusumo, F., Siswantoro, J., Milano, J., Daud, K. ve Mahlia, T. M. I., 2018, Evaluation of the engine performance and exhaust emissions of biodiesel-bioethanol-diesel blends using kernel-based extreme learning machine, *Energy*, 159, 1075-1087.

Soylu, P., Karabektaş, M. ve Ermiş, K., 2004, Otomobiller için alternatif enerji kaynaklarının incelenmesi, *Uluslararası Ege Sempozyumu*, 491-504.

Sözen, E., Gündüz, G., Aydemir, D. ve Güngör, E., 2017, Biyokütle Kullanımının Enerji, Çevre, Sağlık ve Ekonomi Açısından Değerlendirilmesi, *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 19 (1), 148-160.

Şahin, 2019, Biyodizel ve Bioetanol Karışımının Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Kullanımının Motor Performansına ve Emisyonlara Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi,*, Konya.

Tüccar, G., Özgür, T. ve Aydın, K., 2014, Effect of diesel–microalgae biodiesel–butanol blends on performance and emissions of diesel engine, *Fuel*, 132, 47-52.

Ulusoy, 1999, Ayçiçeği, kolza, pamuk ve soya yağlarının dizel motorlarında yakıt olarak kullanım olanaklarının belirlenmesi üzerine karşılaştırmalı bir araştırma, *Uludağ Üniversitesi*, Bursa.

Ulusoy, Y. ve Alibaş, K., 2002, Diesel motorlarda biodiesel kullanımının teknik ve ekonomik olarak incelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 16, 37-50.

Üstün, S., 2006, Hayvansal yağlardan biyodizel elde edilmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.

Varuvel, E. G., Mrad, N., Tazerout, M. ve Aloui, F., 2012, Assessment of liquid fuel (bio-oil) production from waste fish fat and utilization in diesel engine, *Applied energy*, 100, 249-257.

Wu, Y., Huang, H., Lin, Y., Huang, W. ve Huang, Y., 2014, Mackerel biodiesel production from the wastewater containing fish oil, *Energy*, 70, 43-48.

Yahuza, I. ve Dandakouta, H., 2015, A performance review of ethanol-diesel blended fuel samples in compression-ignition engine, *Journal of Chemical Engineering & Process Technology*, 6 (5), 1-6.

Yılmaz, 2017, Büyükbaş Hayvan Böbrek İç Yağlarından ve Kolza Yağından Biyodizel Üretimi ve Kolza İçin Yağ Ekstraksiyon Yöntemlerinin Biyodizel Kalitesine Etkisinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi*, Bursa.

Yilmaz, N., Vigil, F. M., Benalil, K., Davis, S. M. ve Calva, A., 2014, Effect of biodiesel–butanol fuel blends on emissions and performance characteristics of a diesel engine, *Fuel*, 135, 46-50.

Zhang, Z.-H. ve Balasubramanian, R., 2014, Influence of butanol addition to diesel–biodiesel blend on engine performance and particulate emissions of a stationary diesel engine, *Applied energy*, 119, 530-536.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Abdullah Karaboğa
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Ereğli/Konya - 13.02.1992
Telefon : -
Faks : -
e-mail : akademik@abdullahkaraboga.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	:	**Konya Ereğli Anadolu Teknik Lisesi**	**2010**
Üniversite	:	**Bozok Üniversitesi MMF Yozgat**	**2016**
Yüksek Lisans	:	**Selçuk Ünv. Fen Bil. Enst. Selçuklu/Konya**	**2019**
Doktora	:	-	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Karaboğa, A. ve Mengeş H.O., 2019, Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences, Determination of Fuel Properties of Some Alcohols (Bioethanol, Butanol), Biodiesel and Diesel Mixtures Obtained from Anchovy (Engraulis encrasicolus) Oil, *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences* (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır)