

**T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Doktora Tezi

**ÜRETİMİNDE FARKLI ALKOLLER VE
KATALİZÖRLER KULLANILAN BİYODİZELLERİN
YAKIT ÖZELLİKLERİ, MOTOR PERFORMANSLARI
VE EGZOZ EMİSYONLARININ İNCELENMESİ**

Volkan ASLAN

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Tanzer ERYILMAZ**

Yozgat 2019

**T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Doktora Tezi

**ÜRETİMİNDE FARKLI ALKOLLER VE
KATALİZÖRLER KULLANILAN BİYODİZELLERİN
YAKIT ÖZELLİKLERİ, MOTOR PERFORMANSLARI
VE EGZOZ EMİSYONLARININ İNCELENMESİ**

Volkan ASLAN

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Tanzer ERYILMAZ**

**Bu çalışma, Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
tarafından 6602B-MMF/18-175 kodu ile desteklenmiştir.**

Yozgat 2019



YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ

TEZ ONAY FORMU

T.C.
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

Enstitümüzün Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Doktora Programı 70111014002 numaralı öğrencisi Volkan ASLAN'ın hazırladığı “Üretiminde Farklı Alkoller ve Katalizörler Kullanılan Biyodizellerin Yakıt Özellikleri, Motor Performansları ve Egzoz Emisyonlarının İncelenmesi” başlıklı tezi ile ilgili tez savunma sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri gereğince 30/12/2019 Cuma günü saat 10:30'da yapılmış, tezin onayına oy birliği/oy çokluğu ile karar verilmiştir.

Başkan : Prof.Dr. Murat CİNİVİZ

Jüri Üyesi : Doç.Dr. Tanzer ERYILMAZ
(Danışman)

Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Halil ATALAY

Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi İlker ÖRS

Jüri Üyesi : Dr. Öğr. Üyesi Atıla Abir İĞCİ

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 30.01.2020 tarih ve 5... sayılı Enstitü Yönetim Kurulu Kararı ile onaylanmıştır.

30.01.2020

Prof. Dr. Mustafa SAÇMACI



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
TABLolar LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
KISALTMALAR LİSTESİ	xii
SİMGELER LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Dünya Enerji Görünümü	2
1.2. Türkiye Enerji Görünümü	5
2. YENİLENEBİLİR ENERJİ VE BİYODİZEL	11
2.1. Yenilenebilir Enerji	11
2.1.1. Yenilenebilir Enerjinin Önemi, Kaynakları ve Kullanımı	11
2.1.2. Türkiye’de Yenilenebilir Enerjinin Durumu	15
2.1.3. Biyokütle Enerjisi	17
2.2. Biyodizel	22
2.2.1. Dünyada ve Türkiye’de Biyodizelin Durumu	24
2.2.2. Biyodizelin Avantajları ve Dezavantajları	26
2.2.3. Biyodizel Üretimi	27
2.2.3.1. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Hammaddeler	27
2.2.3.1.1. Bitkisel Yağlar	28
2.2.3.1.2. Hayvansal Yağlar	29
2.2.3.1.3. Diğer Yağlar	30
2.2.3.2. Yağ Asidi Kompozisyonu	31
2.2.3.2.1. Yağ Asitlerinin Sınıflandırılması	32
2.2.3.3. Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerinin ve Motorda Kullanımının İyileştirilmesi	34
2.2.3.3.1. Mikroemülsiyon	36
2.2.3.3.2. Seyreltme (İnceltme)	37
2.2.3.3.3. Piroliz	37

2.2.3.3.4. Transesterifikasyon	37
2.2.3.4. Transesterifikasyon Reaksiyonu	37
2.2.3.5. Transesterifikasyon Reaksiyonuna Etki Eden Parametreler	39
2.2.3.5.1. Katalizör Çeşidi ve Miktarının Etkisi	40
2.2.3.5.2. Alkol Çeşidi ve Miktarının Etkisi	43
2.2.3.5.3. Serbest Yağ Asidi ve Su Miktarının Etkisi	44
2.2.3.5.4. Reaksiyon Sıcaklığının Etkisi	45
2.2.3.5.5. Reaksiyon Süresinin Etkisi	45
2.2.3.5.6. Karıştırma Hızının Etkisi	46
2.2.4. Biodizelin Yakıt Özellikleri ve Standartları	46
3. KAYNAK ARAŞTIRMASI	49
4. MATERYAL VE METOT	65
4.1. Materyal	65
4.1.1. Siyah Hardal (<i>Brassica nigra</i> L.)	65
4.1.2. Araştırmada Kullanılan Cam ve Kimyasal Malzemeler	66
4.1.2.1. Cam Malzemeler	66
4.1.2.2. Metanol	66
4.1.2.3. Etanol	66
4.1.2.4. İzopropanol (2-Propanol)	66
4.1.2.5. 1-Bütanol	67
4.1.2.6. 1-Pentanol (Amil Alkol)	67
4.1.2.7. Sodyum Hidroksit (NaOH)	67
4.1.2.8. Potasyum Hidroksit (KOH)	67
4.1.2.9. Diğer Kimyasallar	67
4.1.3. Petrodizel	67
4.1.4. Araştırmada Kullanılan Alet ve Cihazlar	68
4.1.4.1. Vidalı Pres Yağ Çıkarma Makinesi	68
4.1.4.2. Soxhlet Ekstraksiyon Cihazı	68
4.1.4.3. Döner buharlaştırıcı	69
4.1.4.4. Yoğunluk Ölçer	69
4.1.4.5. Nem Analiz Cihazı	70
4.1.4.6. Kinematik Viskozite Ölçüm Cihazı	70

4.1.4.7. Su İçeriği Tayin Cihazı	71
4.1.4.8. Parlama Noktası Tayin Cihazı	72
4.1.4.9. Kalorimetre	72
4.1.4.10. Bulutlanma Noktası, Soğuk Filtre Tıkanma Noktası, Akma Noktası ve Donma Noktası Tayin Cihazı	73
4.1.4.11. Otomatik Renk Ölçüm (Tintometre) Cihazı	73
4.1.4.12. pH metre	74
4.1.4.13. Isıtıcıli Manyetik Karıştırıcılar	74
4.1.4.14. Homojenizatör	75
4.1.4.15. Mekanik Karıştırıcı	75
4.1.4.16. Hassas Terazı	76
4.1.4.17. Etüv	76
4.1.4.18. Ultra Saf Su Cihazı	77
4.1.4.19. Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (GC-MS)	77
4.1.4.20. İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS)	78
4.1.4.21. Kronometre	78
4.1.5. Motor Test Düzenegi ve Ölçüm Ekipmanları	79
4.1.5.1. Dizel Test Motoru	80
4.1.5.2. Hidrolik Dinamometre	81
4.1.5.3. Magnetic Pick-Up	81
4.1.5.4. S Tipi Yük Hücresi	82
4.1.5.5. Kütleli Yakıt Tüketimi Ölçüm Cihazı	82
4.1.5.6. Dinamometre Kontrol Ünitesi ve Kayıt Sistemi	83
4.1.5.7. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı	84
4.2. Metot	84
4.2.1. Siyah Hardal Tohumundan Siyah Hardal Yağı Elde Edilmesi	88
4.2.2. Siyah Hardal Yağı Fizikokimyasal Özellikleri ve Yağ Asidi Kompozisyonun Belirlenmesi	89
4.2.3. Polinomsal Regresyon Matematiksel Modeli	90
4.2.4. Siyah Hardal Yağı Biyodizeli Üretiminin Optimizasyonu	91
4.2.5. Siyah Hardal Yağı Biyodizeli (SHYB) Üretimi	95
4.2.6. NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} , KOH _{EB} ve ED Yakıtlarının Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi	99

4.2.7. SHY, NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} , KOH _{EB} ve ED Yakıtlarının Serbest Yağ Asidi ve Asit Sayılarının Tespit Edilmesi	99
4.2.8. Motor Karakteristik Deneyleri	101
4.2.8.1. Motor Performans ve Egzoz-Emisyon Deneylerinin Yapılması	101
4.2.8.2. Deneylerde Ölçülen Parametreler	101
4.2.8.2.1. Efektif Motor Torku	101
4.2.8.2.2. Yakıt Tüketimi	102
4.2.8.2.3. Motor ve Egzoz Gazı Sıcaklıkları	102
4.2.8.2.4. Emisyonu Ölçümü	103
4.2.8.3. Deneyler Sonucu Hesaplanan Parametreler	103
4.2.8.3.1. Efektif Motor Gücü	103
4.2.8.3.2. Efektif Özgül Yakıt Tüketimi	103
4.2.8.3.3. Efektif Termik Verim	104
4.2.8.3.4. Ortalama Efektif Basınç	104
5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	106
5.1. Siyah Hardal Yağının Fizikokimyasal Özellikleri ve Yağ Asidi Kompozisyonu	106
5.2. Siyah Hardal Yağı Biyodizeli Üretiminin Optimizasyonu	107
5.2.1. Katalizör Çeşidi ve Miktarının Etkisi	108
5.2.2. Alkol Çeşidi ve Miktarının Etkisi	110
5.2.3. Reaksiyon Sıcaklığının Etkisi	112
5.2.4. Reaksiyon Süresinin Etkisi	114
5.2.5. İzo-Propanol, Bütanol ve Pentanol ile Yapılan Optimizasyon Çalışmaları	116
5.3. Siyah Hardal Yağı Biyodizellerinin Yakıt Özellikleri	117
5.3.1. Yoğunluk	119
5.3.2. Kinematik Viskozite	120
5.3.3. Isıl Değer	121
5.3.4. Su İçeriği	122
5.3.5. Parlama Noktası	122
5.3.6. Asit Sayısı	123
5.3.7. Sabunlaşma Sayısı	124
5.3.8. İyot Sayısı	124

5.3.9. Setan Sayısı	124
5.3.10. Soğuk Akış Özellikleri	125
5.3.11. Renk	126
5.3.12. Element Tayini	126
5.3.13. pH	127
5.4. Motor Performans Test Sonuçları	127
5.4.1. Efektif Motor Torqu	127
5.4.2. Efektif Motor Gücü	128
5.4.3. Efektif Özgül Yakıt Tüketimi	129
5.4.4. Efektif Termik Verim.....	131
5.4.5. Ortalama Efektif Basınç	132
5.5. Egzoz Gazı Sıcaklığı ve Emisyon Değerleri	133
5.5.1. Egzoz Gazı Sıcaklığı (EGS).....	133
5.5.2. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu	135
5.5.3. Karbondioksit (CO ₂) Emisyonu	136
5.5.4. Hidrokarbon (HC) Emisyonu	137
5.5.5. Kükürtdioksit (SO ₂)Emisyonu	138
5.5.6. Azotoksit (NO _x) Emisyonu	139
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	141
KAYNAKLAR	145
EKLER	179
ÖZGEÇMİŞ	187

ÜRETİMİNDE FARKLI ALKOLLER VE KATALİZÖRLER KULLANILAN BİYODİZELLERİN YAKIT ÖZELLİKLERİ, MOTOR PERFORMANSLARI VE EGZOZ EMİSYONLARININ İNCELENMESİ

Volkan ASLAN

Yozgat Bozok Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Doktora Tezi
2019; Sayfa: 187

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tanzer ERYILMAZ

ÖZET

Bu çalışmada, siyah hardal (*Brassica nigra* L.) tohumundan elde edilen siyah hardal yağından farklı alkoller (metanol-C₁, etanol-C₂, izo-propanol-C₃, bütanol-C₄, pentanol-C₅) ve farklı katalizörler (sodyum hidroksit, potasyum hidroksit) kullanılarak transesterifikasyon metodu ile biyodizel üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretim öncesi en uygun biyodizel verimini sağlamak için katalizör oranı, alkol miktarı, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi işlem parametrelerinin kullanıldığı polinomsal regresyon matematiksel modeli destekli optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Belirlenen koşullarda; metanol ve etanol ile yapılan optimizasyon çalışmalarında biyodizel elde edilirken, izo-propanol, bütanol ve pentanol ile yapılan çalışmalarda ester ve gliserol ayrışması gözlemlenmemiştir. Sonraki aşamada, elde edilen yakıtların yakıt özellikleri belirlenmiştir. Daha sonra, bu yakıtlar bir dizel motorda test edilerek motor performans ve egzoz emisyon değerleri tespit edilmiştir. Sonuç olarak, yakıtlar arasında en yüksek biyodizel verimi %0.4 KOH ve %20.39 metanol ağırlıklarında, 57.1°C reaksiyon sıcaklığı ve 54.1 dakika reaksiyon süresinde %97.335 olarak belirlenmiştir. Ölçülen yakıt özellikleri dikkate alındığında, genel olarak standartları sağladığı görülmüştür. Motor testlerinde ise yakıtlardan elde edilen en yüksek efektif motor tork ve efektif motor gücü ortalama değerleri petrodizele göre sırasıyla %8.25 ve %7.3 oranlarına kadar daha düşük, efektif özgül yakıt tüketimi ortalama değerleri ise %12.97 oranına kadar daha yüksek çıkmıştır. Biyodizel yakıtların ED'ye göre CO, HC ve SO₂ ortalama emisyon değerlerinin düşük olduğu tespit edilirken, EGS değerlerinin yüksek, CO₂ ve NO_x ortalama emisyon değerlerinin ise NaOHEB yakıtı dışında yüksek çıktığı bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Siyah hardal yağı biyodizeli, optimizasyon, polinomsal regresyon, alkol, katalizör, motor performansı, egzoz emisyonları

**INVESTIGATION OF FUEL PROPERTIES, MOTOR PERFORMANCES
AND EXHAUST EMISSIONS OF BIODIESELS USED BY DIFFERENT
ALCOHOLS AND CATALYSTS IN PRODUCTION**

Volkan ASLAN

**Yozgat Bozok University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering
PhD Thesis
2019; Page: 187**

Supervisor: Asssoc. Prof. Dr. Tanzer ERYILMAZ

ABSTRACT

In this study, biodiesel was produced from black mustard oil which obtained from black mustard (*Brassica nigra* L.) seed using different alcohols and different catalysts by transesterification method. Prior to the production, polynomial regression mathematical model supported optimization studies were performed to ensure optimum biodiesel yield using process parameters such as catalyst ratio, alcohol content, reaction temperature and reaction time. While biodiesel was obtained in the optimization studies with methanol and ethanol under desired conditions, no separation of ester and glycerol was observed in the studies with iso-propanol, butanol, and pentanol. In the next stage, the physicochemical properties of the attained fuels were determined. Then, the engine performance and exhaust emission values were detected testing these fuels in a diesel engine. As a result, the highest biodiesel yield was found to be as 97.335% under the weight of KOH of 0.4% and weight of methanol of 20.39%, reaction temperature of 57.1°C and reaction time of 54.1 min. When the measured fuel properties were taken into consideration, they were observed to meet the standards in general. In the engine tests, the highest mean effective engine torque and effective engine power were lower by in the order of 8.25% and 7.3% than those of petrodiesel, mean effective specific fuel consumption was higher up to the ratio of 12.97%. In comparison with the ED, EGT values of biodiesel fuels were appeared higher, while the mean emission values of CO, HC and SO₂ were observed lower, and the average emission values of CO₂ and NO_x were found to be high except for NaOH_{EB}.

Keywords: Black mustard oil, optimization, polynomial regression, alcohol, catalyst, engine performance, exhaust emissions

TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın planlanması ve hazırlanması esnasında yardımını esirgemeyen danıőmanım Do. Dr. Tanzer ERYILMAZ'a, deneyler sürecinde imkanlarını sunan Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakóltesi yónetimine, bu araőtırmayı (Proje Kodu: 6602B-MMF/18-175) finanse eden Yozgat Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne, bu sürecin her aşamasında bana destek olan sevgili eőim Gizem ASLAN'a, oğlum Ahmet Talha ASLAN ve kızım Elif Lina ASLAN'a, tüm eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen her zaman yanımda olan annem Ümmühan ASLAN, babam Ahmet ASLAN, ablalarım Meral YILMAZ ve Kezban KURT'a ve çalışma süresi boyunca karőılıklı beklemeden yardımcı olan herkese teőekkürlerimi bir borç bilirim.

2019, YOZGAT

Volkan ASLAN

TABLULAR LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: YEK ve Kullanım Şekilleri	13
Tablo 2.2: Küresel Biyoenerji Güç, Isıl Kapasite ve Biyoyakıt Üretimi, 2017	20
Tablo 2.3: Yaygın Yağ Asitlerinin Kimyasal Yapısı	31
Tablo 2.4: Çift Karbon Sayılı (8-24C) Doymuş Yağ Asitlerinin Erime ve Kaynama Noktaları	32
Tablo 2.5: Çeşitli Hammaddelere Göre Tespit Edilmiş Yağ Asidi Kompozisyonları	35
Tablo 2.6: Biyodizel Üretim Yöntemlerinin Karşılaştırılması	38
Tablo 2.7: Farklı Katalizör Çeşitleri İçin Reaksiyon Koşullarının Karşılaştırılması	42
Tablo 2.8: Farklı Katalizör Çeşitlerinin Avantaj ve Dezavantajları	42
Tablo 2.9: Alkali Katalizörlü Transesterifikasyon Yöntemi İçin Önerilen SYA Değerleri	45
Tablo 2.10: TS EN 14214 Biyodizel Standardında Uygulanabilir Gereksinimler ve Test Yöntemleri	47
Tablo 2.11: ASTM D6751 Biyodizel Standardında Uygulanabilir Gereksinimler ve Test Yöntemleri	48
Tablo 2.12: TS EN 590 Petrodizel Standardında Uygulanabilir Gereksinimler ve Test Yöntemleri	48
Tablo 3.1: Hammadde Olarak Farklı Brassica Türleri, Palm, Soya, Jatropha Curcas Yağları Kullanılarak Hazırlanan Biyodizellerin Üretim ve Optimizasyon Parametrelerinin İncelenmesi	50
Tablo 3.2: Hammadde Olarak Farklı Brassica Türleri, Palm, Soya, Jatropha Curcas Yağları Kullanılarak Hazırlanan Biyodizellerin Yakıt Özelliklerinin İncelenmesi	51
Tablo 4.1: Alkollerin Fizikokimyasal Özellikleri	67
Tablo 4.2: Vidalı Yağ Çıkarma Presinin Teknik Özellikleri	68
Tablo 4.3: Dizel Test Motoruna Ait Teknik Özellikler	80
Tablo 4.4: Hidrolik Dinamometreye Ait Teknik Özellikler	81
Tablo 4.5: Egzoz Emisyon Cihazına Ait Teknik Özellikler	84
Tablo 4.6: Optimizasyon İşleminde Kullanılan Parametreler ve Sayısal Değerler (M Ve E İçin).....	92
Tablo 4.7: Optimizasyon İşleminde Kullanılan Parametreler ve Sayısal Değerler (İ,B Ve P İçin)	93
Tablo 4.8: Optimizasyon Süresince ve Üretilen Biyodizellere, Kullanılan Alkol ve Katalizör Çiftine Göre Adlandırılan Kısaltmalar	97

Tablo 5.1:	SHY'nin Fizikokimyasal Özellikleri	106
Tablo 5.2:	SHY Yağ Asidi Kompozisyonu	106
Tablo 5.3:	NaOH _{MB} , KOH _{MB} , NaOH _{EB} ve KOH _{EB} İçin Optimum Reaksiyon Şartları	116
Tablo 5.4:	NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} ve KOH _{EB} 'nin Yakıt Özellikleri	118
Tablo 5.5:	NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} ve KOH _{EB} 'nin Yağ Asidi Kompozisyonları	118
Tablo 5.6:	NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} , KOH _{EB} ve ED Yakıtlarının Parlama Noktası Değerleri	123
Tablo 5.7:	NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} , KOH _{EB} ve ED Yakıtlarının Element İçerikleri	126



ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1:	1973 ve 2016 Yılı Yakıtlar Formunda Dünya Birincil Enerji Arz Grafikleri 2
Şekil 1.2:	1997-2017 Yılları Arası Dünya Birincil Enerji Kaynaklarının Enerji Üretim Miktarı 3
Şekil 1.3:	1997-2017 Yılları Arası Dünya Birincil Enerji Kaynakları Enerji Tüketim Miktarı 4
Şekil 1.4:	1973 ve 2016 Yılı Yakıtlar Formunda Türkiye Birincil Enerji Arz Grafikleri 5
Şekil 1.5:	1997-2017 Yılları Arası Türkiye Birincil Enerji Kaynakları Enerji Üretim Miktarı 6
Şekil 1.6:	1997-2017 Yılları Arası Türkiye Birincil Enerji Kaynakları Enerji Tüketim Miktarı 7
Şekil 2.1:	Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması 12
Şekil 2.2:	Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Göre Enerji Potansiyelleri 12
Şekil 2.3:	2015 Yılı Toplam Enerji Tüketimi İçerisinde Yenilenebilir Enerjinin Kullanımı 14
Şekil 2.4:	2007-2017 Yılları Arası Küresel Yenilenebilir Enerji Güç Kapasitesi 15
Şekil 2.5:	2007-2017 Yılları Arası Türkiye Yenilenebilir Enerji Tüketim Miktarlarının Değişimi 16
Şekil 2.6:	2007-2017 Yılları Arası Türkiye Yenilenebilir Enerji Kurulu Güç Kapasitesi 17
Şekil 2.7:	Biyokütle Hammaddelerinin Sınıflandırılması 18
Şekil 2.8:	Biyokütleden Biyoenerjiye Dönüşüm Platformları 19
Şekil 2.9:	Kaynak Bazında Türkiye'nin Biyokütle Potansiyel Miktarları ve Yüzde Dağılımları 20
Şekil 2.10:	2007-2017 Yılları Arası ABD, Brezilya, Almanya Ve Türkiye'nin Biyoenerji Kurulu Güç Kapasiteleri 21
Şekil 2.11:	2017 Yılı Dünya Genelinde Bölgelere ve Kıtalara Göre Biyodizel Üretim Miktarları 25
Şekil 2.12:	2016 Yılı Dünya Genelinde Biyodizel Üretiminde Kullanılan Hammadde Çeşitlerinin Yüzdesel Kullanım Miktarları 28
Şekil 2.13:	Yağ Asidi ve Gliserolden Mono-Di-Trigliseritlerin Sentezi 32
Şekil 2.14:	Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerinin İyileştirilmesi 36
Şekil 2.15:	Transesterifikasyon Reaksiyonu 38

Şekil 2.16:	Biyodizel Üretiminin Sınıflandırılması	39
Şekil 2.17:	Sabun Oluşum Reaksiyonu	44
Şekil 4.1:	Siyah Hardal (<i>Brassica nigra</i> L.) Tohumları	65
Şekil 4.2:	Vidalı Yağ Çıkarma Presi	68
Şekil 4.3:	Soxhlet Ekstraksiyon Cihazı	69
Şekil 4.4:	Döner Buharlaştırıcı	69
Şekil 4.5:	Yoğunluk Ölçer	70
Şekil 4.6:	Nem Analiz Cihazı	70
Şekil 4.7:	Kinematik Viskozite Ölçüm Cihazı	71
Şekil 4.8:	Su İçeriği Tayin Cihazı	71
Şekil 4.9:	Parlama Noktası Tayin Cihazı	72
Şekil 4.10:	Kalorimetre	72
Şekil 4.11:	Bulutlanma Noktası, Soğuk Filtre Tıkanma Noktası, Akma Noktası ve Donma Noktası Tayin Cihazı	73
Şekil 4.12:	Otomatik Renk Ölçüm (Tintometre) Cihazı	74
Şekil 4.13:	pH Metre	74
Şekil 4.14:	Isıtıcılı Manyetik Karıştırıcı (IKA Marka)	75
Şekil 4.15:	Homojenizatör	75
Şekil 4.16:	Mekanik Karıştırıcı	76
Şekil 4.17:	Hassas Terazî	76
Şekil 4.18:	Etüv	77
Şekil 4.19:	Ultra Saf Su Cihazı	77
Şekil 4.20:	Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (GC-MS).....	78
Şekil 4.21:	İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS)	78
Şekil 4.22:	Motor Deney ve Test Düzenineğinin Şematik Görünümü	79
Şekil 4.23:	Dizel Test Motoru	80
Şekil 4.24:	Hidrolik Dinamometre	81
Şekil 4.25:	Magnetic Pick-Up	82
Şekil 4.26:	S Tipi Yük Hücresi	82
Şekil 4.27:	Kütlesel Yakıt Tüketimi Ölçüm Cihazı	83
Şekil 4.28:	Dinamometre Kontrol Ünitesi ve Kayıt Sistemi	83
Şekil 4.29:	Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı	84
Şekil 4.30:	Biyodizel Üretim ve Test İş Akış Şeması	86
Şekil 4.31:	SHY Elde Etme İşlem Aşamaları	88

Şekil 4.32:	(a) Siyah Hardal Tohumunun Sıkılması, (b) KÜSPE, (c) Ham Yağ (Sıkım İşleminden Hemen Sonrası), (d) Ham Yağ (Dinlendirilmiş) ve Çöken KÜSPE Taneleri, (e) Filtre Edilmiş Yağ (SHY).....	89
Şekil 4.33:	PRM Uygulanan Optimizasyon İşlemine Ait Bir Örnekleme	94
Şekil 4.34:	SHYB Üretim Aşamaları	95
Şekil 4.35:	SHY'nin SHYB'ye Transesterifikasyonu İçin Deneysel Kurulum .	96
Şekil 4.36:	Biyodizel Üretim Aşamaları	98
Şekil 4.37:	Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Hazırlanan NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} , KOH _{EB} ve ED Yakıtlar.....	99
Şekil 4.38:	Asit Sayısı Ölçümlerinde; (a) Pembeleşme Öncesi Karışım, (b) Pembeleşme Sonrası Karışım	100
Şekil 4.39:	Motor Performans ve Egzoz-Emisyon Değerlerinin Tespit Edilmesi İçin Hazırlanan NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} , KOH _{EB} ve ED Yakıtlar	101
Şekil 4.40:	Hidrolik Dinamometre ve Yük Hücresinin Şematik Görünümü	102
Şekil 5.1:	Katalizör Çeşidi ve Miktarının Biyodizel Verimi Üzerine Etkisi....	108
Şekil 5.2:	Alkol Çeşidi ve Miktarının Biyodizel Verimi Üzerine Etkisi	110
Şekil 5.3:	Reaksiyon Sıcaklığının Biyodizel Verimi Üzerine Etkisi	112
Şekil 5.4:	Reaksiyon Süresinin Biyodizel Verimi Üzerine Etkisi	114
Şekil 5.5:	İzo-Propanol ile Yapılan Optimizasyon Sonucuna Ait Örnekler	116
Şekil 5.6:	Bütanol ile Yapılan Optimizasyon Sonucuna Ait Örnekler	116
Şekil 5.7:	Pentanol ile Yapılan Optimizasyon Sonucuna Ait Örnekler	117
Şekil 5.8:	SHY, NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} , KOH _{EB} ve ED Yakıtlarının Yoğunluk Değerleri	119
Şekil 5.9:	SHY, NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} , KOH _{EB} ve ED Yakıtlarının Kinematik Viskozite Değerleri	120
Şekil 5.10:	SHY, NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} , KOH _{EB} ve ED Yakıtlarının Isıl Değerleri	121
Şekil 5.11:	NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} , KOH _{EB} ve ED Yakıtlarının Su İçeriği Değerleri	122
Şekil 5.12:	NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} ve KOH _{EB} Yakıtlarının Asit Sayısı Değerleri	123
Şekil 5.13:	NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} , KOH _{EB} ve ED Yakıtlarının BN, SFTN, AN ve DN değerleri.....	125
Şekil 5.14:	NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} , KOH _{EB} ve ED Yakıtlarının Efektif Motor Tork Değerleri	127
Şekil 5.15:	NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} , KOH _{EB} ve ED Yakıtlarının Efektif Motor Güç Değerleri	128

Şekil 5.16:	NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} , KOH _{EB} ve ED Yakıtlarının Efektif Özgül Yakıt Tüketim Değerleri	130
Şekil 5.17:	NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} , KOH _{EB} ve ED Yakıtlarının Efektif Termik Verim Değerleri	132
Şekil 5.18:	NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} , KOH _{EB} ve ED Yakıtlarının Ölçüm Yapılan Devirlerde Ortalama Efektif Basınç Değerleri	132
Şekil 5.19:	NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} , KOH _{EB} ve ED Yakıtlarının 1100 d/d ve 2100 d/d Devirleri için Ortalama Efektif Basınç Değerleri	133
Şekil 5.20:	NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} , KOH _{EB} ve ED Yakıtlarının EGS Değerleri	134
Şekil 5.21:	NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} , KOH _{EB} ve ED Yakıtlarının CO Emisyon Değerleri	135
Şekil 5.22:	NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} , KOH _{EB} ve ED Yakıtlarının CO ₂ Emisyon Değerleri	136
Şekil 5.23:	NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} , KOH _{EB} ve ED Yakıtlarının HC Emisyon Değerleri	137
Şekil 5.24:	NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} , KOH _{EB} ve ED Yakıtlarının SO ₂ Emisyon Değerleri	139
Şekil 5.25:	NaOH _{MB} , NaOH _{EB} , KOH _{MB} , KOH _{EB} ve ED Yakıtlarının NO _x Emisyon Değerleri	140

KISALTMALAR LİSTESİ

AN	:	Akma Noktası
AS	:	Asit Sayısı
ASTM	:	American Society For Testing Material
B100	:	Saf Biyodizel
B	:	Bütanol
BN	:	Bulutlanma Noktası
BTEP	:	Bin Ton Eşdeğer Petrol
ÇDYA	:	Çoklu Doymamış Yağ Asitleri
CN	:	Setan Sayısı
DN	:	Donma Noktası
DU	:	Doymamışlık Derecesi
E	:	Etanol
ED	:	Euro Dizel
EGS	:	Egzoz Gazı Sıcaklığı
EPDK	:	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
FÖYT	:	Fren Özgül Yakıt Tüketimi
GC-MS	:	Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi
HC	:	Hidrokarbon
ICP-MS	:	İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi
IV	:	İyot Sayısı
İ	:	İzo-Propanol
KOH	:	Potasyum Hidroksit
M	:	Metanol
MTEP	:	Milyon Ton Eşdeğer Petrol
NaOH	:	Sodyum Hidroksit
ÖTV	:	Özel Tüketim Vergisi
P	:	Pentanol
PJ	:	Petajoule
PRM	:	Polinomsal Regresyon Modeli
SFTN	:	Soğuk Filtre Tıkanma Noktası
SHY	:	Siyah Hardal Yağı
SHYB	:	Siyah Hardal Yağı Biyodizeli
SV	:	Sabunlaşma Sayısı
SYA	:	Serbest Yağ Asidi
TDYA	:	Tekli Doymamış Yağ Asitleri
TEP	:	Ton Eşdeğer Petrol
YAME	:	Yağ Asidi Metil Esteri
YEK	:	Yenilenebilir Enerji Kaynakları

SİMGELER LİSTESİ

A	: Alan
A_i	: Yağ Asidi Kompozisyonundaki Her Bir Bileşenin Oranı
b_e	: Efektif Özgül Yakıt Tüketimi
B_e	: Saatlik Yakıt Tüketimi
D	: Yağ Asidi Zincirindeki Çift Bağ Sayısı
D	: Silindir Çapı
e	: Hata
f	: Çevrim Katsayısı
F	: Kuvvet
H_u	: Yakıtın Isıl Değeri
L	: Mesafe
m	: Polinom Derecesi
M_e	: Efektif Motor Torku
M_{gl}	: Gliserolün Moleküler Ağırlığı
M_{ya}	: Suyun Moleküler Ağırlığı
M_{top}	: Toplam Mol Kütlesi
M_{ya}	: Yağ Asitlerinin Ortalama Moleküler Ağırlığı
MW_i	: Yağ Asidi Kompozisyonundaki Her Bir Bileşenin Molar Kütlesi
n	: Motor Devir Sayısı
η_t	: Termik Verim
P_e	: Efektif Motor Gücü
P_{mep}	: Ortalama Efektif Basınç
R²	: Belirleme (Regresyon) Katsayısı
S_r	: Artık Kareler Toplamı
S_t	: Regresyon Kareler Toplamı
V_h	: Kurs Hacmi
x	: Bağımsız Değişken
y	: Bağımlı Değişken
Z	: Silindir Sayısı
ω	: Açısal Hız

1. GİRİŞ

Enerji, devletlerin varoluşlarını ve ekonomik büyümelerini gerçekleştirebilmeleri, insanların yüksek yaşam standardına erişebilmeleri için önemli bir faktör haline gelmiştir. Enerji gereksinimi, hızla gelişen teknoloji ve artan nüfusun bir sonucu olarak dünya genelinde sürekli bir artış göstermektedir. Gelişmiş olan ülkelerin büyüme hızlarının devamlılığının ve gelişmekte olan ülkelerin özellikle ekonomik ve sosyal açılardan kalkınmasının temel göstergelerinden biridir. 1970’li yıllarda yaşanan petrol krizi ve daha sonrasında bu sektördeki maliyet artışlarının durdurulamaz şekilde yükselişi enerjide dışa bağımlı olan ülkelerin yeni ve yenilenebilir enerjiye olan planlamalarını ve çalışmalarını zorunlu hale getirmiştir.

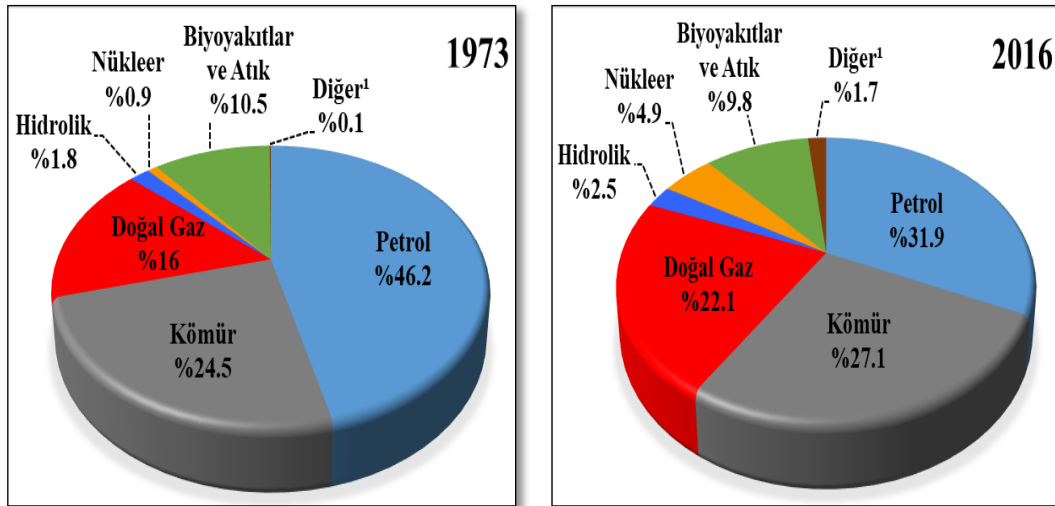
Enerji bilimsel açıdan ifade edilirse; “iş yapma kapasitesi” şeklinde tanımlanabilir. Makroskopik ve mikroskopik düzeyde incelediğimizde ise hareket, ısı, ışık, elektrik, yerçekimi, kimyasal, nükleer enerji vb. gibi formları mevcuttur. Toplam enerji ise, bir sistemin sahip olduğu bütün enerji formlarının toplamıdır. Manyetik, elektriksel ve yüzey gerilimi etkilerinin yokluğunda, bir sistemin toplam enerjisi iç, potansiyel ve kinetik enerjilerden oluşur [1, 2].

Enerji kaynaklarının birçok çeşidi mevcut olmakla birlikte, çok farklı sınıflandırma şekli bulunmaktadır. En yaygın olanlardan birisi, kullarılarına ve dönüştürülebilirliklerine göre yapılan sınıflandırmadır [3]. Kullarılarına göre enerji kaynakları yenilenemez ve yenilenebilir şeklinde ayrılmaktadır. Yenilenemez enerji; enerji hammaddesi olarak kullanıldığında tekrar eski haline dönemeyen ya da çok uzun süre sonrasında dönebilen enerjidir. “Fosil kaynaklı” olarak da adlandırılan en çok bilinen türleri petrol, doğalgaz ve kömürdür. Hammaddelerinin tükeniyor olması sebebiyle uranyum ve toryum radyoaktif elementlerini barındıran nükleer enerji bu gruba dâhildir [4, 5]. Enerji kaynağından alınan enerjiye eşit oranda sürekli kendini yenileyen, doğal süreçlerle üretilen enerji ise “yenilenebilir enerji” olarak adlandırılır [6]. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi, jeotermal enerji, dalga enerjisi, gelgit enerjisi, hidrolik enerji vb. kaynaklar en yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarıdır [7].

Birincil enerji, herhangi bir işleme tabi tutulmaksızın doğada bulunduğu gibi doğrudan tüketilen enerji formlarını kapsar. Bu formlar arasında çeşitli kömür türleri, ham petrol, doğal gaz, biyokütle, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi vb. enerji çeşitleri bulunmaktadır. İkincil enerji formları ise tüketiciler tarafından belirlenen, birincil enerjinin işlenmesi sonucunda kullanılır. Benzin, dizel ve gaz yağı gibi ham petrolden elde edilen sıvı petrol ürünleri, biyodizel, elektrik vb. enerji türleri ikincil enerji formları arasındadır [8].

1.1. Dünya Enerji Görünümü

Enerji sektöründeki denge, enerji arzı ve taleplerin karşılaştırılması olarak belirlenmektedir. Enerji üretimi, ithalatı, ihracatı, rezervleri, stok değişimleri enerji arzında önemli olan değişkenlerdir. Bununla birlikte, ekonomik büyüme, nüfus, teknolojik gelişmeler, enerji fiyatları ve politikaları da enerji talebinde etkili rol oynamaktadır [9]. Şekil 1.2’de petrol krizinin yaşandığı yıl olan 1973 yılı ve 2016 yılına ait dünya birincil enerji arzı gösterilmiştir. 1973 yılında enerji arzı 6 101 MTEP iken 2016 yılında bu rakam yaklaşık 2,25 kat artış göstererek 13 761 MTEP seviyesine ulaşmıştır.

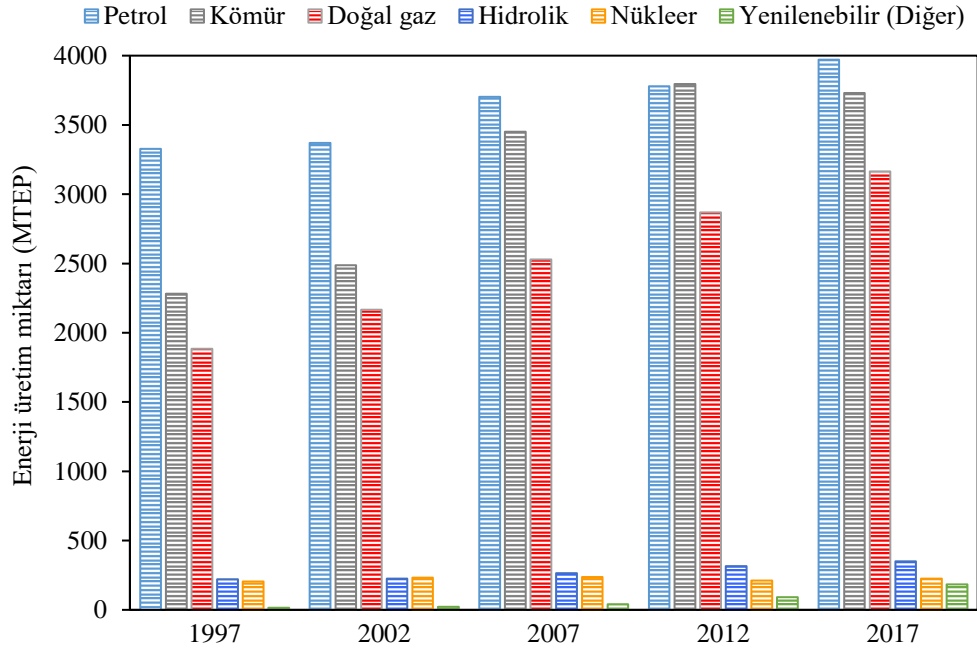


Şekil 1.1. 1973 ve 2016 Yılı Yakıtlar Formunda Dünya Birincil Enerji Arz Grafikleri [10]

¹ Jeotermal, güneş, rüzgâr, gelgit / dalga / okyanus ve ısı enerji gruplarını kapsamaktadır.

En önemli değişimlerin petrol, doğal gaz, nükleer enerji ve diğer adıyla verilen jeotermal, güneş, rüzgâr, gelgit / dalga / okyanus ve ısı enerji gruplarında olduğu gözlemlenmektedir. Fosil temelli yakıtlardan petrol ve doğal gaza olan talebin arttığı gözlenirken, kömür olan talebin %2,6 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde ise en büyük talep artışı %4'lük oranda nükleer enerjide gerçekleşmiştir.

Bir ülkenin ekonomik ve sosyal sürdürülebilir kalkınma potansiyelinin en önemli göstergelerinin başında enerji gelmektedir. Güvenilir, istikrarlı ve kuvvetli bir kalkınma, enerji üretimi ile mümkün olabilmektedir [5]. Şekil 1.3'de 1997-2017 yılları arasında kaynaklar bazında dünya birincil enerji üretim miktarları verilmiştir. (Not: Enerji birimlerinin dönüşümünde International Energy Agency (IEA) web sitesindeki enerji dönüşüm tablosundan faydalanılmıştır [11]).

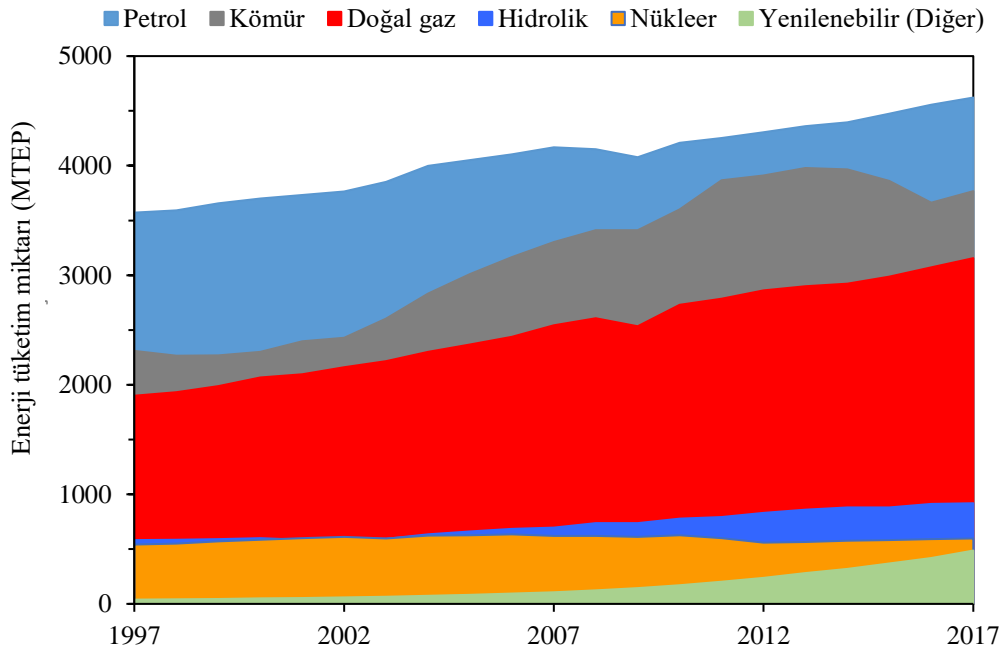


Şekil 1.2. 1997-2017 Yılları Arası Dünya Birincil Enerji Kaynaklarının Enerji Üretim Miktarı [12, 13]

Kaynaklar bazında incelendiğinde en büyük üretimin fosil kaynaklı enerjilerde olduğu gözükmektedir. 2017 yılı dönemi kaynaklar açısından enerji üretiminde ilk sırayı petrol (3 970,9 MTEP), sonrası ise sırasıyla kömür (3 731,5 MTEP), doğal gaz (3 164,6 MTEP), hidrolik (349,1 MTEP), nükleer (226,6 MTEP) ve yenilenebilir enerji (185 MTEP) şeklinde devam etmektedir. 1997 yılından bu döneme kadar üretim olarak

miktar bakımından fosil yakıtlar önde gelmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan üretim miktarı ise 1997 yılında 14,9 MTEP iken, 2017 yılında bu miktar yaklaşık 12,41 kat artış sonucunda 185 MTEP değerine yükselerek önemli bir ilerleme kaydetmiştir.

Dünyadaki bütün ülkelerin farklı enerji kaynaklarından yararlanarak kullandığı toplam enerji, dünya enerji tüketimini vermektedir. Enerji tüketimi ve enerji yoğunluğu, enerji açısından bir ülkenin gelişmişliğini gösteren en önemli iki parametredir. Bu iki parametrenin ölçütleri bakımından incelendiğinde, bir ülkede kişi başına düşen enerji tüketiminin yüksek, enerji yoğunluğunun düşük olması gelişme açısından önem arz etmektedir [14]. 2017 yılı itibarıyla birincil enerji kaynakları açısından bakıldığında, dünyada enerji tüketiminde birinci sırayı petrol (4 621,9 MTEP), ikinci sırayı kömür (3 731,5 MTEP) ve üçüncü sırayı doğal gaz (3 156 MTEP) almaktadır. Bunları ise sırasıyla hidrolik enerji (918,6 MTEP), nükleer enerji (596,4 MTEP) ve yenilenebilir enerji (489,8 MTEP) takip etmektedir (Şekil 1.4) [15].



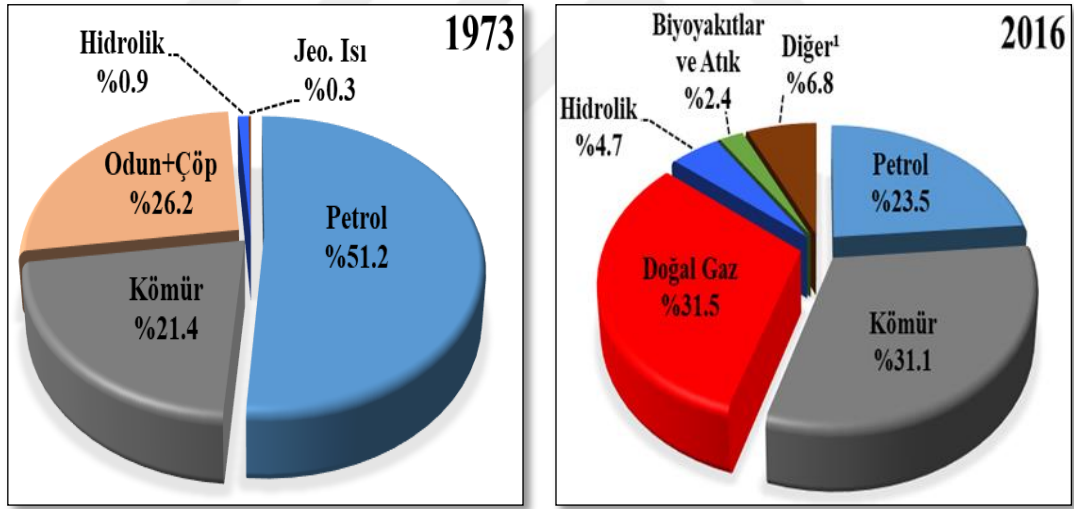
Şekil 1.3. 1997-2017 Yılları Arası Dünya Birincil Enerji Kaynakları Enerji Tüketim Miktarı [12]

Şekil 1.4 incelendiğinde yüzde olarak en büyük artışın yenilenebilir enerji kaynaklarında olduğu görülmektedir. Bu artış yenilenebilir enerji kaynaklarında

%123,8 iken diğer enerji kaynaklarında yaklaşık olarak %10 ila %66 arasında değişmektedir [12].

1.2. Türkiye Enerji Görünümü

Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları çeşitliliği ve potansiyeli bakımından zengin bir ülke olmasına karşın hidrokarbon içerikli fosil enerji kaynakları yönünden fakir bir ülkedir. Günümüz dünyasında enerjiye yön veren petrol, doğal gaz ve kömür çeşitleri ile fosil enerji kaynakları olduğu bilinmektedir. Türkiye’de 2017 yılı için fosil enerji kaynaklarının tüketimi toplam enerji tüketiminin %87,38’ini oluşturmaktadır. Bu kaynaklara ait rezerv ve üretim miktarlarının yetersiz olduğu Türkiye vb. ülkeler bu enerji ihtiyaçlarını ithal ederek karşılamaktadır [7, 15-20]. Ülkemizde 2017 verilerine göre, doğalgazın %99,36’sı, ham petrolün %90,98’i ve kömürün %62,25’i ithal edilmiştir [21-23].



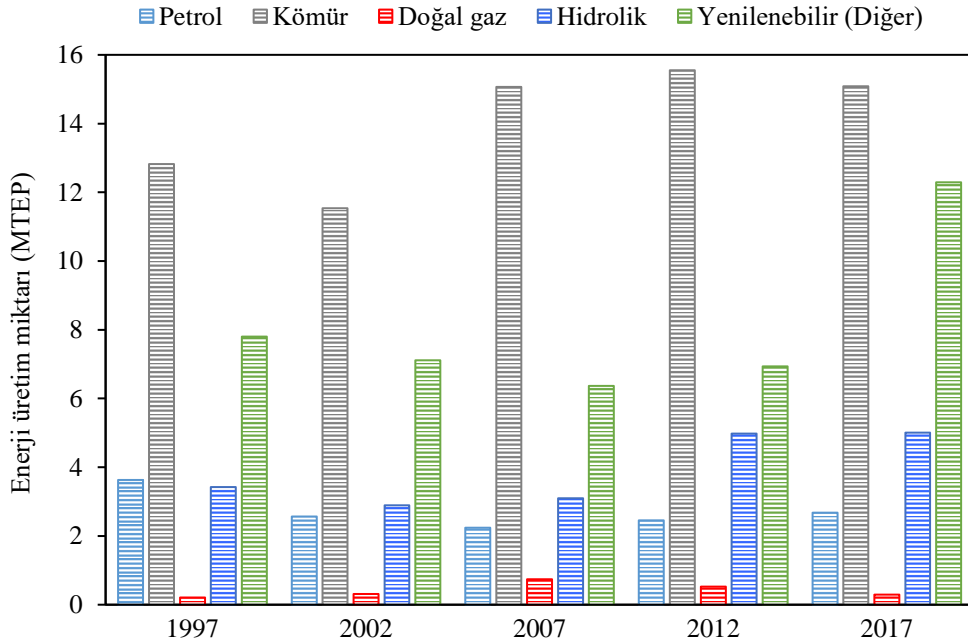
Şekil 1.4. 1973 ve 2016 Yılı Yakıtlar Formunda Türkiye Birincil Enerji Arz Grafikleri [27]

Türkiye’de artan nüfus ve büyüyen ekonominin etkileri ile enerjiye olan talebin artması, yerli üretimin eksikliği ve bunlarla birlikte enerjide dışa bağımlılığın yüksek seviyelere ulaşması önemli derecede enerji arz güvenliği sorununu ortaya çıkarmıştır. Enerji arz güvenliğini sağlamak için, fosil kaynakların yol açtığı sorunların ortadan kaldırılması ya da en aza indirgenmesi, enerji çeşitliliğinin çoğaltılması ve

¹ Jeotermal, güneş, rüzgâr ve ısı enerji gruplarını kapsamaktadır.

yenilenebilir enerjiye olan eğilimin artırılması gerekmektedir [24-26]. Şekil 1.5’de 2016 yılı kaynaklar bazında Türkiye birincil enerji arz grafiği sunulmuştur. Şekil 1.5’de görüldüğü gibi, 1973 yılında enerji arz miktarı olarak petrol hâkimiyeti varken, 2016 yılında enerji çeşitliliği artmış ve dağılım fosil yakıtlar başta olmak üzere değişiklik göstermiştir. 1973 yılı toplam birincil enerji arz miktarı 24,4 BTEP, 2016 yılı toplam birincil enerji arz miktarı 121,8 BTEP olarak belirlenmiştir.

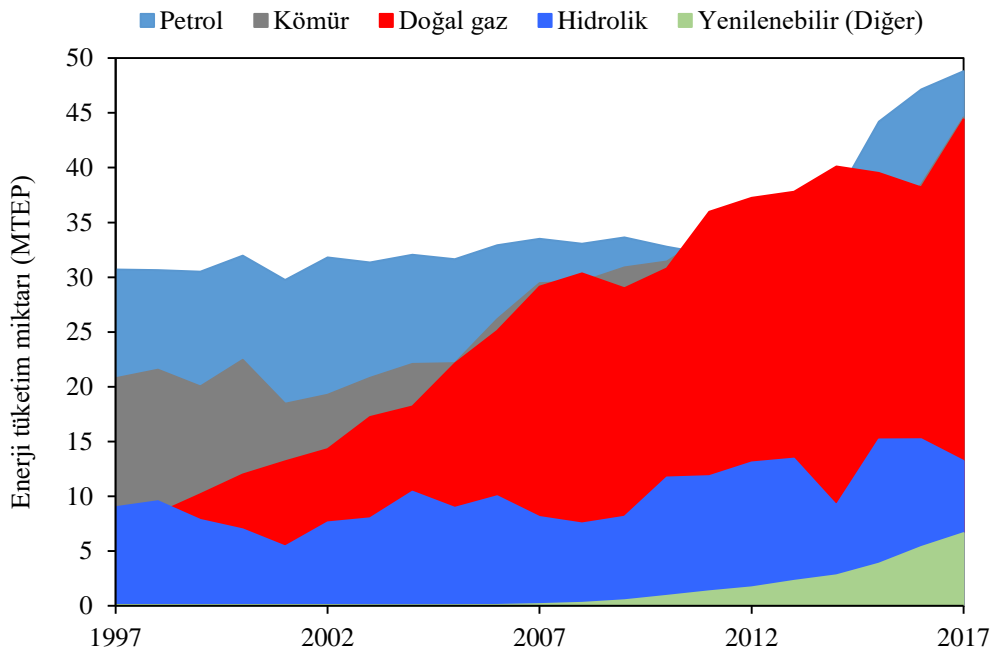
Türkiye’de birincil enerji kaynaklar rezervinde en fazla miktara sahip linyit olmasına rağmen, toplam kömür rezervi dünya rezervinin binde beşinden daha düşüktür. Petrol ve doğal gaz konusunda durum bundan farklı değildir [28]. Ayrıca, Türkiye bulunduğu coğrafya ve sahip olduğu iklim koşullarının avantajlarıyla yenilenebilir enerji kaynakları açısından kayda değer bir potansiyele sahiptir [29-31]. Fosil temelli enerji kaynakları rezervinin yetersiz olması, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları çeşitliliğinin fazla olmasına rağmen bu kaynakların verimli şekilde değerlendirilememesi vb. durumlar Türkiye’yi enerji üretiminden ziyade ithalatına yönlendirmektedir [32, 33]. Şekil 1.6’da 1997-2017 yılları dönemi kaynaklar bazında Türkiye birincil enerji üretim miktarları verilmiştir.



Şekil 1.5. 1997-2017 Yılları Arası Türkiye Birincil Enerji Kaynakları Enerji Üretim Miktarı [27]

Şekil 1.6’da görüldüğü üzere, 1997 yılında birincil enerji kaynaklarından sağlanan enerji üretim miktarı 27,8 MTEP iken 2017 yılında 35,3 MTEP miktarına yükselmiştir. En büyük üretim miktarı kömürde gerçekleşirken, en az üretimin doğal gazda olduğu tespit edilmiştir. Yüzdeler artışa bakıldığında en fazla artışın yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlandığı gözlemlenmiştir. Bu enerji kaynaklarından temin edilen üretim miktarı 1997 yılında 7,8 MTEP olarak belirlenmiş, 2017 yılında bu oran %57,45’lik artışla 12,2 MTEP değerine yükselmiştir. Yirmi senelik zaman periyodunda, ülkemizin avantajlı durumları düşünülürse beklenen artışın gerçekleşmediği görülmektedir.

Enerji tüketimi ile ekonomik büyüme arasında ilişkiyi inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır. Ekonomik büyümenin gerçekleşmesinde en önemli faktörün enerji tüketimi olduğu düşünülebilir. Enerji bakımından dışa bağımlı olan ülkemizde bu faktörün dikkatli bir biçimde incelenmesi ve gerekli çalışmaların yapılması planlanmalıdır.



Şekil 1.6. 1997-2017 Yılları Arası Türkiye Birincil Enerji Kaynakları Enerji Tüketim Miktarı [27]

Başlangıç itibarıyla da yenilenebilir enerji kaynaklarından yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş sağlanarak dışa bağımlılığın en aza indirgenmesi gerekmektedir. Ayrıca, ülkemiz içerisinde var olan enerji kaynaklarını değerlendirmek ve enerji

üretim miktarını artırmak ile sürdürülebilir ekonomik büyümeye ciddi katkıda bulunabilir [34-36]. Şekil 1.7’de 1997-2017 yılları aralığında kaynaklar bazında Türkiye birincil enerji tüketim miktarları gösterilmiştir.

Ülkemizde birincil enerji tüketim miktarı 1997 yılında 68,59 MTEP, 2017 yılında bu değer 157,69 MTEP olarak tespit edilmiştir. 2017 yılında birincil enerji kaynakları tüketim miktarımızın; %31’i petrolden, %28,3’ü kömürden, %28,1’i doğal gazdan, %8,4’ü hidrolik enerjiden ve %4,2’si diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından (güneş, rüzgâr, biyokütle-atıklar ve jeotermal) olduğu analiz edilmiştir. Şekil 1.7 incelendiğinde, yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan enerji tüketiminin 2007 yılı sonrasında hızlıca yükselişe geçtiği, 2017 yılındaki yenilenebilir enerji tüketiminin 1997 yılına kıyasla yaklaşık olarak 78 kat arttığı söylenebilmektedir. Bunun yanı sıra, enerji tüketim miktarlarının zaman içerisinde dalgalı bir şekilde dağılımı olduğu görülebilmektedir. Bu husus göz önünde bulundurularak enerji politikaları gözden geçirilip, enerji senaryolarını iyi tahmin etmek gerekmektedir.

Dünyadaki enerji tüketiminin büyük oranı fosil yakıtlara aittir. Birçok alanda kullanılan ve ülke ekonomisinde söz sahibi olan fosil yakıtların ilerleyen senelerde dezavantajları sebebiyle mevcut ilgisini kaybedeceği tahmin edilmektedir [37]. Fosil yakıtların dezavantajlarını kısaca açıklanacak olursa;

- **Küresel ısınma:** Fosil yakıtların yanması sonucu çevreye salınan sera gazları dünyanın ortalama sıcaklığını yükseltmektedir. 1,2°C yükselmiş olan ortalama sıcaklık, önlem alınmaması durumunda 21.yy. sonunda 2°C- 6°C arasında yükseleceği öngörülmektedir. Bu durumun doğal felaketleri yanında getireceği tahmin edilmektedir [38].

- **Sınırlı rezervlere sahip olması:** Yenilenme sürelerinin çok uzun olmasından dolayı yenilenemez enerji kaynakları adıyla da anılmaktadırlar. Fosil yakıtlar hızla tükenmekte olup, BP (British Petroleum) son verilerine göre fosil bazlı yakıt rezervlerinin tükenme süreleri; kömür-134 yıl, petrol-50,2 yıl ve doğal gaz-52,6 yıl olarak hesaplanmıştır [15].

- **Kirlilik:** Fosil yakıtların yanması sonucu CO₂, SO₂, NO_x gibi gazlar açığa çıkmakta ve çevreye yayılmaktadırlar. Artan CO₂ miktarı ile sera etkisi oluşmakta, dünya ortalama sıcaklığı hızlıca yükselmekte ve iklim değişikliklerine sebep olmaktadır. Atmosferde biriken SO₂ ve NO_x gazları su buharları ile birleşerek asit yağmurlarını meydana getirmektedirler [39,40]. Asit yağmurları suyun ve toprağın pH değerlerini düşürmekte, düşen pH ile suda ve toprakta ağır metal kirlilikler oluşmaktadır. Bu kirliliğin canlıların üzerinde önemli derecede olumsuz etkileri bulunmaktadır [41]. Dahası, fosil yakıtlar ile çalışan enerji santrallerinin soğutma suyu ihtiyacından kaynaklı suların ısınması, sudaki canlıların metabolik aktivitesini arttırmakta ve bu artış su içerisindeki oksijen tüketiminin yükselmesine neden olmaktadır. Ayrıca, yanma sonucu ortaya çıkan duman bileşenleri ve küller toprak üzerinde istiflenmekte ve toprağın verimini düşürmektedirler [42].

- **Dışa bağımlılık:** Fosil kaynaklar bakımından yetersiz olan ve enerji ihtiyaçlarını bu kaynaklardan karşılayan ülkeler enerji ithalatı yapmak zorundadırlar. Enerji ithalat miktarının yüksek olduğu ülkelerde ise enerji arz güvenliği sorunu ortaya çıkmaktadır [43].

- **Kazalar:** Fosil yakıtların üretimi ve taşınması sırasında meydana gelen metan gazı sızıntısı, patlaması vb. kazalar canlıların hayatlarına kastedmekle birlikte ciddi maddi hasarlara da yol açmaktadırlar.

Yenilenemeyen enerji kaynaklarının dezavantajları, ülkelerin alternatif enerji kaynaklarını aramada itici bir unsur olmuştur. Yenilenebilir enerji, güvenli, sürdürülebilir, çevre dostu, bol çeşitliliğe sahip, az bakım gerektiren, yerli, ekonomik, geniş istihdam olanağına sahip ve ülkelerin dışa bağımlılığını azaltma gibi sağladığı avantajlarla alternatif bir enerji olarak düşünülmektedir [44-46].

Biyokütle; sosyoekonomik yararlarının fazla olması ve dördüncü en büyük enerji kaynağı potansiyeline sahip olması niteliklerinden dolayı yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir [47]. Biyokütle enerjisinin alt birimlerinden olan bitkisel ve hayvansal yağlardan elde edilen biyodizel dizel yakıtına alternatif bir yakıttır [48].

Bu tez çalışmasında öncelikli olarak, sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH) eşliğinde, siyah hardal tohumu yağı ile metanol (M), etanol (E), izo-propanol (İ), bütanol (B) ve pentanol (P) alkolleri kullanılarak, polinomsal regresyon modeli (PRM) yardımıyla optimum parametreler belirlenip biyodizel yakıtların elde edilmesi, biyodizellerin yakıt özelliklerinin belirlenmesi, motor performans ve egzoz emisyon ölçümler yapılarak analiz edilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, biyodizel ile ilgili yapılan literatür çalışmasında, iki farklı alkol ve iki farklı katalizör bulunduğu karşılaştırmalı çalışma sayısının yeteri kadar olmadığı, aynı şekilde siyah hardal yağı (SHY) ile çok az çalışmanın bulunduğu ve optimizasyon çalışmalarına PRM'nin hiç uygulanmadığı tespit edilmiştir. Bu doğrultuda, biyodizel alanında çalışma yapacak araştırmacıların zihninde yeni ufuklar ve düşünceler oluşması hedeflenmiştir.

Bölüm 1'de, son yıllara ait dünyanın ve Türkiye'nin enerji arz, üretim ve tüketim profilleri incelenmiş, fosil kaynakların dezavantajlarından bahsedilerek yenilenebilir enerjinin önemi vurgulanmıştır. Son kısımda tezin amacından bahsedilmiştir.

Bölüm 2'de, yenilenebilir enerjiden bahsedilerek, biyodizel ile ilgili tanımlamalar, üretim yöntemleri, kullanılan hammaddeler vb. genel bilgiler verilmiştir.

Bölüm 3'de, tez konusu ile ilgili ve bağlantılı literatür taraması yapılmıştır.

Bölüm 4'de, tez çalışmasında kullanılan materyallerin resimli olarak detaylı açıklamaları yapılmıştır. Biyodizel üretimi için yapılan optimizasyon çalışmaları ve PRM hakkında bilgiler verilmiştir.

Bölüm 5'de, üretilen biyodizel yakıtların optimizasyon çalışmaları, yakıt özellikleri, motor performans ve egzoz emisyonuna ait grafikler verilerek yorumlamalar yapılmıştır.

Bölüm 6'da, tez çalışmasının sonuçları değerlendirilmiş ve öneriler sunulmuştur.

2. YENİLENEBİLİR ENERJİ VE BİYODİZEL

2.1. Yenilenebilir Enerji

Enerji ve dönüşümü dünyadaki yaşamın döngüsü ve devamlılığı için hayati bir öneme sahiptir. Enerji bu süreçlerde bazı formlara dönüştürülmektedir. Bu enerji formlarının elde edildiği, sürekli, doğal süreçlerden meydana gelen enerji kaynak gruplarından biri yenilenebilir enerjidir. Yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltmada en önemli rolü üstlenmektedir [49].

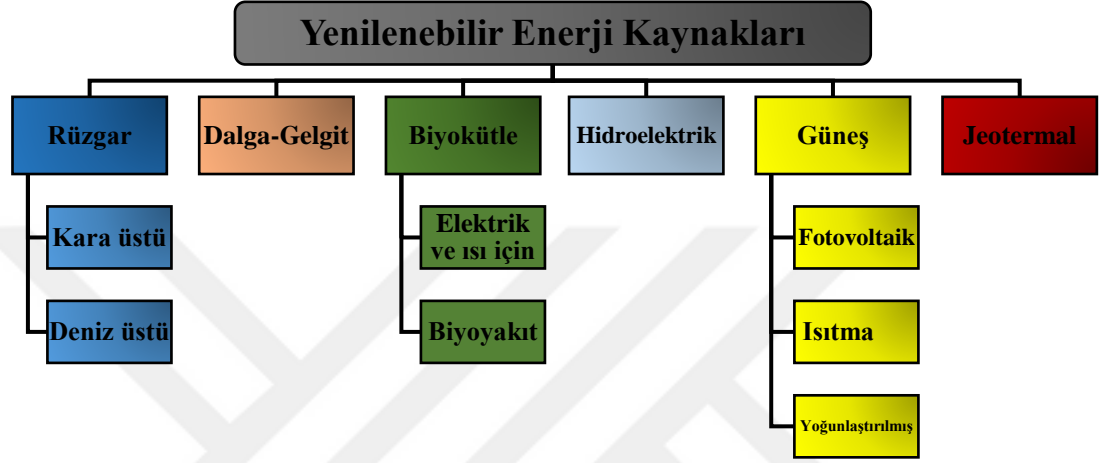
2.1.1. Yenilenebilir Enerjinin Önemi, Kaynakları ve Kullanımı

Yenilenebilir enerjinin kullanımı, fosil yakıtlara olan bağımlılığın azaltılmasında, sera gazı emisyonlarının düşürülmesinde ve enerji arz güvenliğinin artırılmasında dünya ve insanlığın geleceği için önemli bir durum arz etmektedir [50]. Yenilenebilir enerjinin aktif rol almasıyla devletlere ve insanlara sunulacak avantaj ve yenilikler sıralanacak olursa [51, 52]:

- Enerji arz güvenliğinin ve organik yakıt ekonomisinin geliştirilmesi,
- Sürekli, çevre dostu enerji elde edilmesi ve bu doğrultuda ülkelerin çevre koruma (ör. Paris İklim Anlaşması, 2015 [53]) ve sürdürülebilir enerji (ör. Rio Konferansı-Gündem 21 Planı, 1992 [54]) ile ilgili uluslararası anlaşmalara uyma konusundaki yükümlülüklerinin yerine getirilmesi,
- Küresel ısınma ve hava kirliliğinin önlenmesi,
- Yerel nüfus istihdamının ve ülke ekonomisinin büyümesine katkıda bulunarak, toplumların yaşam standardı ve seviyesinin artırılması,
- Şehir yaşantısına uzak çöl ve dağ bölgelerinde sürdürülebilir enerjinin kalkınmasının sağlanmasıdır.

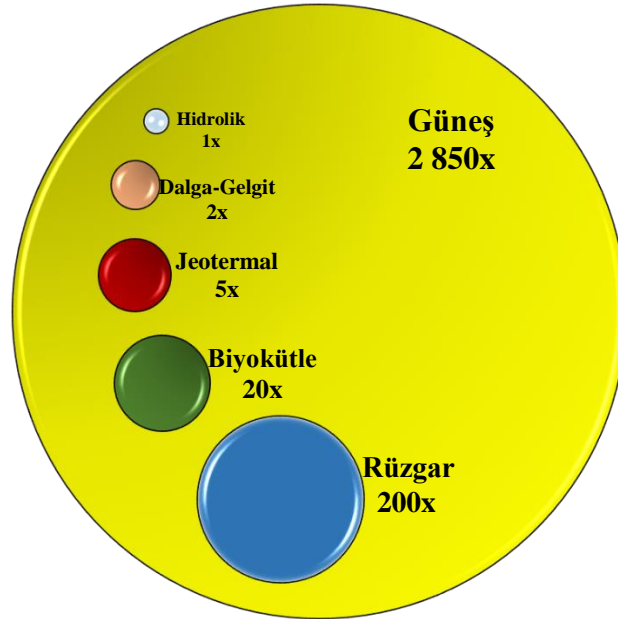
Yenilenebilir enerji kaynakları (YEK), dünyadaki toplam enerji talebinin %14'üne karşılık gelmektedir. YEK biyokütle, hidroelektrik, jeotermal, güneş, rüzgar ve dalga-gelgit enerjilerini içermektedir [55]. Temel yenilenebilir enerji kaynaklarının sınıflandırılması Şekil 2.1'de verilmiştir. YEK potansiyel bakımından fosil kaynaklara göre çok avantajlı durumdadır. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi, yenilenebilir enerji

kaynaklarının toplam potansiyeli mevcut küresel enerji gereksinimlerinin 3 078 katına eşdeğerdir [56]. Kara kütleleri ve okyanuslar tarafından emilen toplam güneş ışığı enerjisi yaklaşık $3\,850\,000 \times 10^{18}$ J/yıl şeklindedir. En büyük enerji potansiyeline sahip yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş, 23 000 TW/yıl enerji potansiyeli ile YEK arasında ilk sırayı almaktadır.



Şekil 2.1. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması [57]

Sonrasında yıllık olarak diğer YEK; rüzgar 25–70 TW, biyokütle 2–6 TW, hidroelektrik 3–4 TW, jeotermal 0,3–2 TW, dalga 0,2–2 TW, gel git 0,3 TW şeklinde takip etmektedir [58].



Şekil 2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Göre Enerji Potansiyelleri [59]

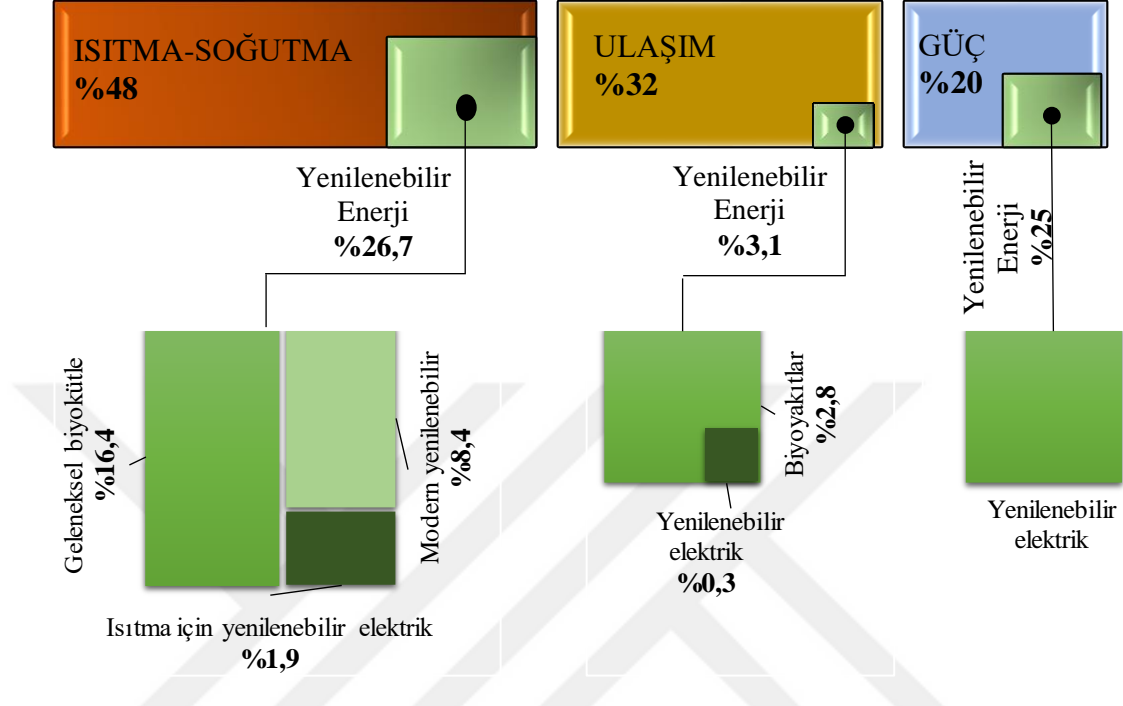
İnsanların çevreye duyarlılığının artması ile yenilenebilir enerjiye olan ilgi zamanla çoğalmıştır. Son yıllarda dünya genelinde yapılan ihalelerde yenilenebilir enerji için en düşük tekliflerin verilmesi, taşımacılıkta elektrifikasyona dikkat edilmesi hususunda önemli bir artışın olması, dijitalleşmenin artması, kömürsüz kullanıma yönelik tekliflerin artması, karbon fiyatlandırılmasında yeni politikaların belirlenmesi, her düzeydeki hükümet grupları tarafından hazırlanan yeni girişimler ve hedeflerin belirlenmesi yenilenebilir enerji kullanımını önemli derecede etkilemiştir [60, 61]. Bunların yanı sıra, farklı enerjiler elde etme arayışı alternatif enerji kaynaklarının kullanımını arttırmıştır. YEK ve genel olarak kullanım şekilleri Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1. YEK ve Kullanım Şekilleri [55, 62]

Enerji kaynağı	Enerji dönüşümü ve kullanım şekli
Hidro güç	Güç üretimi
Biyokütle	Isı ve elektrik üretimi, piroliz, gazlaşma, çürütme
Jeotermal	Kentsel ısıtma, enerji üretimi, hidrotermal, kızgın kuru kaya
Güneş	Güneş ev sistemleri, güneş kurutucular ve ocakları, fotovoltaik piller, termal güç sistemleri, su ısıtıcılar
Rüzgâr	Güç üretimi, rüzgâr jeneratörleri, yel değirmenleri, su pompaları
Dalga	Elektrik üretimi, nokta soğurucular, azaltıcılar, salınımlı dalga kolonu, daralan kanal ve pendula
Gel-git	Gel-git barajı ve akımı oluşturma

Yenilenebilir enerji kaynaklarını sektörel alanda incelediğimizde ısıtma ve soğutma, ulaşım ve güç üretimi olarak karşımıza çıkmaktadır. Toplam enerji tüketiminin bu üç sektörde dağılımı ve yenilenebilir enerjinin kullanım şekillerinin bu sektörler içerisindeki paylaşımı şekil 2.3’de detaylı olarak verilmiştir. Toplam enerji tüketiminin yarısına yakınının ısıtma ve soğutma ihtiyacı için kullanıldığı görülmektedir. Isıtma ihtiyacının yaklaşık olarak yarısının binalarda diğer yarısının da endüstriyel uygulamalarda paylaşıldığı söylenebilmektedir. Toplam enerji tüketiminin %2’sine karşılık gelen alan soğutma talebi için gerçekleşmektedir. YEK ısıtma ve soğutma sektörüne; biyokütlenin doğrudan yakılması, güneş ve jeotermal enerjinin doğrudan kullanımları ile katkıda bulunmaktadır. Isıtma-soğutma sektörünün %26.7’lik bölümünü oluşturan yenilenebilir enerjinin %16.4’ü evsel amaçlı kullanılan

geleneksel biyokütle, %8.4'ü modern biyokütle ve %1.9'u ısıtma için yenilenebilir elektrik kısımlarından oluşmaktadır [61].

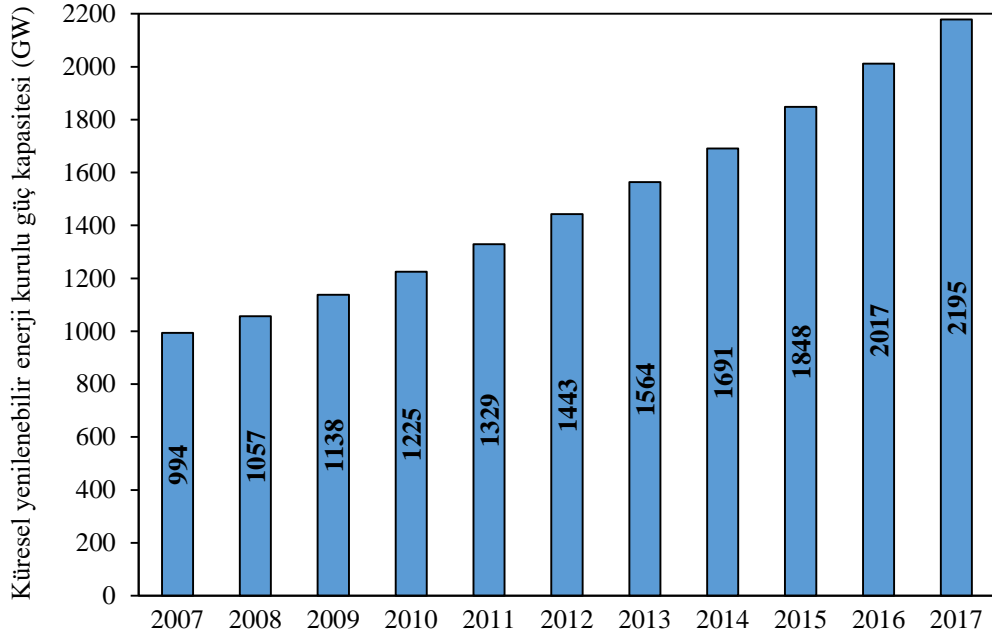


Şekil 2.3. 2015 Yılı Toplam Enerji Tüketimi İçerisinde Yenilenebilir Enerjinin Kullanımı [61]

Ulaşım sektöründe küresel enerji talebi, 2005 yılından 2018 yılına kadar yıllık ortalama yaklaşık olarak %2 civarında artış göstermiştir. Toplam enerji tüketimi içerisinde ulaşım sektörünün payı yaklaşık %32'sine denk gelmektedir. Yenilenebilir enerjinin bu sektördeki tüketim payı %9,3 olarak belirlenmiştir. %100 sıvı biyoyakıt veya geleneksel yakıtlarla harmanlanmış biyoyakıt kullanımı, doğal gazlı araçlar ve gaz biyoyakıtlarla beslenebilecek altyapı ve yenilenebilir elektrik tarafından üretilen pilleri veya hidrojeni kullanabilen ulaşım elektrifikasyonu noktalarında yenilenebilir enerjinin önemli destekleri bulunmaktadır. Ulaşım için küresel enerji talebinde yenilenebilir payın büyük çoğunluğunu temsil eden biyoyakıtlar (etanol ve biyodizel), dünya karayolu taşımacılığında sarf edilen yakıtın yaklaşık %4'ünü sağlamaktadırlar [61, 63].

Yenilenebilir enerjiden güç üretimi birçok ülkede temiz enerji politikalarının bir sonucu olarak ivme kazanarak büyüme göstermiştir. Yeşil enerji kaynaklarının güç kapasitelerinin en büyüğü hidroelektrik enerjiye ait olmasına rağmen son yıllardaki en

hızlı büyüme güneş ve rüzgâr enerjilerinde gerçekleşmiştir. Jeotermal enerji, biyokütle enerjisi ve gelgit enerjisi ise pazarda kendilerini göstermeye başlamışlardır. Yenilenebilir güç üretim kapasitesinde 2017 yılı dünya çapında yaklaşık 178 GW kapasite kurulum gerçekleştirilerek şimdiye kadar ki en büyük yıllık artış görülmüş ve toplam kapasite 2016 yılına göre yaklaşık %9 artış göstererek toplamda 2 195 GW kapasiteye ulaşmıştır [61, 64]. 2007-2017 yılları arasındaki küresel yenilenebilir güç kapasitesi grafiksel olarak Şekil 2.4'te verilmiştir.

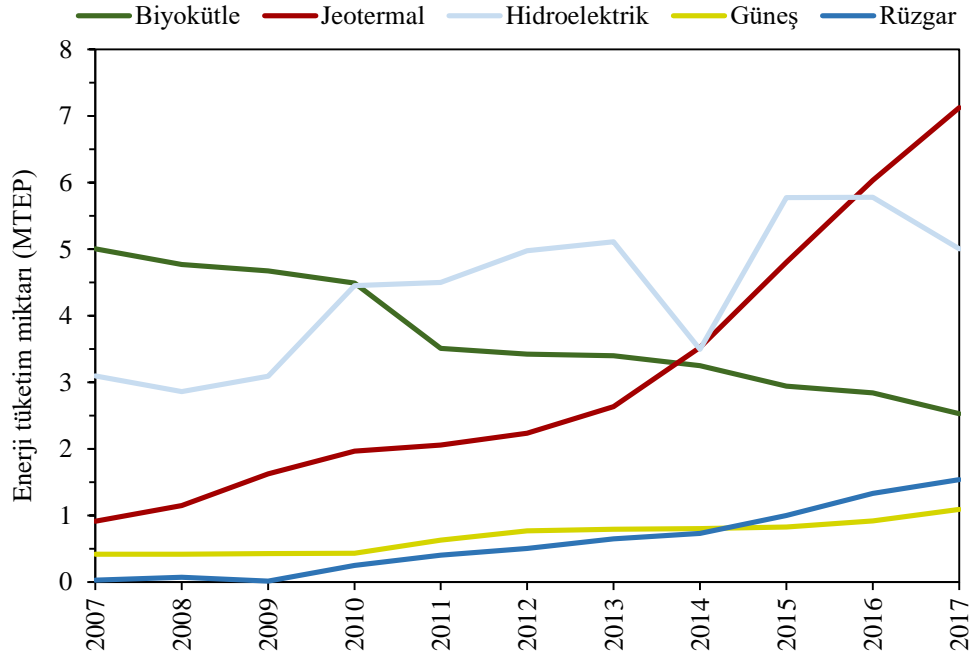


Şekil 2.4. 2007-2017 Yılları Arası Küresel Yenilenebilir Enerji Güç Kapasitesi [65, 66]

2.1.2. Türkiye’de Yenilenebilir Enerjinin Durumu

Gelişme sürecinde bir ülke olan Türkiye’nin nüfus artışı, gelişen ekonomisi, iyileşen yaşam standartları enerjiye olan talebi hızlı bir şekilde artırmaktadır. Türkiye’nin enerji üretimi, hızlı bir şekilde artan enerji talebini karşılamak için yeterli olmamakla birlikte, bu yetersiz durum ülkemizin diğer devletlerin enerji kaynaklarına olan bağımlılığını arttırmaya zorlamaktadır. Net bir şekilde enerji açısından dışa bağımlı bir ülke olan Türkiye, önemli ticaret açığı vermesi sebebiyle enerji arz güvenliği konusunda ciddi önlemler ve planlamalar yapmalıdır. Hem bu durum hem de fosil yakıtların küresel düzeyde verdiği rahatsızlıklar, Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru hızlı bir şekilde kayma gereksinimi göstermektedir [67-69].

Türkiye’de 2007-2017 yılları arası YEK çeşitlerine göre enerji üretim miktarları grafiksel olarak verilmiştir.

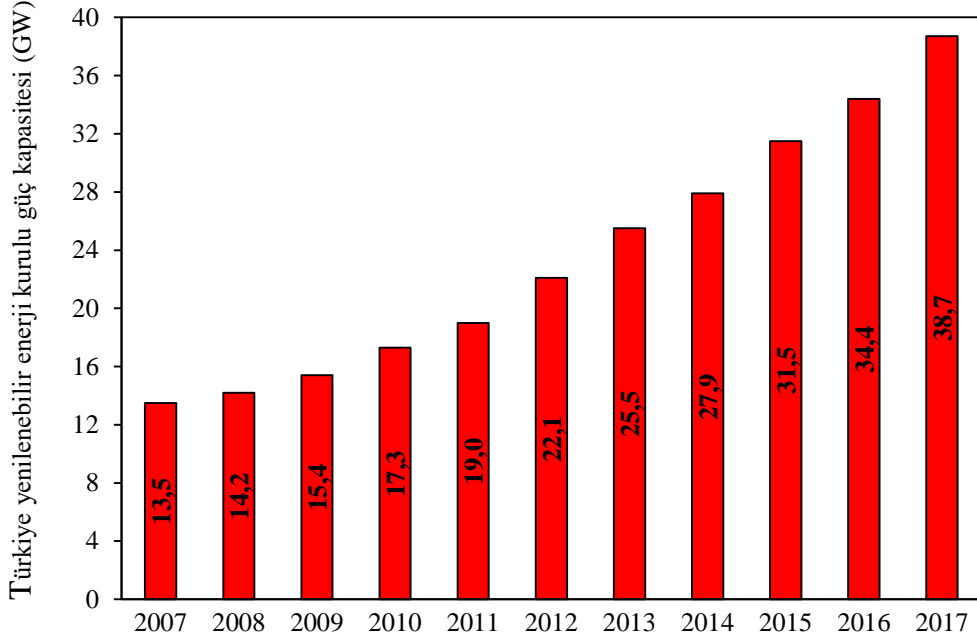


Şekil 2.5. 2007-2017 Yılları Arası Türkiye Yenilenebilir Enerji Tüketim Miktarlarının Değişimi [27]

Şekil 2.5’de görüldüğü üzere, en yüksek tüketim miktarı 2017 yılı için 7 128 MTEP ile jeotermal enerjide gerçekleşmiştir. On yıllık periyotta en hızlı artış rüzgâr enerjisinde gözlemlenirken, en büyük düşüş neredeyse yarı yarıya üretim miktarının azalması ile biyokütle enerjisinde izlenmiştir. Ülkemiz, gerek coğrafi ve gerekse iklim şartları yönünden tarım ürünleri üretmeye çok elverişli olması ve hayvancılık bakımından bölge ülkeleri arasında önemli bir yere sahip olmasına rağmen biyokütle enerjisinden yeteri kadar faydalanılmadığı görülmektedir.

Yenilenebilir enerji potansiyeli yüksek olan Türkiye’nin 2010 yılına kadar maliyetler, yasal düzenlemeler vb. sebeplerden dolayı bu enerjii üretme konusunda ciddi sıkıntılar çekmiştir. YEK kullanımının teşviki ile ilgili Avrupa Parlamentosu’nun ve 23 Nisan 2009 Avrupa Konseyi’nin 2009/28/EC sayılı direktifleri Türkiye’nin yenilenebilir enerjisine olan ilgisine bir ivme kazandırmıştır. Türkiye’de yenilenebilir enerji; sanayi, ulaştırma, konut, tarım ve hayvancılık başta olmak üzere birçok alanda değerlendirilmekte olup, kurulu güç kapasitesi toplam kurulu gücün neredeyse yarısını

oluşturmaktadır. Hidroelektrik enerji %70'lik kurulu güç kapasitesi oranıyla açık farkla üstünlük sağlamaktadır. Bu durumu sırasıyla rüzgar enerjisi (%17), güneş enerjisi (%9), jeotermal enerji (%3) ve biyokütle enerjisi (%1) takip etmektedir [70,71]. 2007-2017 yılları arasındaki Türkiye'ye ait yenilenebilir kurulu güç kapasitesi grafiksel olarak Şekil 2.6'da verilmiştir.

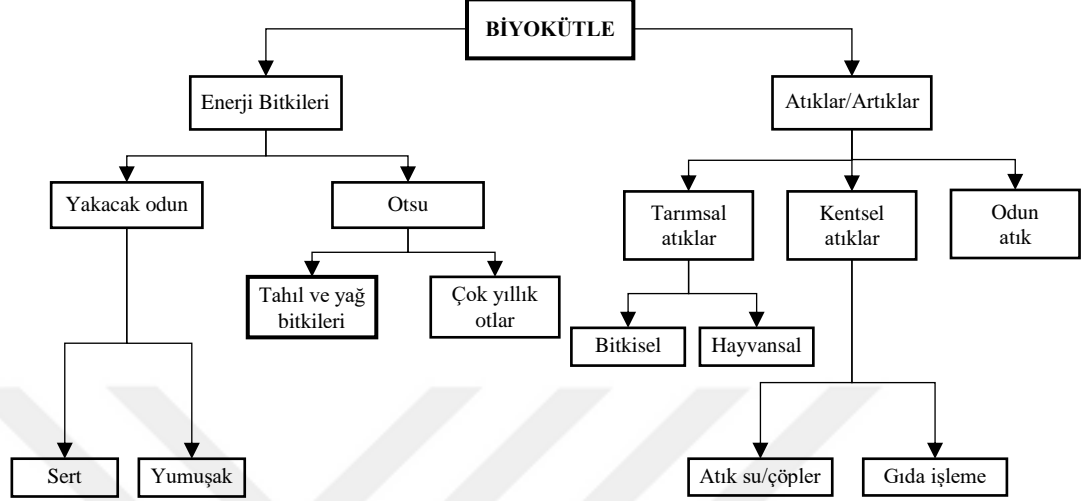


Şekil 2.6. 2007-2017 Yılları Arası Türkiye Yenilenebilir Enerji Kurulu Güç Kapasitesi [72]

2.1.3. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle, katı ya da gazlı yakıtların elde edildiği hayvan ve insan atıklarının yanı sıra, sıvı yakıtı dönüştürülebilir herhangi bir yağlı bitki/atık kütlelerini ifade etmektedir. Bu ürünlerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik dönüşüm süreçleri sonucu elde edilen enerji ise biyokütle enerjisi olarak adlandırılmaktadır. Biyokütle enerjisinde kullanılan ürünler geleneksel ve modern olmak üzere iki grupta ifade edilmektedir. Geleneksel biyokütle, genellikle gelişmekte olan ülkelerde yakacak olarak kullanılan odun, odun kömürü ve evsel amaçlar için kullanılan hayvan atıklarından oluşmaktadır. Modern biyokütle de ise bitkisel, kentsel atıklar, enerji bitkileri ve tarıma dayalı endüstriyel atıklar kullanılmaktadır [73-75]. Biyokütle enerjileri için kullanılan hammaddeler hakkında derinlemesine bilgi sahibi olmak, biyokütleden enerji üretim süreçlerinin

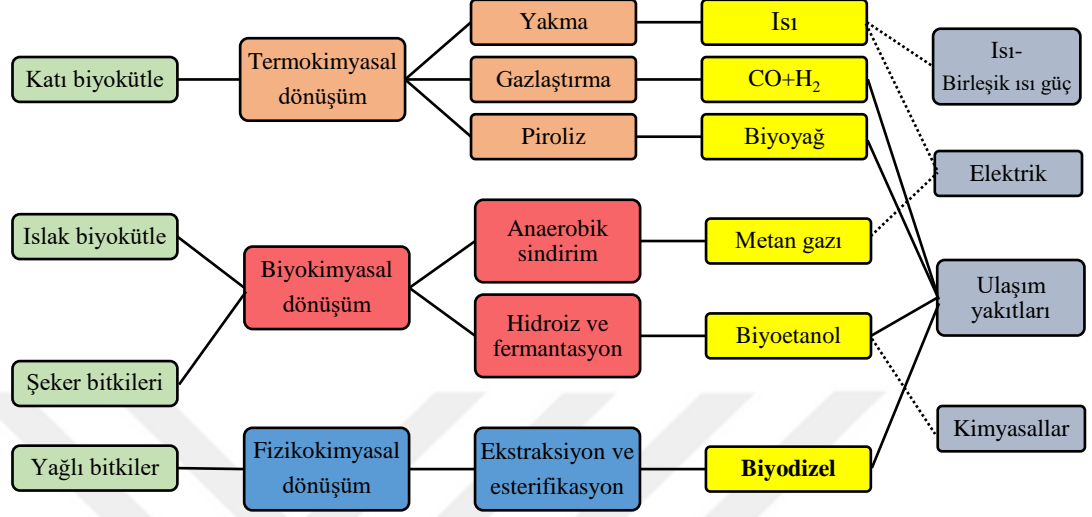
eksiksiz ve doğru bir şekilde değerlendirmesinde önemli bir kazanç sağlamaktadır. Şekil 2.7’de biyokütle hammaddelerinin detaylı sınıflandırılması yapılmıştır.



Şekil 2.7. Biyokütle Hammaddelerinin Sınıflandırılması [76]

Biyokütle enerji dönüşümü için biyokimyasal, termokimyasal ve fizikokimyasal olmak üzere üç farklı yol bulunmaktadır. Termokimyasal prosesler; biyokütlenin daha yüksek ısı değer yakıtlarına dönüştürülmesinde en yaygın şekilde kullanılmaktadır. Termokimyasal dönüşüm işlemleri piroliz, gazlaştırma ve sıvılaştırma olmak üzere üç alt kategoriye içermektedir [77]. Biyokimyasal dönüşüm; biyokütle kaynaklı yakıt kimyasalları ve malzemelerinin üretimi için önemli ve etkili bir yoldur. Metan bazlı biyogaz üretimi için anaerobik sindirim ve etanol üretimi için fermantasyon olmak üzere iki önemli biyokimyasal işlemi mevcuttur. Anaerobik mikroplar nişastalı veya selülozik biyokütle ile temas ettiğinde metan bazlı biyogaz oluşur. Taşımacılıkta kullanılan sıvı yakıt veya kimyasal ara ürünlerin biyokimyasal işlemlerinde ise biyokütleden hidroliz metoduyla biyolojik ve/veya kimyasal yollarla şeker ve lignin çıkartılarak işlenmektedir [78,79]. Fizikokimyasal dönüşüm; biyoyakıtların üretimi için en basit yöntem olarak düşünülmektedir. Bir katalizör varlığında, kısa zincirli bir alkol ile hayvansal/bitkisel/alg yağların transesterifikasyonundan üretilen biyodizel bu dönüşüme örnek verilebilir. Biyokütle enerjisi için elde edilen yakıtlar ısı, elektrik ve ulaşım amaçlı kullanılsa da, yakıtlarla ilgili çalışmaların/uygulamaların çoğu içten yanmalı motorlar için alternatif olan, biyokimyasal (fermantasyon) ve fizikokimyasal (esterifikasyon) teknolojileri yoluyla elde edilebilen biyoyakıt oluşumuyla ilgilidir

[76]. Biyokütleden biyoenerjiye dönüşüm metotları ve hammadde olarak kullanılan biyokütle türleri Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8. Biyokütleden Biyoenerjiye Dönüşüm Platformları [76]

Biyokütle, dünya genelinde enerji kaynakları arasında büyüklük bakımından dördüncü sırada yer almaktadır. Bazı gelişmiş ülkelerde, bu kaynaktan elde edilen enerji ile önemli planlamalar yapılmakta, gelecek için önemli bir kaynak olacağı öngörülmektedir [80]. Ülkelerin yenilenebilir enerji talepleri içerisinde biyoenerji tüketimine düşen paylarda; Estonya %94,4, Güney Afrika %93,5 ve Belçika %80 ilk üç sırayı alırken, toplam birincil enerji arzı içerisinde biyoenerji dağılımı; Brezilya %30, Finlandiya %26,4 ve Danimarka %22,9 ile ilk üç sırayı almaktadır. Biyoenerji arz enerji miktarı olarak ise Amerika Birleşik Devletleri (ABD) 4082 PJ ile ilk sırada bulunmaktadır. İkinci sırada Brezilya 3573,6 PJ ile, üçüncü sırada Almanya 1090,6 PJ ile yer almaktadırlar [81].

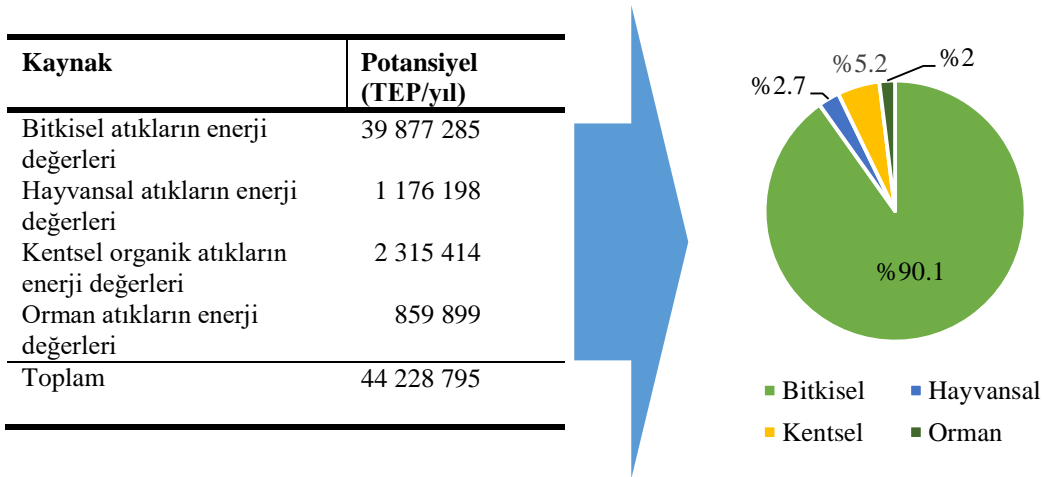
Biyoenerji, toplam enerji talebinin %13'üne karşılık gelmekte olup, yenilenebilir enerji yönünden en büyük katkıyı sağlamaktadır. Bu katkının %8'i gelişmekte olan ülkelerin pişirme ve ısınma için kullandıkları geleneksel kullanım, geri kalan %5 ise modern kullanıma aittir. Modern biyoenerji, binalardaki ısı ihtiyacının yaklaşık %4'ünü, endüstrideki talebin %6'sını, küresel elektrik üretiminin yaklaşık %2'sini ve ulaştırma ihtiyacının %3'ünü sağlamaktadır. Ulaştırma yakıtlarının %4,5'i hidrojenize bitkisel yağ, %21,5'i biyodizel ve %74'ü etanolden oluşmaktadır [61]. 2017 yılı

süresince ve toplamında, küresel biyoenerji güç, ısıl kapasite ve biyoyakıt üretimi ile ilgili sayısal değerler Tablo 2.2’de sunulmuştur.

Tablo 2.2. Küresel Biyoenerji Güç, Isıl Kapasite ve Biyoyakıt Üretimi, 2017 [61]

	2017 yılı süresince	2017 yılı sonunda toplam
Biyo-güç kapasitesi (GW)	8,1	122
Modern biyo-ısı kapasitesi (GW _{th})	3	314
Biyoenerji yakıt üretimi (milyar lt /yıl)	3,6	143,5

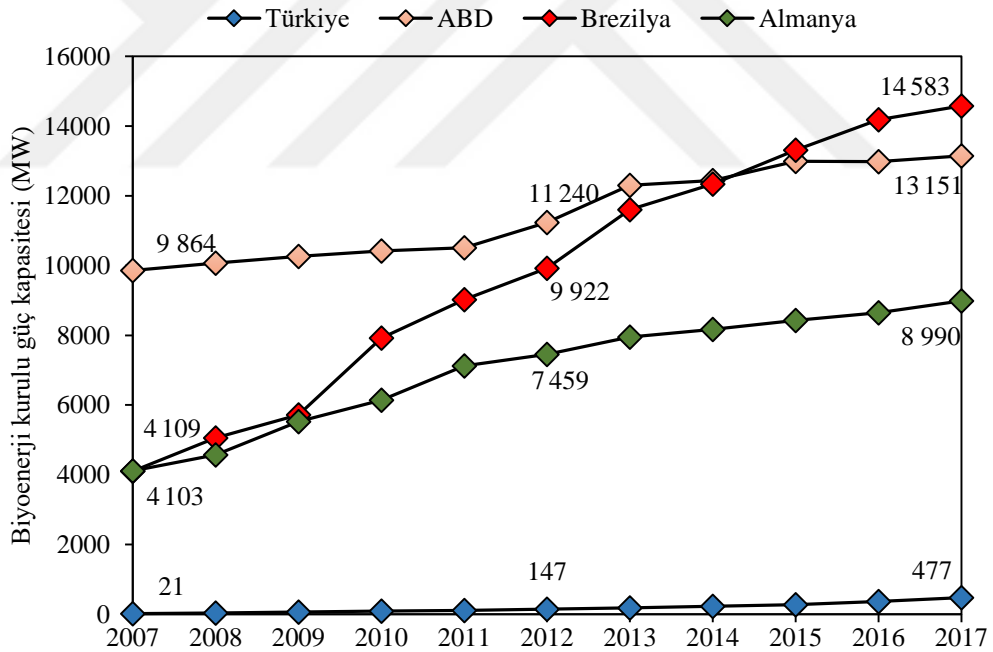
Türkiye, yüksek potansiyele sahip arazileri, su rezervleri, güneşlenme süresi, iklim koşulları, bulunduğu coğrafi konum vb. özellikleri ile biyokütle üretim için uygun bir ülkedir. Geleneksel biyokütle ağırlıklı olarak kullanılsa da modern biyokütle kullanımı son zamanlarda dikkat çekici bir yükseliş eğilimindedir. Ülkemizde modern biyokütle enerjisi; istihdamda artışın sağlanması, kırsal bölgelerdeki insanların sosyal ve ekonomik olarak gelişmesi, enerjide dışa bağımlılığın en aza indirgenmesi, düşük emisyon değerleri ile hava kirliliğinin düşürülmesi ve atıkların değerlendirilmesiyle çevre kirliliğinin azaltılması avantajlarını kullanarak önemli bir yer edinmeye başlamıştır [82]. Ülkemize ait kaynak bazında biyokütle potansiyeli (TEP/yıl) ve biyokütle çeşitlerinin dağılımları Şekil 2.9’da sunulmuştur.



Şekil 2.9. Kaynak Bazında Türkiye’nin Biyokütle Potansiyel Miktarları ve Yüzde Dağılımları [83]

Şekil 2.9’daki grafikte de görüldüğü üzere, en yüksek potansiyele sahip olan kaynak (atık) %90,1’lik oranla bitkisel atıklardır. Türkiye’nin birincil enerji arzının 145 MTEP olarak gerçekleştiği göz önünde bulundurulduğunda, ülkemizin biyokütle potansiyelinin toplamı 2017 yılı için %30,5’lik bir orana karşılık gelmektedir.

Biyoyakıt enerjisi üretiminde yüksek enerji kapasitesine sahip bitkisel ürünler bulunmaktadır. Enerji bitkileri adı verilen bu ürünlerin oluşturduğu sektöre enerji tarımı denilmektedir. Enerji tarımında biyoyakıt üretimi için üretilen bitkisel ürünler, biyogaz için katı, sıvı biyoyakıt (biyodizel, biyoetanol vb.) için özüt niteliğinde hammadde oluşturmaktadır. ABD'nin öncülüğünü çektiği, Avrupa Birliği, Çin ve Brezilya ülkelerinin önemli yatırımlar ve çalışmalar yaptığı enerji tarımı sektörüne, sahip olduğu iklimi, tarımsal yapısı ve tecrübesiyle Türkiye gereken önemi göstermeli ve bu alanda öncü olan ülkeler arasında yer almalıdır [84-87]. Biyokütle enerjisinin Türkiye'deki durumu ve kullanımını diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına oranla daha az olmasına rağmen mevcut kayıtlı santral sayısı 100'dür [88]. Şekil 2.10'da 2007-2017 yılları arasında dünyada biyokütle enerjisinde söz sahibi üç ülke ABD, Brezilya, Almanya ile Türkiye'nin biyokütle enerjisine ait kurulu güç değerleri grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 2.10. 2007-2017 Yılları Arası ABD, Brezilya, Almanya Ve Türkiye'nin Biyoenjerji Kurulu Güç Kapasiteleri [65,66]

Şekil 2.10 incelendiğinde, on yıllık zaman diliminde en büyük artışın gerçekleştiği ve mevcut 14 583 MW'lık enerji potansiyeli ile en büyük biyoenjerji kurulu güç kapasitesine sahip ülke Brezilya'dır. ABD (13 151 MW) ve Almanya (8 990 MW) bu konuda söz sahibi diğer iki ülkedir. Türkiye'nin 2007 yılında biyoenjerji kurulu güç

kapasitesi 21 MW iken, beş yıl sonra bu değer yedi kat artarak 147 MW değerine yükselmiş, 2017 yılı itibarıyla yaklaşık yirmi üç artarak 477 MW değerine çıkmıştır.

Biyokütle enerji kaynaklarından üretilen, son dönemde önemli gelişme kaydeden ve doğrudan tarım sektörünü de ilgilendiren biyoyakıtlar günümüzde dikkat çeken alternatif yakıtlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Biyoyakıtlar kısa süre önce yaşamış organizmalar ya da onların metabolik çıktılarından elde edilmektedir. Biyoyakıtlar, içeriklerinin hacim olarak en az %80'ini son on yıl içerisinde toplanmış canlı organizmalardan elde edilmiş her türlü yakıt olarak tanımlanmaktadır [89,90]. Biyoyakıtların üretimde hammadde olarak kullanılan biyokütle kaynakları odun yakıtları, tarımsal yakıtlar ve kentsel atıklardan oluşmakta ve bu grupların her biri, ısı, elektrik ve yakıt üretimi için kullanılan katı, sıvı ve gaz halindeki yakıt formlarına ayrılmaktadır. Katı biyoyakıtlar; odun kömürü, biyokömür, biyopelet, biyobriket iken, sıvı biyoyakıtlar; biyoetanol, biyodizel, biyometanol, biyodimetiler, biyo etil tersiyer bütül eter, bitkisel yağlar ve gaz biyoyakıtlar ise; biyohidrojen, biyogaz ve sentetik gazlardan oluşmaktadır. Günümüzde en yaygın kullanılan biyoyakıtlar ise, biyodizel, biyoetanol ve biyogazdır [91-93].

2.2. Biyodizel

Biyodizel, bitkisel (enerji bitkileri), hayvansal veya atık yağların kısa zincirli bir alkolle (metanol, etanol vb.) esterleşmesi sonucu elde edilen, uzun zincirli yağ asidi mono alkil esteri olarak da tanımlanabilen, yenilenebilir ve alternatif bir yakıttır [94,95]. Biyodizel içeriğinde petrol bulunmaz ancak saf bir şekilde üretimi ya da dizel yakıtı (petrodizel) ile her oranda karışım sağlanarak bir dizel motorunda yakıt olarak kullanılabilir. Saf biyodizel yani %100 biyodizel B100 ile adlandırılırken, %5 biyodizel-%95 petrodizel yakıt karışımı B5, %20 biyodizel-%80 petrodizel yakıt karışımı B20 şeklinde isimlendirilmektedir [96].

Trigliseritlerin transesterifikasyonu ilk olarak 1853'te E. Duffy ve J. Patrick tarafından yapılmıştır. 1893 yılında Rudolp Diesel tarafından bitkisel yağı yakmak amaçlı dizel motor icat edilmiştir. Diesel, 1898 yılında düzenlenen Paris Dünya Fuarında yer fıstığı yağını yakıt olarak kullandığı dizel motorunu sergileyerek "Grand Prix" adı verilen en iyi ödülü kazanmış ve 1911'de bitkisel yağların ana yakıt olarak kullanılması ülkelerin

tarımsal anlamda gelişim gösterebileceğini ifade etmiştir. Bunların yanı sıra, 1912 yılında “motor yakıtları için bitkisel yağların kullanılması günümüzde önemsiz görünebilir, ancak bu tür yağlar zaman içerisinde petrol ve türevleri kadar önemli olabilir” sözünü söyleyerek kuvvetli öngörüsünü belirtmiştir. Bitkisel yağlar, dizel motorunun icadının ilk yirmi yılında ana yakıt kaynağı olarak kullanılmıştır [97-99]. Biyoyakıtların ilerleyen senelerde önem kazanacağını düşünen diğer bir bilim adamı Henry Ford, 1903’ten 1926’ya kadar üretilen Model T arabasını kenevir türevli yakıt kullanılabilir şekilde tasarlamıştır [100]. 1920’li yıllarda, dizel motor üreticileri bu tür biyokütle bitkisel yağ yakıtlarından ziyade petrodizel olarak da bilinen fosil yakıtın düşük viskozitesini kullanmak amaçlı motorlarını değiştirmeye karar vermişlerdir. Bununla birlikte, 1937’de Belçikalı bilim insanı olan G. Chavanne, ‘Bitkisel yağların yakıt olarak kullanımı için prosedür’ başlıklı bir patent almıştır. Sonraki dönemde, petrol ticaretinin bir sonucu olarak uzun yıllar boyunca biyodizel ile ilgili ciddi anlamda çalışmalar yapılmamıştır. 1973 yılı yaşanan petrol krizi ile birlikte alternatif enerji yakıtlarına olan ilgi yeniden başlamıştır. 1978’den 1996’ya kadar, ABD Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı, “Sucul Türler Programı” kapsamında biyodizel kaynağı olarak alglerin kullanılmasını denemiştir [101, 102].

Ülkemizde biyodizel ile ilgili ilk uygulama 1934 yılında, “Bitkisel Yağların Tarım Traktöründe Kullanımı” isimli çalışmayla gerçekleştirilmiştir. 2000’li yılların başında gerek üniversite gerek devlet tarafından çalışmalara hız kazandırılmıştır. 2001 yılında “biyoenerji çalışma grubu” oluşturularak, farklı senaryo çalışmaları yapılmış ve ilk biyodizel deneme üretimine başlanmıştır. 2006 yılında haksız rekabet oluşması gerekçesi ile 5479 sayılı Gelir Vergisi Kanunu’nda değişiklik yapılarak oto biyodizeline litrede 0,6498 TL Özel Tüketim Vergisi (ÖTV) getirilmiştir. Bu vergilerle birlikte, devlet tarafından bu alanda yapılacak yatırımlara gerekli desteğin verilmemesi bu alandaki yatırımcıların hızını kesmiştir. Aynı sene sonunda durma noktasına gelen sektörü yeniden canlandırmak için, 08.12.2006 tarihinde 26370 sayılı resmi gazetede yayımlanan 05.06.2007 tarihli Bakanlar Kurulu Kararı 4760 sayılı Özel Tüketim Vergisi Kanunu ile yerli hammaddeden üretilen oto biyodizelinin motorine %2 harmanlanması ile ÖTV’den muaf tutulmuştur. Oto biyodizel dağıtımının sadece lisanslı petrol şirketleri tarafına verilmesi muafiyeti şartı ve dağıtım şirketlerinin

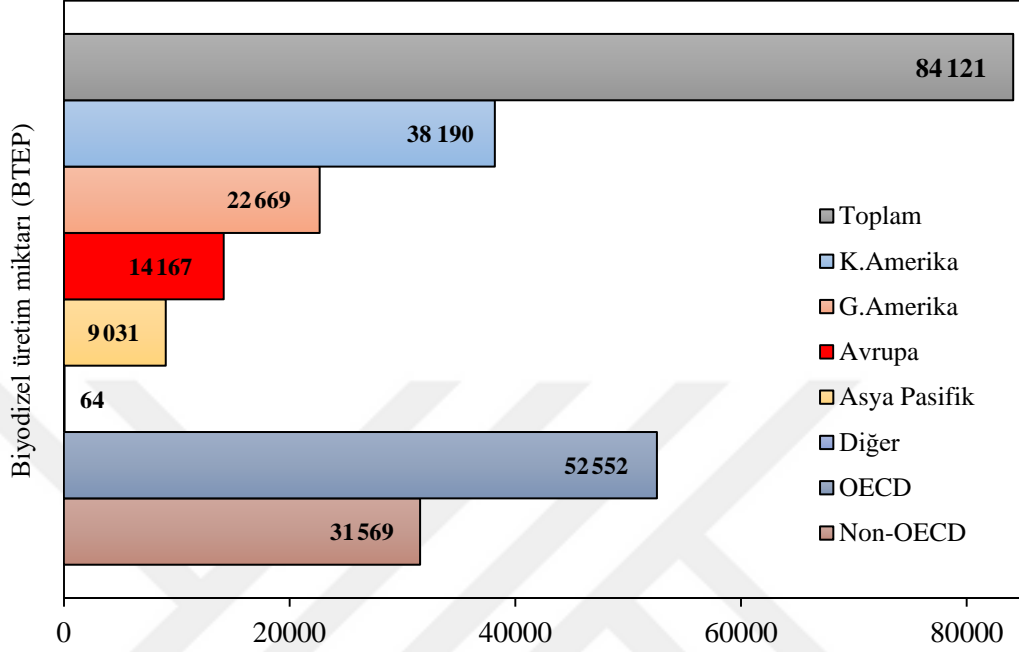
herhangi bir alım zorunluluğunun bulunmaması ürünün cazibesini ortadan kaldırmıştır [103, 104].

27 Eylül 2011 tarih ve 28067 sayılı “Motorin Türlerine İlişkin Teknik Düzenleme Tebliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ”e göre 01/01/2014 tarihi itibarıyla piyasaya sunulan motorin türlerine yerli tarım ürünlerinden üretilmiş yağ asidi metil ester (YAME) içeriğinin en az %1, 01/01/2015 tarihi itibarıyla en az %2 ve 01/01/2016 tarihi itibarıyla de en az %3 katılma zorunluluğu getirilmiştir [105]. 16/06/2017 tarih ve 30098 sayılı resmi gazetede yayımlanan “Motorin Türlerine Biodizel Harmanlanması Hakkında Tebliğ”, ‘Harmanlama Yükümlülüğü’ maddesi gereği: “Dağıtıcı lisansı sahipleri tarafından, bir takvim yılı içerisinde, ithal edilen ve kara tankeri dolun üniteleri hariç rafinericiden temin edilen motorininin toplamına, en az %0,5 (v/v) oranında yerli tarım ürünlerinden ve/veya bitkisel atık yağlardan üretilmiş biodizelin harmanlanmış olması zorunludur” maddesi getirilmiştir [106].

2.2.1. Dünyada ve Türkiye’de Biyodizelin Durumu

Dünyadaki birçok ülke, özellikle enerji konusunda söz sahibi olan ülkeler, fosil yakıtların durumunu ve sorunları değerlendirmekle birlikte enerji politikalarını göz önünde bulundurarak, hazırladıkları senaryolar gereği yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili kapsamlı planlama ve detaylı çalışma yapmaktadırlar. Tahmini senaryolar ve belirlenen planlamalar doğrultusunda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik teşvik ve destek programları yasalarla desteklenmektedir. Almanya, İngiltere, Fransa, İtalya, Avusturya, İrlanda, Norveç, Polonya, Çek Cumhuriyeti, İsveç ve Slovakya biyodizelin yasal olarak vergiden muaf olduğu ülkeler arasındadır. [107]. Bununla birlikte, Brezilya’da biyodizel üretici firmalar soya fasulyesi ve palm yağı üreten çiftçilere teknik destek sunmak şartıyla vergiden muaf olabilmektedirler. ABD’de, üretim maliyetlerini düşürmek amaçlı verilen teşvikler ve hazırlanan programlarla biyodizel üretimi ve tüketimi desteklenmektedir [105, 108]. YAME üretiminin 2017 yılında 0,1 milyar lt/yıl, toplamda 31 milyar lt/yıl üretimi bulunmaktadır. Dünya genelinde 84 121 BTEP biyodizel üretimi gerçekleşmişken, ABD (36 936 BTEP), Brezilya (18 465 BTEP), Almanya (3 293 BTEP), Arjantin (3 131 BTEP) ve Endonezya (2 326 BTEP) en büyük biyodizel üretici beş ülke

konumundadır [61]. Dünya genelinde bölgelere ve kıtalara göre biyodizel üretim miktarları ile ilgili grafik Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.11. 2017 Yılı Dünya Genelinde Bölgelere ve Kıtalara Göre Biyodizel Üretim Miktarları [12]

Ülkemizde; kara ve deniz taşımacılığında, endüstri uygulamalarda, tarımsal üretim faaliyetlerinde (toprak işleme, gübreleme, ilaçlama vb.) petrodizel kullanılmaktadır. Enerji dengesi incelendiğinde, petrodizel tüketimi %21 ile 3. sırayı alırken, benzine göre 7 kat fazla tüketim gerçekleşmektedir. Bu durum ve Türkiye'nin tarıma elverişli bir ülke olduğu hususları göz önünde bulundurulursa, biyodizel yukarıda bahsi geçen uygulamalarda kullanılabilen önemli alternatif yakıtlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır [105, 109, 110]. Dünyada işlenebilirlik özelliğine sahip tarım alanları bakımında ilk 10 ülke arasında kendine yer bulan Türkiye, tarım bitkileri ve tarım alanları açısından Ortadoğu ve Avrupa bölgesinin en büyük arazilerine sahiptir. Biyodizel üretiminde hammadde olarak kullanılan enerji bitkileri için yeteri kadar ekim alan imkânı sunulabilmektedir [111]. Bu avantajlar doğrultusunda, ülkemizin bu alanda ciddi bir potansiyeli bulunmaktadır. Enerjide dışa bağımlı bir ülke olduğumuz gerçeği göz önünde bulundurulduğunda, gerek devlet teşvikleri gerek firmaların/kişilerin bu konuda istekli tavırları bu alandaki potansiyelin uygulamaya dönüşmesinde en önemli faktörler olacaktır.

Türkiye’de biyodizel işleme lisans sahibi firma sayısı 11’dir. 2017 yılında dağıtıcıya biyodizel teslim miktarı 2016 yılına göre %2,3 oranında artış göstererek 65,6 kiloton olarak gerçekleşmiştir [22, 83, 112].

2.2.2. Biyodizelin Avantajları ve Dezavantajları

Biyodizel; petrol türevlerinden biri olan petrodizel yerine geçebilecek, sürdürülebilir, yenilenebilir ve çevre dostu alternatif bir yakıttır. Yapılan çalışmalarda, biyodizelin özelliklerinin petrodizele çok yakın olduğunu da göstermektedir [113]. Biyodizelin avantajları ve dezavantajları sıralanacak olursa;

Avantajları:

- ❖ Petrodizelin aksine yenilenebilir karakterlidir, yerel olanaklarla üretim sağlanabilmektedir.
- ❖ Biyodizelin yanması sonucu oluşan CO₂, biyodizelin kaynağı bitkiler tarafından absorbe edilmekte ve karbon döngüsü hızlanmaktadır. Bunun yanı sıra, biyodizelin yapısında %11-13 oranında yüksek oksijen içeriğinden dolayı CO ve HC egzoz gazı emisyonlarında önemli düşüşler olmaktadır. Ayrıca, aromatik bileşikler ve kükürt çok az miktarda bulunmaktadır.
- ❖ Hayvansal ve bitkisel yağlar hammadde olarak kullanıldığından talep üzerine üretilmektedir.
- ❖ Mevcut dizel motorlarda çok az değişiklik yapılarak veya hiç değişiklik yapılmadan kullanılabilir.
- ❖ Parlama noktasının petrodizele göre daha yüksektir ve bu nedenle depolanması ve taşınması daha güvenli olmaktadır.
- ❖ Yağlama özelliğinin iyi olmasından dolayı motor ömrünü uzatmaktadır.
- ❖ Yüksek oksijen ihtiva etmesinden kaynaklı yanma verimi yüksek olmaktadır.
- ❖ Biyolojik bozunabilirliği kolay ve hızlı olduğu için toksik etki oluşturmamaktadır.
- ❖ Sosyoekonomik bakımından bulunduğu bölgeye ve ülkeye önemli katkılarda bulunmaktadır.
- ❖ Biyodizelin tek başına (B100 olacak şekilde) veya petrodizel ile karıştırılıp kullanılabilme imkanları sunmaktadır [114-117].

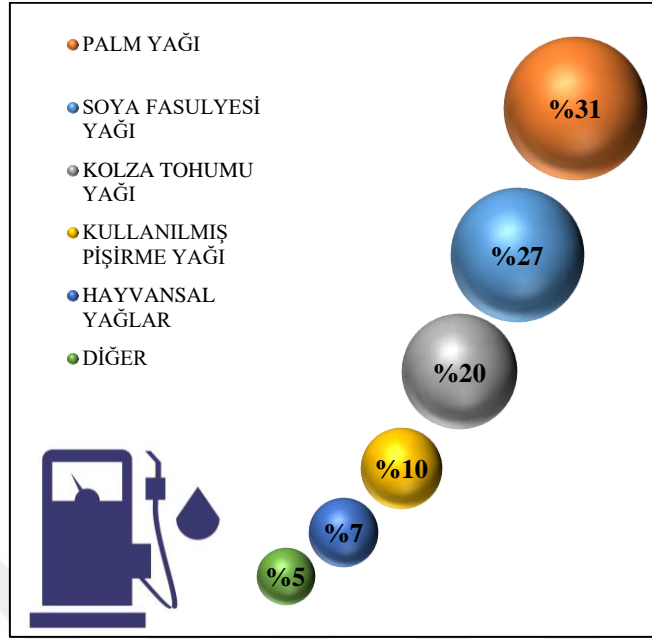
Dezavantajları:

- ❖ Biyodizelin soğuk akış özelliklerinden akma noktası petrodizelinkine göre daha yüksektir. Bu durum havanın soğuk olduğu zamanlarda sorun teşkil edebilmektedir,
- ❖ Biyodizelin ısı değeri petrodizele göre yaklaşık %10 düşük olduğundan, motordaki yanma sonucu bir miktar enerji düşüşü gerçekleşmektedir.
- ❖ Hammadde olarak kullanılan bitkisel yağ içeriğinde bulunan doymamış yağlar, yağlama esnasında yakıt filtresi ve yakıt borularının tıkanmasına neden olabilmektedir.
- ❖ Yüksek sıcaklıklarda havayla temas eden biyodizel hızlı bir şekilde oksitlenme başlamaktadır.
- ❖ NO_x emisyon değerleri petrodizel ile kıyaslandığında %10'un üzerinde çıkabilmekte, ancak yanma ve yanma sonrası kontrollerle bu değer iyileştirilebilmektedir [48, 118, 119].

2.2.3. Biyodizel Üretimi

2.2.3.1. Biyodizel Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

Biyodizel üretiminde kullanılan hammaddeleri trigliserit içeren yağlar ve kimyasallar (alkol, katalizör vb.) şeklinde genel olarak sınıflandırmak mümkündür. Yağlar, toplam biyodizel üretim maliyetinin yaklaşık %70-95'ini oluşturması sebebiyle önemli bir etkidir. Biyodizel üretmek için çeşitli hammaddeler kullanılsa da, işlenmemiş bitkisel yağlar ve hayvansal yağlar en çok tercih edilen hammadde türleridir. Bunların yanı sıra, atık (bitkisel/hayvansal) yağlar, halofitten üretilen yağlar ve atıksu arıtma çamurları kullanılarak biyodizel üretimi sağlanmaktadır. Hammadde seçimi büyük ölçüde coğrafyaya bağlıdır. Hammaddenin kaynağına ve kalitesine bağlı olarak, üretim sürecinde değişikliklere gerek duyulabilmektedir [120-123]. Şekil 2.12'de 2016 yılı kullanılan hammadde çeşitlerine göre biyodizel üretimi miktarlarının yüzdesel dağılımı verilmiştir.



Şekil 2.12. 2016 Yılı Dünya Geneline Biyodizel Üretiminde Kullanılan Hammaddelerin Yüzdeleri [124]

2.2.3.1.1. Bitkisel Yağlar

Mevcut olarak biyodizel üretimin çoğu, soya fasulyesi, kolza tohumu, ayçiçek ve hurma yağlarından üretilmektedir. Düşünülen yeni bitkisel yağlar arasında hardal tohumu, yerkıstığı ve pamuk tohumu yer almaktadır [125]. Biyodizel üretiminde hammadde olarak tercih edilen bitkisel yağların çeşidine, yağı çıkartılan tohumun bulunduğu coğrafyaya, iklim şartlarına ve ekonomik duruma göre farklılık göstermektedir. ABD’de soya fasulyesi yağının biyodizel üretimi için birinci sınıf hammadde olduğu kabul edilirken, Kanada’da kolza tohumu yağı, Avrupa’da ayçiçeği yağı ve Güneydoğu Asya’da hurma yağı öncülük etmektedir. Biyodizel ağırlıklı olarak (%95’ten fazla), tarım endüstrisinden büyük ölçüde kolaylıkla temin edilebilen yemeklik bitkisel yağlardan üretilmektedir [126, 127]. Hurma, hurma çekirdeği, soya fasulyesi, kolza, ayçiçeği, yer fıstığı, pamuk tohumu yağları biyodizel üretiminde hammadde olarak kullanılan yemeklik yağlardır. Yemeklik bitkisel yağların hammadde olarak kullanılması, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, yüksek gıda fiyatlarına neden olabileceği endişesiyle yiyecek-yakıt tartışmalarını gündeme getirmektedir. Bununla birlikte, geniş ekilebilir alana ihtiyaç duyulması neticesinde ormanların tarlalara dönüştürülmesi (ormansızlaşma) ile ciddi ekolojik dengesizlikler

meydana gelmektedir. Bu nedenlerden dolayı, yemeklik olmayan bitkisel yağlar veya alternatif yağlar daha cazip bir hal almıştır [128].

Yemeklik olmayan bitkisel yağlardan üretilen biyodizel, alternatif dizel yakıt olarak iyi bir potansiyele sahiptir. Jatropha, karanja, mahua, tütün, neem (Hindistan'da bir bitki), kauçuk, deniz mangosu, castor, pamuk vb. önemli yemeklik olmayan yağ bitkilerindedir. Bunların içerisinde, jatropha, karanja, mahua ve castor yağları biyodizel sentezinde en çok kullanılan yağlardır [129]. Yemeklik olmayan yağ bitkileri; gıda mahsulleri için uygun olmayan atık topraklarda da yetişebilmekte, ekim maliyeti çok düşük olmakta ve yoğun bakım gerektirmeden oldukça yüksek verim sağlayabilmektedirler. Ayrıca bu bitkiler kurak, yarı kurak koşullara iyi adapte edilmekte olup, büyümek için düşük doğurganlık ve neme ihtiyaç duymaktadırlar [125]. Bu bitkisel yağlardan elde edilen yakıtların avantajları; hazır bulunabilirliği, yenilenebilirliği, daha yüksek yanma verimliliği, düşük kükürt ve aromatik içeriği ve daha yüksek biyolojik bozunabilirliktir [130]. Yemeklik olmayan kaynaklardan gelen yağlar, bazı toksik bileşenlerin varlığından dolayı insan tüketimi için uygun değildir. Bununla birlikte, biyodizel üretim maliyetini artıran yüksek miktarda serbest yağ asidi içermeleri ciddi bir dezavantaj olarak görülmektedir [125].

2.2.3.1.2. Hayvansal Yağlar

Biyodizel üretmek için kullanılan hayvansal yağlar arasında iç yağı, domuz yağı, balık yağı, tavuk yağı vb. bulunmaktadır. Bitkisel yağlarla karşılaştırıldığında; bu yağlardan elde edilen metil esterinin yüksek setan sayısına sahip olmasıyla birlikte, temiz, yenilenebilir ve ekonomik avantajlar sunmaktadır. Bu yağların sınırlı miktarda bulunması, biyodizel üretiminde veya yakıt ihtiyacını karşılamada yetersiz kalmaktadırlar. Hayvansal yağların doymuşluk oranı yüksektir, bu nedendir ki hayvansal yağlarla üretilen biyodizellerin soğuk akış özellikleri, bitkisel yağ ile üretilen biyodizellere göre daha kötü olmaktadır [118, 128]. Ayrıca, setan sayılarının yüksek olması sebebiyle daha fazla NO_x yaymaktadırlar. Bunların yanı sıra, yüksek miktarda serbest yağ asidi içeriğine sahip olmalarından dolayı asit değerini düşürmek amaçlı esterifikasyon prosesini tabi tutulmaları gerekmektedir. Bu dezavantajların üstesinden gelmek için hayvansal yağların bitkisel yağlarla harmanlanması önerilmektedir [131].

2.2.3.1.3. Diğer Yağlar

Biyodizel üretiminde hammadde olarak kullanılan bitkisel ve hayvansal yağların dışında, işlem görmüş veya kullanılmış atık yağlarda bulunmaktadır. Atık yağlar; bitkisel atık pişirme yağları, hayvansal atık yağlar (balık, tavuk vb. atıklar) ve atık sanayi yağları olmak üzere üç grupta toplanmaktadır. Türkiye’de yılda gıda amaçlı kullanılan 1 500 000 ton bitkisel yağdan yaklaşık 150 000 ton atık yağ meydana gelmektedir. Kızartma işlemi sonrası kullanılan bitkisel ve hayvansal atık yağ kanserojen madde içermeye ihtimali yüksek olmasından dolayı sabun üretimi ve hayvan yeminde tercih edilmemektedir. Canlılar ve çevre için bir tehdit unsuru olan bu yağları biyodizel olarak bir yakıt haline getirmek bu konudaki endişeleri bir miktarda olsa giderebilmektedir [132, 133]. Yüksek asit sayısına sahip atık yağların alkali katalizörler ile transesterifikasyonu sonucu elde edilen biyodizel, sabunlaşmadan kaynaklı yakıt hattındaki elemanları negatif olarak etkilemektedir. Böyle bir durumda serbest yağ asidi (SYA) değerinin düşürülmesi için asit katalizör kullanılarak ön iyileştirme adı verilen proses uygulanmakta, istenilen SYA değerine ulaşıldıktan sonra transesterifikasyonu işlemine geçilmektedir [134].

Mikroalg yağları biyodizel sentezi için kullanılan diğer hammaddelere göre yeni bir kaynaktır. En yaygın mikroalg türleri; diatomlar (*Bacillariophyceae*), yeşil algler (*Chlorophyceae*), altın kahverengi (*Chrysochyceae*) ve mavi-yeşil algler (*Cyanophyceae*) şeklinde ifade edilebilir. Mikro alglerin 25 000’den fazla türü olmasına karşın yalnızca 15’i kullanılmaktadır. Ayrıca, %20-50 arasında yüksek yağ oranı bulundurması, hızlı bir şekilde üretiminin gerçekleştirilebilmesi (24 saat içinde biyokütle üretiminin iki katına çıkması), dört ya da daha fazla çift bağ içeren çoklu doymamış yağ asitleri bakımından oldukça zengin olmaları gibi avantajlarıyla biyodizel üretimi için ekonomik ve iyi bir potansiyele sahip bir hammadde kaynağıdır. [135]. Bu avantajların yanı sıra, mikroalg yağı kullanılarak yapılan konvansiyonel transesterifikasyon işleminin uygulanması zor, enerji tüketimi yüksek ve pahalıdır. Aynı zamanda elde edilen verim istenilen verime göre oldukça düşük çıkmaktadır. [136].

2.2.3.2. Yağ Asidi Kompozisyonu

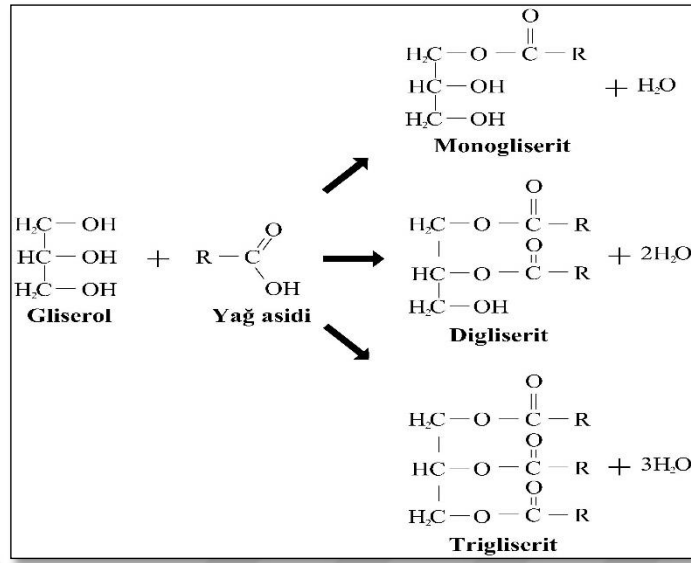
Doğal olarak oluşan, organik bileşiklerden meydana gelen, eter, kloroform, aseton&benzen gibi polar olmayan organik çözücülerde çözülen ancak genel olarak suda çözünmeyen geniş ve çeşitli bileşiklere yağ (lipit) adı verilmektedir. Temel yapıları karbon, hidrojen ve oksijen atomlarından oluşmaktadır. Düşük miktarda oksijen atomuna karşılık yüksek sayıda karbon atomu içermektedirler [137]. Yağın bileşenlerinden biri olan gliserol yağ bitkilerinin hepsinde aynı formda bulunurken, yağın diğer bileşenleri olan yağ asitleri türlere özgü farklı karakteristikler göstermektedir. Yağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemede yağ asitlerinin dağılımı ve konumu baskın rol oynamaktadır. Aynı şekilde, yağın kullanım alanını belirlemede yağ asitlerinin kompozisyonu önem arz etmektedir. Yağ asitleri; hidrokarbon zincirinde karbon sayısı, karbon atomları arasında çift bağ mevcudiyeti, çift bağ mevcutsa yeri ve sayısı gibi özellikler bakımından ayrı gruplarda değerlendirilmektedir [138]. Bitkisel yağlarda bulunan çeşitli yağ asitlerinin ampirik formülleri, kimyasal isimleri ve yapıları Tablo 2.3’de verilmiştir.

Tablo 2.3. Yaygın Yağ Asitlerinin Kimyasal Yapısı

Yağ asidi	Yağ asitlerinin kimyasal ismi	Yapısı (xx:y)	Kimyasal formül
Laurik	Dodekanoik	12:0	C ₁₂ H ₂₄ O ₂
Miristik	Tetradekanoik	14:0	C ₁₄ H ₂₈ O ₂
Palmitik	Heksadekanoik	16:0	C ₁₆ H ₃₂ O ₂
Stearik	Oktadekanoik	18:0	C ₁₈ H ₃₆ O ₂
Araşidik	Eikosanoik	20:0	C ₂₀ H ₄₀ O ₂
Behenik	Dokosanoik	22:0	C ₂₂ H ₄₄ O ₂
Lignoserik	Tetrakosanoik	24:0	C ₂₄ H ₄₈ O ₂
Oleik	<i>cis</i> -9-Oktadekanoik	18:1	C ₁₈ H ₃₄ O ₂
Linoleik	<i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12-Oktadekadienoik	18:2	C ₁₈ H ₃₂ O ₂
Linolenik	<i>cis</i> -9, <i>cis</i> -12, <i>cis</i> -15-Oktadekatrienoik	18:3	C ₁₈ H ₃₀ O ₂
Erusik	<i>cis</i> -13-Dokosenoik	22:1	C ₃₂ H ₄₂ O ₂

xx, karbon asit sayısı; y, yağ asidi zincirindeki çift bağ

Yağ asitleri ile gliserolün oluşturdukları esterler gliserit (açılglycerol) olarak isimlendirilmektedir. Bir ester bağıyla bir gliserol molekülüne kovalent olarak bağlanmış bir yağ asidi zincirine monogliserit (monoaçılglycerol), iki yağ asidi zincirine digliserit (diaçılglycerol) ve üç yağ asidi zincirine trigliserit (triaçılglycerol) denilmektedir. Katı ve sıvı yağlar, gliserol ve yağ asitlerinin meydana getirdiği trigliseritlerin hâkim olduğu bileşiklerdir [138, 139]. Yağ asidi ve gliserolden mono-di-trigliseritlerin sentezleri Şekil 2.13’de verilmiştir.



Şekil 2.13. Yağ Asidi ve Gliserolden Mono-Di-Trigliseritlerin Sentezi [139]

2.2.3.2.1. Yağ Asitlerinin Sınıflandırılması

Yağ asitleri; doymuş ve doymamış yağ asitleri olmak üzere genel olarak iki grupta incelenebilir. Doymamış yağ asitleri de kendi içerisinde tekli ve çoklu doymamış yağ asitleri olarak ikiye ayrılmaktadır.

Doymuş yağ asitleri: Karbon atomları arasında çift bağ bulunmayan yağ asitleridir. $C_nH_{2n}O_2$ kimyasal formülü ile ifade edilirler. Karbon sayısı 4-32 arasındadır ve en çok kullanılan türlerinde 12-18 arasında karbon içerir. Karbon sayısı 10 olana kadar erime sıcaklıklarından dolayı oda sıcaklığında sıvı haldedirler. Karbon sayısı uzadıkça erime noktası sıcaklığı artar [138, 140]. Bitkisel yağlarda bulunabilen 8-24 arası çift karbon sayılı doymuş yağ asitlerinin erime ve kaynama noktaları Tablo 2.4'te sunulmuştur.

Tablo 2.4. Çift Karbon Sayılı (8-24C) Doymuş Yağ Asitlerinin Erime ve Kaynama Noktaları [141, 142]

Yağ asidi	Yağ asitlerinin kimyasal ismi	Yapısı	Kimyasal formül	Erime Noktası (°C)	Kaynama Noktası (°C)
Kaprilik	Oktanoik	8:0	$C_8H_{16}O_2$	16,51	239,3
Kaprik	Dekanoik	10:0	$C_{10}H_{20}O_2$	31,39	269,6
Laurik	Dodekanoik	12:0	$C_{12}H_{24}O_2$	43,82	296,1
Miristik	Tetradekanoik	14:0	$C_{14}H_{28}O_2$	54,16	319,6
Palmitik	Hekzadekanoik	16:0	$C_{16}H_{32}O_2$	62,49	340,6
Stearik	Oktadekanoik	18:0	$C_{18}H_{36}O_2$	69,3	359,4
Araşidik	Eikosanoik	20:0	$C_{20}H_{40}O_2$	75,06	376,4
Behenik	Dokosanoik	22:0	$C_{22}H_{44}O_2$	80,6	391,8
Lignoserik	Tetrakosanoik	24:0	$C_{24}H_{48}O_2$	82,0	405,9

Doymuş yağlar, karbon zinciri boyunca çift bağları olmayan bir trigliserit türüdür. Bu yağlarda doymuş yağ asitleri baskındır. Palmitik asit (C16:0) ve stearik asit (C18:0) başta olmak üzere, Laurik asit (C12:0), Miristik asit (C14:0), Araşidik asit (C20:0) ve Behenik asit (C22:0) bitkisel yağlarda en çok tespit edilen doymuş yağ asitleridir. Özellikle palmitik ve stearik asit bitkisel yağlarda bulunan en yaygın doymuş yağ asitleridir [138, 143].

Biyodizel ile yapılan çalışmalar göstermektedir ki doymuş yağ asidi miktarının artışı ile setan sayısı, yanma ısı ve viskozite artış göstermektedir. Bununla birlikte, doymuş yağ asitlerinin yüksek erime noktasına sahip olmalarından dolayı doymuş yağ asidi miktarının artışı soğuk akış özelliklerini kötüleştirir [144].

Tekli doymamış yağ asitleri: Yapılarında bir çift bağ bulduran yağ asitlerine tekli doymamış yağ asitleri (TDYA) adı verilmektedir. Monoen yağ asitleri olarak da isimlendirilmektedirler. Çoğunun C₁₀-C₃₀ aralığında bulunduğu 100'den fazla TDYA bulunmaktadır. Palmitoleik asit (C16:1), oleik asit (C18:1) ve erusik asit (C22:1) bunların içerisinde en yaygın olanlarıdır [145, 146]. Yoğunluk, viskozite, setan sayısı, oksidasyon kararlılığı, parlama noktası ve soğuk filtre tıkanma noktası vb. birçok yakıt özelliği bileşen alkollerin ve yağ asitlerinin yapısı ile belirlenebilmektedir. Bu belirlemede yağ asidinin zincir uzunluğu, çift bağların oluşumu ve dal zincirlerinin özellikleri dikkate alınmalıdır. Örneğin; biyodizelin yağ asidi zincir uzunluğu ile ısı değeri artış gösterirken, soğuk akış özellikleri kötüleşmektedir.

Yüksek seviyede çoklu doymamış yağ asitleri içeren bir biyodizel, oksidasyon kararlılığı olumsuz yönde etkileyerek dizel motorlara uymayan azot oksit egzoz emisyonlarını arttırmaktadır. Buna karşın, yüksek miktarda doymamış yağ asitleri içermesi durumunda iyi oksidasyon kararlılığı sahip olunurken, soğuk akış özellikleri kötüleşmektedir. Oksidasyon kararlılığı ve soğuk akış özellikleri açısından incelendiğinde TDYA biyodizel için en iyi bileşenlerdir. İdeal bir biyodizel yakıtı daha az çoklu doymamış ve doymuş yağ asitlerine sahip olmalıdır. ABD Enerji Bakanlığı'ndan hazırladığı bir rapora göre, en iyi biyodizel sadece TDYA ile hazırlanabileceğini vurgulamıştır [147].

Çoklu doymamış yağ asitleri: Polienoik yağ asitleri olarak da bilinen, yapılarında birden fazla çift bağ bulunduran yağ asitleri çoklu doymamış yağ asitleri (ÇDYA) olarak adlandırılmaktadır. Linoleik asit (C18:2) ve linolenik asit (C18:3) araşhidonik asit (C20:4) bu grubun öne çıkan yağ asitleridir [148]. Yağ asidi karışımı içerisindeki toplam doymamışlığın bir ölçüsü olan iyot sayısının yüksek olması, bazı araştırmacılara göre enjektör ve piston parçalarında birikme ve polimerleşmeye yol açtığı iddia edilmektedir. Ayrıca, motor yağına eklenen doymamış esterler, yağlama kalitesi negatif yönde etkilemekte ve motorda arızaya sebebiyet veren bileşikler oluşturduğundan şüphe edilmektedir. Bunlara ek olarak, birtakım motor testlerinin sonuçları göstermektedir ki polimerizasyon reaksiyonlarının sadece üç veya daha fazla çift bağ içeren yağ asidi esterlerinde bariz bir şekilde oluşmaktadır. Bunların neticesinde, bazı biyodizel uzmanları linolenik asit metil ester içeriği ve çoklu doymamış biyodizel içeriğinin sınırlandırılmasını uygun görmüşlerdir [149]. DIN EN 14214 doymuş asit metil esteri standardı toplam yağ asidi içeriğine göre, linolenik asit içeriğinin en fazla % 10, bağ sayısının dörde eşit veya büyük olan çoklu doymamış yağ asit içeriğinin en fazla %1 olacak şekilde sınırlandırılmıştır.

Biyodizel üretimine başlamadan önce, kullanılacak olan hammaddenin yağ asit içeriğinin tespit edilmesi üretilecek biyodizelin yakıt özellikleri hakkında bize ön bilgi sunmaktadır. Biyodizel optimizasyon çalışmaları ve üretimine geçilmeden önce yağın (hammaddenin) yağ asit kompozisyonunu belirlemek, çalışmanın bütünlüğünü ve doğruluğunu sağlamada önemli bir faktördür. Çeşitli hammaddelere göre tespit edilmiş yağ asidi kompozisyonları Tablo 2.5’de verilmiştir.

2.2.3.3. Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerinin ve Motorda Kullanımının İyileştirilmesi

Rudolph Diesel dizel motor ile yaptığı ilk çalışmalarda yer fıstığı yağını hiçbir işleme tabi tutmadan direkt olarak yakıt amaçlı kullanmıştır. İlk sonuçlar olumlu olsa da ilerleyen zamanlarda ham yağ kullanımından kaynaklı birçok sorun yaşamıştır. Yağın direkt kullanımı sonucu yaşanabilecek başlıca problemler; karbonizasyon ve reçine oluşumu, enjektör memelerinin ve valflerin tıkanması, piston segmanlarının yapışması, yüksek basınç ve sıcaklığa bağlı olarak bitkisel yağların polimerizasyonu ve depolama sırasındaki oksidasyon oluşumdur. Bu sorunların ana nedenleri yüksek

viskozite, yüksek yoğunluk, düşük uçuculuk ve doymamış hidrokarbon zincirlerinin reaktivitesidir [155-157].

Tablo 2.5. Çeşitli Hammadelere Göre Tespit Edilmiş Yağ Asidi Kompozisyonları

Asit adı	Kimyasal yapısı	Yenilebilir	Yenilemez	Hayvansal	Atık	Mikroalg
		Soya fasulyesi ^a	Crambe ^b	İç yağ ^c	AKY ^d	Chlorella protothecoides ^e
Miristik	C14:0	-	-	2.68	0.9	0.05
Pentadekanoik	C15:0	-	-	0.93	-	-
Palmitik	C16:0	11.3	1.8	26.18	20.4	4.72
Palmitoleik	C16:1	0.1	-	1.90	4.6	0.55
Heptadekanoik	C17:0	-	-	1.74	-	-
Stearik	C18:0	3.6	0.7	33.69	4.8	1.78
Oleik	C18:1 9c	24.9	17.2	30.09	52.9	62.04
Elaidik	C18:1 11c	-	-	1.74	-	-
Linoleik	C18:2	53.0	8.2	0.76	13.5	20.64
Linolenik	C18:3	6.1	5.2	-	0.8	6.85
Araşidik	C20:0	0.3	-	0.3	0.12	0.59
Gadoleik	C20:1 9c	0.3	3.4	-	0.84	1.58
Gondoik	C20:1 11c	-	-	-	-	-
Behenik	C22:0	-	2.0	-	0.03	0.31
Erusik	C22:1	0.3	56.2	-	0.07	0.38
Dokosadienoik	C22:2	-	-	-	-	-
Lignoserik	C24:0	0.1	0.7	-	0.04	0.11
Nervonik	C24:1	-	1.6	-	-	0.4
ΣBilinmeyen		-	3.0	-	1.0	-
ΣDoymuş		15.3	5.2	65.52	26.29	7.56
ΣTDYA		25.6	78.4	33.72	58.41	64.95
ΣÇDYA		59.1	13.4	0.76	14.3	27.49

^a [150].

^b [151].

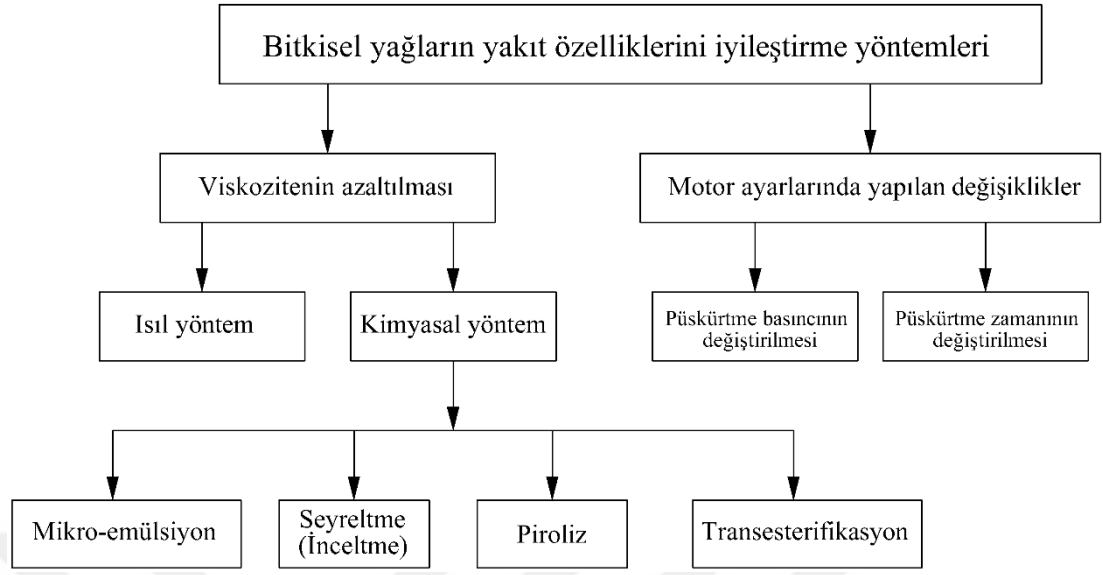
^c [152].

^d Atık kızartma yağı [153].

^e [154].

Yüksek viskozite değerleri ile yakıtın atomizasyonunun kötüleşmesi neticesinde kaliteli hava-yağ karışımı oluşamamakta ve eksik yanma meydana gelmektedir. Yüksek viskozite ve düşük uçuculuk soğuk hava şartlarında ilk hareket zorluğuna, alev sönmesine ve tutuşma gecikme süresinin uzamasına neden olmaktadır [158].

Bitkisel yağların dizel motorlarda yakıt olarak kullanılabilmesi için motor ayarlarında birtakım değişiklikler yapılması ve yağın viskozitesinin düşürülmesi gerekmektedir. Motor ayarlarında püskürtme zamanı ve basıncının değiştirme prosesleri, viskozitenin düşürülmesinde ise ısı ve kimyasal yöntemler uygulanmaktadır (Şekil 2.14.).



Şekil 2.14. Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerinin İyileştirilmesi [159]

Isıl yöntem ile bitkisel yağları ön ısıtma işlemine tabi tutarak sıcaklığının artırılması ile viskozitenin düşürülmesi amaçlanmaktadır. Bu yöntemin hareketli bir araç motorunda uygulanması zor olduğundan kimyasal yöntemler daha fazla tercih edilmektedir. Kimyasal yöntemler ise; mikroemülsiyon, seyreltme (inceltme), piroliz ve transesterifikasyonu olmak üzere dört grup altında incelenmektedir [159, 160].

2.2.3.3.1. Mikroemülsiyon

Mikroemülsiyon; bir yüzey aktif maddenin ara yüzey filmi (anyonik, katyonik ve çift kutuplu) ve yardımcı yüzey aktif madde (kısa zincirli alkol) molekülleri ile stabilize edilmiş yağ ve suyun, saydam veya yarı saydam termodinamik olarak kararlı dağılımıdır [161, 162]. Bu yöntemdeki amaç, metanol, etanol, 1-bütanol gibi kısa zincirli alkollerle mikroemülsiyonlar oluşturarak bitkisel yağların viskozitesini azaltmaktır [163, 164]. Mikroemülsiyonlarda damla çapı 100-1000 Å arasındadır. Bu yöntemle elde edilen yakıtların viskozitelerinde azalma ve püskürtme özelliklerinde iyileşme gibi olumlu sonuçlara ulaşılmasına rağmen, bu yakıtlarda işlem esnasında kullanılan alkollerden kaynaklı setan sayıları ve ısı değerlerinde azalma olduğu gözlemlenmiştir [165, 166].

2.2.3.3.2. Seyreltme (İnceltme)

Bitkisel yağların petrodizel, solvent veya etanol gibi malzemelerle harmanlanarak yapılan işleme seyreltme (inceltme) adı verilmektedir. Petrodizel ile yapılan harmanlama işlemi en çok tercih edilen çalışma şeklidir. Seyreltme işlemi ile bitkisel yağların viskozitesi ve yoğunluğun belirli bir oranda azaltılmaktadır. Bu uygulamada en çok tercih edilen bitkisel yağlar; soya yağı, aspir yağı, ayçiçeği yağı, kolza yağı, yer fıstığı yağı, hurma yağı ve kullanılmış kızartma yağlarıdır [167-169].

2.2.3.3.3. Piroliz

Piroliz işlemi; oksijensiz bir ortamda termal enerji kullanarak organik maddenin daha basit veya daha küçük yapılara ayrışmasıdır. Yüksek verimin elde edildiği termokimyasal bir işlem olan piroliz, biyodizel üretim için ekonomik bir proses değildir. Trigliseritlerin pirolizi ile alkenler, alkanlar, alkadienler, aromatikler ve karboksilik asitler meydana gelmektedir [170, 171].

2.2.3.3.4. Transesterifikasyon

Petrodizele kimyasal olarak benzeyen yağlardan biyodizel üretmek için en uygun yöntem olarak transesterifikasyon yöntemi düşünülmektedir. Bu yöntem sayesinde, hammadde olarak kullanılan yağlar (trigliseritler), viskozitesi dizel yakıt seviyelerine yakın değere düşürülmüş olan alkil esterlerine dönüştürülmektedir [172]. Bu yöntem ile ilgili kapsamlı bilgi bir sonraki alt başlıkta detaylı olarak verilmektedir. Biyodizel üretiminde kullanılan kimyasal yöntemlerin avantajları, dezavantajları ve bu metotlarla üretilen yakıtın motorda kullanımı sonucu oluşan problemler ile ilgili bilgiler Tablo 2.6'da verilmiştir.

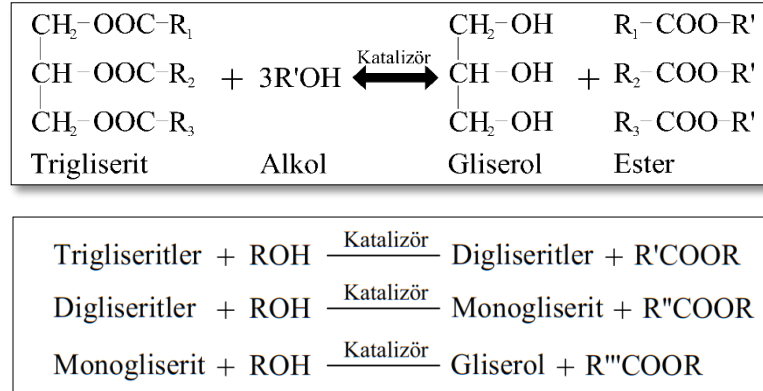
2.2.3.4. Transesterifikasyon Reaksiyonu

Transesterifikasyon reaksiyonu genel olarak bir esterin başka bir esterden üretilme işlemidir. Biyodizel açısından incelendiğinde ise, büyük ölçüde trigliseritlerden meydana gelen bitki yağının, bir katalizör varlığında, bir alkol ile reaksiyona girerek esterlere ve gliserole dönüşmesidir. Transesterifikasyon birkaç ardışık ve geri dönüşümlü reaksiyondan oluşmaktadır. Trigliseritler; kademeli olarak digliseritlere,

Tablo 2.6. Biyodizel Üretim Yöntemlerinin Karşılaştırılması [166, 173]

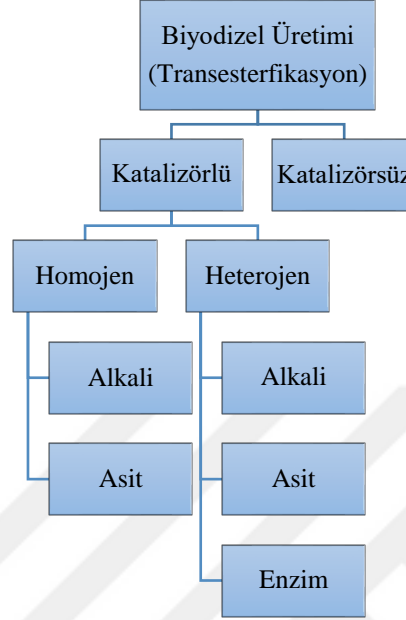
Metot	Avantaj	Dezavantaj	Motorda Kullanım Problemleri
<i>Mikroemülsiyon</i>	Düşük yakıt viskozitesi, işlem kolaylığı, yanma sırasında daha iyi püskürtme desenleri, kirlilik içermemesi	Düşük enerji içeriği, düşük setan sayısı	Enjektör iğnesinin sıkışması; eksik yanma, ağır karbon birikintileri; yağlama yağı viskozitesinde artış
<i>Seyreltme (İnceltme)</i>	Herhangi bir kimyasal işlem gerektirmemesi (kirlenici olmayan), teknik değişikliklere gerek duyulmaması, uygulamasının kolay olması, taşınabilirlik, doğal sıvı, ısı içeriği (yaklaşık petrodizelin %80'i kadar), yenilenebilir	Yüksek viskozite, kararsız, düşük uçuculuk, bitkisel/hayvansal yağdaki artış sonucu uygun olmayan püskürtme modeli, kötü atomizasyon, eksik yanma, konvansiyonel motorlarda kullanım zorluğu	Karbon birikintileri, segman halkası yapışması; yağlama yağının kalınlaşması ve jelleşmesi
<i>Piroliz</i>	Benzin ve petrodizele kimyasal benzerlik, kolay ve etkili işlem, yıkama, kurutma yada filtreleme proseslerinin gerekli olmaması, çevreci	Gerekli yüksek sıcaklıktan kaynaklı maliyetin yüksek olması, pahalı ekipman, düşük saflıkta biyodizel üretimi, kül ve karbon kalıntıları dahil heterojen moleküller içermesi	-
<i>Transesterifikasyon</i>	Yenilenebilirliği, nispeten düşük maliyetli yüksek dönüşüm, hafif reaksiyon koşulları, yüksek setan sayısı, düşük emisyon, ürün özelliklerinin petrodizele yakın olması, endüstriyel boyutta üretime uygulanabilirliği	Hammadde de düşük serbest yağ asitleri ve su içeriğinin olması, kapsamlı ayırma ve temizleme adımları (üründen gliserol ve suyun ayrılma zorluğu), oluşabilecek yan reaksiyon olasılıkları, büyük miktarda atık su üretimi	-

monogliserite ve son olarak gliserole dönüştürülmektedir. Her aşamada bir mol ester serbest bırakılmaktadır (Şekil 2.15.) [120, 174].

**Şekil 2.15.** Transesterifikasyon Reaksiyonu [173, 175]

Alkoliz olarak da bilinen transesterifikasyon, avantajları nedeniyle biyodizel üretiminde en yaygın kullanılan üretim metodudur [176-178]. Transesterifikasyon işleminde klasik (konvansiyonel) ısıtma, süperkritik ısıtma ve mikrodalga ısıtma olmak üzere üç çeşit ısıtma şekli bulunmaktadır [179]. Şekil 2.16'da

transesterifikasyon yöntemi kullanılarak biyodizel üretim sınıflandırılması gösterilmektedir.



Şekil 2.16. Biyodizel Üretiminin Sınıflandırılması [179]

Üretim bazında düşünüldüğünde katalizörlü ve katalizörsüz olmak üzere genel olarak iki yöntem vardır. Katalizörsüz yöntemde sıcaklık 250 °C ve üstünde gerçekleşirken, katalizörlü ortamda daha düşük sıcaklıklar kullanılmaktadır. Katalizörlü reaksiyonlarda homojen (alkali, asidik) ve heterojen (alkali, asidik ve enzim) katalizörler kullanılırken, katalizörsüz üretim prosesinde ise ko-solvent veya süperkritik yöntemler değerlendirilmektedir [180].

2.2.3.5. Transesterifikasyon Reaksiyonuna Etki Eden Parametreler

Biyodizel üretiminde transesterifikasyon süreci üretim verimliliği ve maliyetinde etkili olması nedeniyle önemli bir yere sahiptir. Katalizör çeşidi ve miktarı, SYA ve su içeriği, alkol türü ve miktarı, reaksiyon sıcaklığı, reaksiyon süresi ve karıştırma hızı parametreleri transesterifikasyon reaksiyonunun bütünlüğü ve etkinliği üzerinde farklı etki derecelerine sahiptir. Maliyet ve ürün verimliliği açısından, bu parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerini analiz etmek ve uygun optimizasyon metodolojisini uygulamak gereklidir [181, 182].

2.2.3.5.1. Katalizör Çeşidi ve Miktarının Etkisi

Biyodizel optimizasyon çalışmalarında katalizör çeşidi ve miktarının seçimi, maksimum verim veya uygun dönüşüm oranının elde edilmesinde transesterifikasyon reaksiyonu için önemli bir parametredir [183]. Üretim esnasında katalizör miktarlarının yüksek oranlarda veya düşük miktarlarda seçilmesi ürün verimini düşürmektedir. Optimizasyon çalışmaları ile uygun (optimum) bir değer belirlenmektedir. Yüksek miktarda katalizör kullanılması durumunda, yağdaki SYA'lar katalizörle reaksiyona girdiğinden sabunlaşma meydana gelmekte ve böylece reaktanların viskozitesi artarak ürün verimi düşmektedir. Düşük miktarlarda katalizör seçiminde ise, reaksiyon tamamlanamaz ve ham biyodizel (ester) elde edilemez [184, 185]. Transesterifikasyon işleminde kullanılan katalizörler homojen, heterojen ve enzimler (biyokatalizör) olmak üzere genellikle 3 grupta sınıflandırılabilir. Homojen ve heterojen katalizörler ise alkali ve asit şeklinde ayrılabilir [186].

Homojen alkali katalizörlü transesterifikasyon:

Homojen alkali (bazik) katalizörlü transesterifikasyon reaksiyonu sunduğu bazı avantajlarla biyodizel üretim teknikleri içerisinde yaygın ve öne çıkan bir yöntemdir [187]. En yaygın bilinen katalizör çeşitleri; alkali metal hidroksitleri (NaOH, KOH, vb.), alkoksitler (CH₃ONa, CH₃OK vb.) ve karbonatlardır. Reaksiyonu katalize etmek için, hidroksitlerin ön aşamadan geçirilmesi ve aktif bir katalizör haline getirilmesi gerekmektedir [188, 189]. Sodyum hidroksit (NaOH) ve potasyum hidroksit (KOH) alkali katalizörlü bir transesterifikasyonda yaygın olarak kullanılan katalizörlerdir. Bu iki katalizörün tercih edilme nedenleri aşağıdaki maddeler halinde sıralanabilir [190]: (i) düşük sıcaklık ve basınç altında reaksiyonu hızlandırmaları, (ii) kullanılan reaksiyonda kısa sürede yüksek verim veya dönüşüm elde edilmesi, (iii) bol ve ucuz olmaları. NaOH ve KOH dışında tercih edilen diğer alkali katalizörler; potasyum metoksit (KOCH₃), sodyum metoksit (NaOCH₃) ve sodyum etoksit NaOCH₂CH₃ şeklindedir [191].

Homojen asit katalizörlü transesterifikasyon:

Homojen asit katalizörler, SYA'ların esterleşmesi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu katalizörlerin en büyük avantajlarından biri, düşük nem hassasiyetine sahip olmaları ve sabun oluşumu meydana getirmemeleridir. İç yağı, atık yemeklik yağlar,

bazı bitkisel yağlar vb. yüksek SYA içeriği yüksek olan hammaddelerin transesterifikasyon işleminde, sabun oluşumu önlemek amaçlı alkali katalizörler yerine asit katalizörleri kullanılabilir [188]. Günümüzde yapılan çalışmalarda, sülfürik asit (H_2SO_4), sülfonik asit (H_2O_3S), hidroklorik asit (HCl), organik sülfonik asit, ferrik sülfat ($Fe_2O_{12}S_3$), vb. asit katalizörler en çok çalışılan homojen asit katalizörleridir [192].

Heterojen katalizörlü transesterifikasyon:

Son zamanlarda homojen katalizör ile ilgili problemleri ortadan kaldırmak için heterojen katalizörler üzerinde bir takım çalışmalar yapılmaktadır [192]. Biyodizel üretim aşamalarında kullanılan alkali zeolitler, toprak alkali metal oksitler ve hidrotalsitler en çok tercih edilen heterojen katalizör çeşitleridir. Bunlar arasında toprak alkali metal oksitlerin bir ürünü olan kalsiyum oksit (CaO); yüksek baziklik, kolay bulunabilirlik, metanolde düşük çözünübilirlik ve maliyet verimliliği nedeniyle öne çıkmaktadır [193].

Heterojen alkali katalizörlerin yanı sıra, heterojen asit katalizörlerde aynı problemleri gidermek amaçlı kullanılabilirler. Zirkonyum oksit (ZrO_2), titanyum oksit (TiO_2), kalay oksit (SnO_2), heteropoli asitler (HPA'lar), asit zeolitleri ve kombinasyonları ($ZrO_2-Al_2O_3$, SO_4^{2-}/SnO_2) vs. en çok tercih edilen çeşitleridir [193].

Enzim katalizörlü transesterifikasyon:

Arıtma işleminin kolay olması ve sabunlaşma olayının gerçekleşmemesi avantajlarından dolayı enzim katalizörler son yıllarda büyük ilgi görmektedir. Bununla birlikte; yüksek maliyetli (daha uzun reaksiyon süreleri ve enzim fiyatı), yavaş reaksiyon oranı, düşük reaksiyon verimi ve enzim deaktivasyonu nedenleriyle ticari olarak çok tercih edilmemektedirler [191, 194].

Farklı yağların transesterleştirilmesinde kullanılan farklı katalizör çeşitleri için reaksiyon koşullarının ve performansın karşılaştırılması Tablo 2.7'de, transesterifikasyon reaksiyonunda kullanılan farklı katalizör çeşitlerinin avantaj ve dezavantajları ise Tablo 2.8'de verilmiştir

Tablo 2.7. Farklı Katalizör Çeşitleri İçin Reaksiyon Koşullarının Karşılaştırılması

Hammadde	Katalizör		Reaksiyon şartları						Referans	
	Sınıfı	Çeşidi	Katalizör	Alkol çeşidi ve alkol yağ molar oranı	Reaksiyon sıcaklığı (°C)	Reaksiyon Süresi (dak.)	Biyodizel verimi (%)			
			Miktarı (ağ. %)							
Soya fasulyesi	Homojen	NaOH	1,3	Etanol	9:1	40	80	95	[195]	
<i>Calophyllum inophyllum</i>		KOH	1,0	Metanol	9:1	55	60	98,53	[196]	
<i>Sesamum indicum</i> L.		NaOCH ₃	0,75	Metanol	6:1	50	30	87,8	[197]	
Ayçiçek		HCl	1,85	Metanol	-	100	60	95,2	[198]	
<i>Chlorella pyrenoidosa</i>		asit	H ₂ SO ₄	0,5	Metanol	40:1	120	180	92,5	[199]
Palm	Heterojen	alkali	Yumurta kabuğu	10	Metanol	15:1	60	120	94,1	[200]
Yer fıstığı		alkali	Kemik	18	Metanol	20:1	60	240	94	[194]
Neem		asit	S-ZrO ₂	1,0	Metanol	9:1	65	120	95	[201]
Kolza		asit	TiO ₂ /ZrO ₂	11	Metanol	40:1	245	-	65	[202]
Babassu	Enzim	İmmobilize lipaz	-	Etanol	12:1	50	660	69	[203]	

Tablo 2.8. Farklı Katalizör Çeşitlerinin Avantaj ve Dezavantajları [192, 193]

Katalizör Çeşidi	Örnek	Avantaj	Dezavantaj
Homojen katalizörler	Alkali	<ul style="list-style-type: none"> • Çok hızlı reaksiyon hızı - Asit katalizörlü transesterifikasyondan 4000 kat daha hızlı • Reaksiyonun, hafif reaksiyon koşullarında ve daha az enerji yoğunluğunda oluşabilmesi • Daha az korozyon • Katalizörlerin özellikle NaOH ve KOH'un ucuz ve bol olması 	<ul style="list-style-type: none"> • Sabunlaşmış ürün ve emülsiyon oluşumu • Yağdaki SYA içeriğine duyarlı olması • Saflaştırma sonucu fazla miktarda atık su üretimi • Dönüşümsüz • Ortam havaya bırakıldığında katalizör zehirlenmesine maruz kalma
	Asit	<ul style="list-style-type: none"> • Reaksiyonun; hafif koşullarda ve daha az enerji yoğunluğunda oluşabilmesi • Yağdaki SYA ve su içeriğine duyarlılık • Esterleşme ve transesterleşmenin aynı anda gerçekleşebilmesi • Düşük dereceli yağ kullanıldığında tercih edilebilen bir yöntem olması 	<ul style="list-style-type: none"> • Katalizörün üründen ayrılma problemi ve yüksek saflaştırma maliyeti • H₂SO₄ gibi aşındırıcı katalizörler reaktör ve boru hatlarında korozyona neden olabilmesi • Çok yavaş reaksiyon hızı
Heterojen katalizörler		<ul style="list-style-type: none"> • Çevre dostu • Daha az boşaltma ve ayırma problemi • Geri dönüşüm • Yüksek saflıkta gliserol • Düşük ayırma maliyeti 	<ul style="list-style-type: none"> • Liçing etkileri ile kirlenmenin meydana gelmesi • Katalizör hazırlama işleminin karmaşık olması • Alkali türlerinde; sabunlaşma oluşumu, SYA karşı duyarlılık, katalizör zehirlenmesine maruz kalma • Asit türlerinde; yüksek reaksiyon sıcaklığı, yüksek alkol / yağ molar oranı ve uzun reaksiyon süresi gerektirmesi, enerji yoğunluğunun yüksek olması
Enzim Katalizörler		<ul style="list-style-type: none"> • Sabunlaşmanın olmaması • Çevre dostu • Düşük ayırma maliyeti • Ayırma probleminin olmaması • Yüksek saflıkta gliserol ve biyodizel ürünleri 	<ul style="list-style-type: none"> • Asit katalizörlü transesterifikasyondan çok daha yavaş reaksiyon hızı • Genellikle, enzimi deaktive edebilen metanole karşı duyarlı olması • Enzim ücretlerinin yüksek olması

2.2.3.3.2. Alkol Çeşidi ve Miktarının Etkisi

Alkol çeşidi ve miktarı biyodizel üretiminde önemli parametrelerden biridir. Bazı çalışmalarda, alkol miktarı yerine yağ: alkol molar oranı şeklinde ifade edilmektedir. Metanol, etanol, propanol (veya izo-propanol), bütanol (ve tert-butanol), pentanol (amil alkol) ve oktanol biyodizel üretimi için uygun alkollerdir. Metanol ve etanol diğerlerine göre daha çok tercih edilmektedir; özellikle fiziksel ve kimyasal avantajları (ör. polar ve en kıza zincirli alkol), düşük maliyeti ve geniş bulunabilirliği nedeniyle metanol daha sık kullanılmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda, etanole olan ilgi artmıştır. Metanol ile karşılaştırıldığında; daha ucuz ve yenilenebilir olma avantajları, daha az reaktif ve genellikle düşük biyodizel verimi sağlama gibi dezavantajları bulunmaktadır. Ayrıca, etanolün esterden uzaklaştırılması zordur çünkü etanol belirli bir kütleyle ulaştığında su ve etanol azeotrop bileşik oluşturmaktadır [163, 204, 205]. Etil esterlerin verimi reaksiyon karışımındaki suyun varlığına büyük ölçüde bağlıdır. Etil ester üretiminde, etanol ve gliserolün ayrışmasını zorlaştıran kararlı emülsiyonlar oluşmaktadır. Mono- ve diglisertlerin yanı sıra bitkisel yağlarda SYA'nın sabunlaşma sonucu oluşan sabunların varlığı, esterlerin ayrılmasını ve saflaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Diğer kısa zincirli alkoller (propanol, bütanol, pentanol) biyodizel sentezi için kullanılabilir, ancak alkol fiyatlarının yüksek olması, karmaşık ve pahalı alkoliz koşulları bu alkollerin biyodizelde pratik uygulamalarını uygun bir hale getirmemektedir [206].

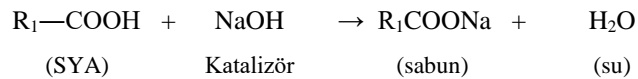
Transesterifikasyon reaksiyonlarında alkol:yağ stokiyometrik molar oranının 3:1 olduğu bilinmektedir, ancak trigliserit ve alkol molekülü arasındaki teması ve karıştırılabilirliği arttırmak için daha fazla stokiyometrik orana sahip olması gerekmektedir. Metanol ile yapılan birçok çalışma sonucunda araştırmacılar en uygun alkol:yağ molar oranının 6:1 olduğunu ifade etmektedirler [175, 205, 207]. Bu oran; yağın asitliğine, alkol çeşidine ve katalizöre bağlı olarak değişebilir. Molar oranın aşırı kullanılması durumunda, gliserol ve ester ayrışmaya zorlanmakta ve bir miktar gliserol çözünürlükte kalmaktadır. Bu durum reaksiyonun yönünü girenlere doğru kaydırmakta ve reaksiyonun verimi düşmektedir [208, 209].

2.2.3.3.3. Serbest Yağ Asidi ve Su Miktarının Etkisi

Bitkisel yağlar ve hayvansal yağlar genel olarak hidrofobik özelliklere sahiptir, yani suda çözünmezler. Bu yağların çözücü ekstraksiyonu veya mekanik pres yoluyla elde edilmesi sürecinde serbest yağ asitleri, steroller ve su gibi istenmeyen bileşiklere sahip olmaktadır. SYA ve su içeriği, alkali katalizörlü transesterleşme işleminde ester verimini ve gliserit dönüşümünü önemli ölçüde etkileyebilmektedirler. Ayrıca, sabunlaşma nedeniyle, su ile yıkama (saflaştırma aşaması) sırasında ester ve gliserolün ayrılmasına da engel olmaktadır [193, 210].

Yağlardan çıkan veya sabunlaştırma reaksiyonu sırasında oluşan su hidroliz reaksiyonu boyunca transesterifikasyon reaksiyonunu geciktirmektedir [211]. Jung [212] yaptığı doktora tez çalışmasında, tüm reaksiyon malzemelerinin % 0,3'ten daha az su içeriğine sahip olması gerektiğini ifade etmiştir. Helwani ve ark. [213] ve Zullaikah ve ark. [214] reaksiyonda kullanılan yağın su içeriğinin %0,06'nın üstünde olmaması gerektiğini söylemişlerdir. Ortaya çıkan su ile kullanılan katalizörün reaksiyonu sonucu ürün verimliliğini düşüren sabunlaşmalar meydana gelmektedir. Meydana gelen sabunlar; jelleşme, gliserolün ayrışmaması ve viskozite artışı gibi problemler oluşturmaktadır [163].

Yağın asitliği ya da SYA değeri ne kadar yüksek olursa, transesterifikasyondaki dönüşüm ve verim o kadar düşük çıkmaktadır. Ham yağın SYA değerinin yüksek çıkması durumunda SYA'yı nötralize etmek gerekmektedir. Alkali katalizör ve FFA arasındaki reaksiyon, katalizör tüketiminin yanı sıra sabun oluşumu ve su ile sonuçlanmaktadır [210]. Şekil 2.17'de sabun ve su oluşturan katalizör (sodyum hidroksit) ve SYA'nın sabunlaşma reaksiyonu gösterilmektedir. Tablo 2.9'da alkali katalizörlü transesterifikasyon yöntemi için önerilen SYA değerleri sunulmuştur.



Şekil 2.17. Sabun Oluşum Reaksiyonu [211]

Tablo 2.9. Alkali Katalizörlü Transesterifikasyon Yöntemi İçin Önerilen SYA Değerleri

Tavsiye edilene SYA içeriği (% ağırlıkça)	Referans
<0,5	[215-217]
≤0,5	[218]
<1	[219]
≤1	[220-222]
<2	[223]
≤2	[224]
<3	[225]

2.2.3.5.4. Reaksiyon Sıcaklığının Etkisi

Biyodizel verimini ve transesterifikasyon işleminin hızını etkileyen parametrelerden biri de reaksiyon sıcaklığıdır. Yüksek reaksiyon sıcaklıkları, yağın viskozitesini azaltabilmektedir, ancak alkolün buharlaşmasını önlemek için tercih edilen sıcaklık alkolün kaynama noktasından düşük olmalıdır. Ayrıca, alkolün kaynama noktasının üzerindeki sıcaklıklarda, gliseritlerin sabunlaşma oranları düşük sıcaklıklara göre daha yüksektir. Bunun yanı sıra, yüksek sıcaklıklarda yapılan denemelerde gereksiz enerji harcanmasına neden olmaktadır. Metanol ile yapılan çalışmalarda, araştırmacıların çoğunluğu uygun reaksiyon sıcaklığının metanolün kaynama noktasına yakın sıcaklık değerleri olduğunu belirtmişlerdir [226-228]. Şanlı ve Çanakçı [156] çalışmalarında, farklı alkoller kullanılarak yapılan deneylerde kullandıkları alkollerin kaynama noktalarına yakın sıcaklıklar olan 60 °C (metanol), 75 °C (etanol), 77 °C (2-propanol) ve 110 °C (1-butanol) sıcaklık değerlerini denemişlerdir. Silva ve ark. [229], Filho ve ark. [230], Valle ve ark. [231] oda sıcaklığı ve etanolün kaynama noktasına yakın sıcaklıkları kullanarak optimizasyon çalışmaları yapmışlardır. Etanol kullanarak yaptıkları çalışmalar neticesinde, en yüksek biyodizel verimlerinin düşük reaksiyon sıcaklıklarında olduğunu tespit etmişlerdir.

2.2.3.5.5. Reaksiyon Süresinin Etkisi

Reaksiyon süresi ile biyodizel verimi belirli bir noktaya kadar doğru orantılıdır. Transesterifikasyonun ilk birkaç dakikasında, alkolün yağ ile reaksiyonu yavaştır. Reaksiyonun ilk beş dakikadan sonra hızlandığı görülmektedir [163]. İlk yarım saatte reaksiyon dönüşümü %80 olarak gerçekleştiği ve reaksiyon süresinin başlamasından yaklaşık bir saat sonra dönüşümde önemli bir artış olmadığı tespit edilmiştir [232]. Ayrıca, aşırı reaksiyon süresi transesterifikasyonun ters reaksiyonundan dolayı ürün

veriminde bir kayba neden olmaktadır. Bu durum, ester miktarının azalması ile birlikte sabun üretmek için yağ asitlerini meydana getirmektedir [233].

2.2.3.5.6. Karıştırma Hızının Etkisi

Bitkisel yağın, alkali katalizör-alkol çözeltisi ile transesterifikasyon reaksiyonunun hızı, gliserol-alkol ve yağ-ester fazları ara yüzeyindeki kütle transfer hızına bağlıdır. Yağ ile alkol arasındaki teması arttırmak için bu iki besleme stoğu arasında yeterli bir karışım gerekli olmaktadır. Kısmen yavaş bir işlem olan transesterifikasyon prosesinde, karışım hızının etkisinin önemli bir rol oynadığı belirlenmiştir. Faz ayrılması bittiğinde, karıştırma önemsiz hale gelmektedir. Karışımın hızı veya yoğunluğu, transesterifikasyon işlemindeki gerekliliğine bağlı olarak değişebilmektedir. Yüksek kinematik viskoziteye sahip bitkisel yağlar ile alkol-katalizör karışımı arasındaki gerçekleşen kütle transferinin istenilen bir şekilde gerçekleşebilmesi için karıştırma hızı artırılmalıdır [188, 234, 235].

2.2.4. Biyodizelin Yakıt Özellikleri ve Standartlar

Biyodizel kalitesinin değerlendirilmesi, elde edilen yakıtların kimyasal kompozisyon ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi ile sağlanmaktadır. Hammadde yağ asidi kompozisyonu, üretim süreci (reaksiyon ve saflaştırma adımları), depolama ve sevk işlemleri gibi birçok faktör biyodizel yakıt kalitesini etkileyebilmektedir. Kullanılan mevcut dizel motorlarının çoğunun petrodizelle çalıştırılmak üzere tasarlandığı gerçeği göz önüne alındığında, biyodizelin yakıt özellikleri petrodizele benzer olmalıdır. Uygulamaya bağlı olarak biyodizel, motor ve ısıtma yakıtları olmak üzere iki enerji amacı için kullanılabilir. Genel olarak diğer standartlara referans teşkil eden motor yakıtları için başlıca biyodizel standartları ASTM D 6751 ve EN 14214 şeklindedir [236, 237].

Biyodizelin özellikleri birden fazla ölçüt ile gruplandırılabilir. Bunların içerisinde en önemlileri; motorda gerçekleşen süreçleri ve olayları etkileyenler (tutuşma kalitesi, yakıt-hava karışımının oluşumu ve yanması, egzoz gazı oluşumu, kalitesi ve ısıtma değeri, motorun kolay çalıştırılabilmesi vb.), soğuk akış özellikleri (bulutlanma noktası, soğuk filtre tıkanma noktası ve akma noktası), taşıma ve depolama (oksidasyon ve hidrolitik kararlılık, parlama noktası, indüksiyon süresi, mikrobik bulaşma, filtre

edilebilir limit sıcaklığı vb.), ve motor parçalarının aşınması (yağlayıcılık, temizleme etkisi, viskozite, yakıt sistemini üretmek için kullanılan malzemelere olan uyumluluk) şeklinde ifade edilebilmektedir [236].

Yukarıda belirtilen özellikler için belirlenen aralıklar ya da sınırlamalar ASTM (Amerika Standart Test Yöntemleri) ve EN (Avrupa Standartları) tarafından belirlenmiştir. Ülkemizde biyodizel için TSE EN 14214 (Tablo 2.10.) ve petrodizel için TS EN 590 (Tablo 2.11.) standartları kullanılmaktadır. Biyodizel üretiminde dünyada söz sahibi olan Amerika'da ise ASTM D 6751 (Tablo 2.12.) standardı kullanılmaktadır.

Tablo 2.10. TS EN 14214 Biyodizel Standardında Uygulanabilir Gereksinimler ve Test Yöntemleri [238]

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney yöntemi
		En az	En çok	
Ester içeriği	%(m/m)	96,5	-	EN 14103
Yoğunluk, 15°C'de	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675, EN ISO 12185
Viskozite, 40°C'de	mm ² /s	3,50	5,00	EN ISO 3104
Parlama noktası	°C	101	-	EN ISO 2719, EN ISO 3679
Kükürt içeriği	mg/kg	-	10,0	EN ISO 20846, EN ISO 20884, EN ISO 13032
Setan sayısı		51	-	EN ISO 5165
Sülfatlanmış kül içeriği	%(m/m)	-	0,02	ISO 3987
Su içeriği	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	EN 12662
Bakır şerit korozyonu, 50°C'de 3 saat	Derece	Sınıf 1		EN ISO 2160
Oksidasyon kararlılığı, 110°C'de	saat	8,0	-	prEN 15751, EN 14112
Asit sayısı	mg KOH/g	-	0,50	EN 14104
İyot sayısı	g iyot/100 g	-	120	EN 14111, EN 16300
Linolenik asit metil esteri	%(m/m)	-	12,0	EN 14103
Çoklu doymamış (>=4 çift bağ) metil esterleri	%(m/m)	-	1,0	EN 15779
Metanol içeriği	%(m/m)	-	0,20	EN 14110
Monogliserit içeriği	%(m/m)	-	0,70	EN 14105
Diğliserit içeriği	%(m/m)	-	0,20	EN 14105
Trigliserit içeriği	%(m/m)	-	0,20	EN 14105
Serbest gliserol	%(m/m)	-	0,02	EN 14105, EN 14106
Toplam gliserol	%(m/m)	-	0,25	EN 14105
Grup I (Na+K) metaller	mg/kg	-	5,0	EN 14108, EN 14109, EN 14538
Grup II (Ca+Mg) metaller	mg/kg	-	5,0	EN 14538
Fosfor içeriği	mg/kg	-	4,0	EN 14107, EN 16294

Tablo 2.11. ASTM D6751 Biyodizel Standardında Uygulanabilir Gereksinimler ve Test Yöntemleri [239]

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney yöntemi	
		En az	En çok		
Kükürt	S15	mg/kg	-	15	D5453
	S500	mg/kg	-	500	D5453
Soğuk halde filtrelenebilme		saniye	-	200	D7501
Monogliserit		% (m/m)	-	0,40	D6584
Grup II (Ca+Mg) metalleri		mg/kg	-	5	EN 14538
Parlama noktası		°C	93	-	D93
Alkol Kontrolü	Metanol içeriği	% (m/m)	-	0,2	EN 14110
(Bir tanesi karşılanmalıdır)	Parlama noktası	°C	130	-	D93
Su ve tortu		% (v/v)	-	0,05	D2709
Kinematik viskozite, 40°C'ta		mm ² /s	1,9	6,0	D445
Sülfatlanmış kül içeriği		% (m/m)	-	0,02	D874
Bakır şerit korozyon		Derece		No.3	D130
Setan sayısı			47	-	D613
Bulutlanma noktası		°C		Bölgesel	D2500
Karbon kalıntısı		% (m/m)	-	0,05	D4530
Asit sayısı		mg KOH/g	-	0,50	D664
Serbest gliserol		% (m/m)	-	0,020	D6584
Toplam gliserol		% (m/m)	-	0,240	D6584
Fosfor içeriği		% (m/m)	-	0,001	D4951
Distilasyon sıcaklığı (%90 Geri Kazanım)		°C	-	360	D1160
Grup I (Na+K) metalleri		mg/kg	-	5	EN 14538
Oksidasyon kararlılığı		saat	3	-	EN 15751

Tablo 2.12. TS EN 590 Petrodizel Standardında Uygulanabilir Gereksinimler ve Test Yöntemleri [240]

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney yöntemi
		En az	En çok	
Setan sayısı		51	-	EN ISO 5165, EN 15195, EN 16144
Setan indisi		46	-	EN ISO 4264
Yoğunluk, 15°C'de	kg/m ³	820	845	EN ISO 3675, EN ISO 12185
Polisiklik aromatik hidrokarbonlar	% (m/m)	-	8	EN 12916
Kükürt içeriği	mg/kg	-	10	EN ISO 20846, EN ISO 20884, EN ISO 13032
Mangan içeriği	mg/L		6,0	prEN 16576
Parlama noktası	°C	55	-	EN ISO 2719
Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	% (m/m)	-	0,30	EN ISO 10370
Kül içeriği	% (m/m)	-	0,01	EN ISO 6245
Su içeriği	mg/kg	-	200	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	EN 12662
Bakır şerit korozyonu, 50°C'de 3 saat	Derece		Sınıf 1	EN ISO 2160
Oksidasyon kararlılığı	g/m ³ h	-	25	EN ISO 12205
		20	-	EN 15751
Yağlama özelliği, düzeltilmiş aşınma izi çapı (wsd 1.4), 60°C'de	µm	-	460	EN ISO 12156-1
Viskozite, 40°C'de	mm ² /s	2	4,5	EN ISO 3104
Damıtma				
250°C'de elde edilen, %(v/v)	% (v/v)	-	<65	EN ISO 3405
350°C'de elde edilen, %(v/v)	% (v/v)	85	-	EN ISO 3924
%95'in (v/v) elde edildiği sıcaklık	°C	-	360	
Yağ asidi metil esteri (YAME) içeriği	% (v/v)	-	7	EN 14078
Soğuk filtre tıkanma noktası	°C	-15 (Kış)		EN 116
		+5 (Yaz)		EN 16329

3. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Çalışmanın hammaddelerinden biri olan SHY (*Brassica nigra* L.) lahanagiller (Brassicaceae) familyası üyelerinden ve içerdiği yüksek erusik asit sebebiyle yemeklik olmayan yağlardan biridir. Bu hususlar dikkate alındığında, yapılan kaynak araştırması ağırlıklı olarak Brassicaceae familyasına üye olan yağlardan ve bununla birlikte gıda niteliği olmayan yağlardan elde edilen biyodizellerin optimizasyon, yakıt özellikleri, motor performans ve egzoz emisyon test çalışmaları üzerine incelemeler yapılmıştır. Bununla birlikte, dünyada en fazla biyodizel üretiminde kullanılan palm ve soya fasulyesi ile ilgili biyodizel çalışmalarına değinilmiştir. Bu bölümün ilk aşamasında yukarıda bahsi geçen yağların biyodizel üretim optimizasyon çalışmalarına, bir sonraki aşamada elde edilen biyodizellerin yakıt özellikleri tespitine ve en son aşamada ise yakıtların motor performans ve egzoz emisyon test çalışmalarına yer verilmiştir.

Araştırmalar neticesinde, biyodizel üretiminde kullanılan kimyasallar içerisinde en sık tercih edilenleri; alkol için metanol ve etanol, katalizör için NaOH ve KOH şeklinde olduğu gözlemlenmiştir. Brassica türlerinden elde edilen yağlar kullanılarak biyodizel üretiminin yapıldığı, optimizasyon çalışmalarının gerçekleştirildiği ve yakıt özelliklerinin incelendiği birçok çalışma bulunmaktadır. Transesterifikasyon parametrelerinin (katalizör çeşidi ve miktarı, alkol çeşidi ve yağ molar oranı, reaksiyon sıcaklığı ve süresi) ve optimum reaksiyon koşullarını içeren birçok farklı Brassica türüne ve palm, soya, jatropha curcusa ait çalışmalar Tablo 3.1’de, yine bu türlerden elde edilen biyodizellerin kinematik viskozite, yoğunluk, su içeriği, ısıl değer soğuk akış özellikleri, parlama noktası vb. yakıt özelliklerinin bulunduğu çalışmaların özeti ise Tablo 3.2’de verilmiştir. Brassica türlerinin optimizasyonu ile ilgili birçok çalışma olduğu görülmesine rağmen SHY ile ilgili çalışma eksikliği vardır. Ayrıca literatürde, iki farklı alkol ve katalizörün karşılaştırmasının bulunduğu oldukça az kaynağa rastlanmıştır.

Tablo 3.1. Hammadde Olarak Farklı Brassica Türleri, Palm, Soya, Jatropha Curcas Yağları Kullanılarak Hazırlanan Biyodizellerin Üretim ve Optimizasyon Parametrelerinin İncelenmesi

Üretim işlem parametreleri								Optimum reaksiyon koşulları					Ref.
Yağ çeşidi	Katalizör çeşidi ve miktarı (yağa göre % w/w)		Alkol çeşidi ve yağ molar oranı		Reaksiyon sıcaklığı (°C)	Reaksiyon süresi (dak)	Optimizasyon tekniği	Katalizör çeşidi ve miktarı (yağa göre % w/w)	Alkol çeşidi ve yağ molar oranı	Reaksiyon sıcaklığı (°C)	Reaksiyon süresi (dak)	Verim (%)	
Siyah hardal (<i>B.Nigra</i>)	KOH	0,3-1.5	Etanol	4:1-12:1	40-80	30-120	Klasik	KOH-0,9	Etanol-8:1	60	60	94	[241]
Sarı hardal (<i>S.alba</i>)	NaOH	0,2-1.0	Metanol	2:1-10:1	50-70	30-90	RSM*	NaOH-0,63	Metanol-7.41:1	61,84	62,12	96,695	[242]
	CaO	2, 6, 10	Metanol	6:1-12:1	60	15-90	RSM	CaO-10	Metanol-12:1	60	50	-	[243]
	NaOH-KOH	0,1-0,9	Metanol	2:1-10:1	50-70	15-75	Klasik	NaOH-0,5	Metanol-6:1	65	75	92	[184]
Kahverengi hardal (<i>B.Juncea</i>)	NaOH-KOH CH ₃ ONa CH ₃ CH ₂ ONa CH ₃ ONa	0,25-1,25	Metanol	3:1-9:1	32-70	15-120	Klasik	KOH-0,75	Metanol-6:1	60	45	95,54	[244]
		1,5	Metanol	6:1	60	90	-	-	-	-	-	94	[245]
Yabani hardal (<i>S.arvensis</i>)	NaOH	3,5*	Metanol	20**	55	60	-	-	-	-	-	-	[246]
Kolza (<i>B.Campestris</i>)	KOH	0,89, 1,33	Etanol	6:1,7.5:1	25, 65	90, 120	-	1,33-KOH	Etanol-7.5:1	32	90	98,9	[247]
	KOH	0,25-1,5	Metanol	3:1-21:1	35-65	120	Klasik	1,0-KOH	Metanol-6:1	65	120	95-96	[248]
	NaOH	0,15-1,5	Etanol	3:1-12:1	Oda-100	120	Klasik	1,0-NaOH	Metanol-6:1	80	120	94-95	[249]
Kanola (<i>B.Napus</i>)	KOH	1,0	Etanol	6:1	50	120	-	-	-	-	-	-	[250]
	KOH	0,5-2	Metanol	3:1-10:1	30-60	10-60	Klasik	1,0-KOH	Metanol-8:1	50	60	98	[251]
Etiyopya hardalı (<i>B.Carinata</i>)	KOH	0,5-1,5	Etanol	5:1-7:1	20-32	60	RSM	1,5-KOH	Etanol-7:1	20 32	60	99,5 ^a 91,3 ^b	[252]
	KOH	0,5, 1,5	Metanol	6:1	25, 65	60	RSM	0,5-KOH	Metanol-6:1	25	60	98,37 ^a	[253]
	KOH	0,5-1,707	Metanol	6:1	25-73.284	60	RSM	1,0-KOH	Metanol-6:1	45	60	98,6 ^b	
	KOH	0,896-1,604	Bioetanol	6:1	22.9-37.1	60	RSM	1,5-KOH	Bioetanol-6:1	35	60	98,04	[254]
Soya	NaOH	0,1-1,7*	Etanol	3:1-15:1	40-80	40-120	RSM	1,3-NaOH	Etanol-9:1	40	80	95	[195]
Palm	KOH	0,8-2,0	Metanol	6:1-14:1	40-80	20-120	RSM	1,4-KOH	Metanol-10:1	60	60	93,6	[255]
<i>Jatropha curcas</i>	NaOH	0,0-2,0	Metanol	6:1-12:1	35-55	30-180	RSM	1,0-NaOH	Metanol-11:1	55	110	98,3	[256]

*RSM: Yanıt yüzey metodu
**% w/v
*** % v/v

^a YEBO: Yüksek erusik asitli *B. carinata*
^b DEBO: Düşük erusik asitli *B. carinata*

Tablo 3.2. Hammadde Olarak Farklı Brassica Türleri, Palm, Soya, Jatropha Curcas Yağları Kullanılarak Hazırlanan Biyodizellerin Yakıt Özelliklerinin İncelenmesi

Özellik	Birim	Siyah hardal	Yabani hardal	Sarı hardal	Kahverengi hardal	Etiyopya hardalı	Kolza	Kanola	Soya	Palm	<i>Jatropha curcas</i>
Yoğunluk, 15°C	kg/m ³	899,5	885,5	877,84±0,13	880	810	883	880	913,8	864,42*	879,5
Kinematik viskozite, 40°C	mm ² /s	8,33	5,69	5,413±0,015	5,39	5,10	4,2	5,4	4,039	4,5	4,8
Isıl değer	MJ/kg	43,30	39,48	39,931±0,42	39,95	-	39,3	39,95	39,6	-	39,23
Su içeriği	mg/kg	-	357,81	0,336±0,065	247	100	376	248	<50	-	<50
Parlama noktası	°C	120	170	164	193	-	202,5	202	254	135	135
Asit sayısı	mg KOH/g	0,33	0,043	335,89±3,918	0,03	0,12	0,03	0,03	0,266	0,24	0,4
İyot sayısı	g I ₂ /100 g	105	92	106,26	109	122,41	112	109	128-143	54	104
Sabunlaşma sayısı	mg KOH/g	203	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Setan sayısı	-	-	-	57,23	62,6	-	63	62,8	37,9	54,6	51,6
Bulutlanma noktası	°C	0	7,5	5	11	-	-2	-12	0,9	16	2,7
Soğuk filtre tıkanma noktası	°C	-	-1	0	-3	-	-10	-15	-4	12	0
Akma noktası	°C	-8	-2,5	-18	-21	-	-18	-21	-	15	2
Kükürt içeriği	mg/kg	-	22,01	0,4	9	-	12	10	8000	30	1,2
Oksidasyon kararlılığı, 110°C	sa.	-	-	-	-	-	-	-	2,1	10,3	2,3
Linolenik asit metil ester içeriği	% (m/m)	-	12,8	11,701±0,082	-	-	-	-	-	-	-
Çoklu doymamış metil ester içeriği (≥4 çift bağ)	% (m/m)	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-
Fosfor içeriği	mg/kg	-	0,1	9,254±0,167	0	-	0,5	0,2	<0,1	<10	<0,1
Grup I metaller (Na+K)	mg/kg	-	4,01	56,150	4,6	-	4,5	5,3	-	-	-
Grup II metaller (Ca+Mg)	mg/kg	-	0,65	25,117	1,9	-	4,0	4,3	-	-	-
Renk	-	-	1,9	2,0	-	-	-	-	-	-	-
Bakır şerit korozyon, 50°C, 3 sa.	-	-	1a	1a	-	-	-	-	1a	1a	1a
Referans		[241]	[246]	[242]	[257]	[254]	[258]	[258]	[259]	[259]	[259]

*25°C'de

Eryılmaz [246] doktora tez çalışmasında, yabani hardal (*Sinapis arvensis* L.) yağından elde ettiği biyodizeli ve petrodizel ile hacimsel olarak %2 ve %20 oranlarında harmanladığı yakıtları, 4 zamanlı, 3 silindirli, direkt püskürtmeli, su soğutmalı, 45 kW, Tümosan 3D29T marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, tork, güç ve özgül yakıt tüketim değerlerinin petrodizel göre mukayese edildiğinde, B2 yakıt kullanımı ile değişim saptanmadığı, B20 ve B100 yakıtlarında ise artışlar meydana geldiği tespit edilmiştir. Ayrıca, toplam verimin biyodizel kullanımı ile artış gösterdiği, duman koyuluğunun ise karışım oranı arttıkça azaldığı belirlenmiştir.

Anbumani ve Singh [260] çalışmalarında, siyah hardal (*Brassica nigra* L.) yağından ürettikleri biyodizeli petrodizel ile hacimsel olarak %10, 15, 20 ve 25 oranlarında karıştırmışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, 15,5:1 sıkıştırma oranlı, 7,6 kW, 425 cc silindir hacmine sahip ve Kirloskar marka bir dizel motorda farklı yüklerde (0-20 kg) ve 1500 d/d sabit motor devrinde deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, %20 oranındaki karışım yakıtın motor performans değerleri petrodizel yakıtına çok yakın sonuçlar vermiştir. Bununla birlikte bu yakıt duman koyuluğu, HC ve NO_x emisyonlarında en iyi performansı göstermiştir.

Singh ve ark. [261] yaptıkları çalışmada, yerel bir restorandan temin edilen atık kızartma Hint hardal (*Brassica juncea* L.) yağından üretilen biyodizel petrodizel ile 5:95 (B5), 8:92 (B8) ve 10:90 (B10) oranlarında karıştırılmış ve içten yanmalı bir motorda denenecek motor performans ve egzoz emisyon değerleri petrodizel ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, karışım yakıtlar ve petrodizel %70 yük altında, tork, fren gücü, fren ısı veriminin maksimum seviyeye çıktığı, özgül yakıt tüketiminin ise minimum seviyeyi gördüğü belirlenmiştir. Genel olarak bakıldığında, petrodizel benzerlik gösteren yakıtın B8 olduğu tespit edilmiş ve bu yakıtın motorda herhangi bir değişiklik yapılmasına gerek kalmadan içten yanmalı dizel motorlarda iyi verimlilik sağlayacağı kanısına varılmıştır.

Sugözü ve ark. [262] çalışmalarında, kanola yağı etil esterini tek silindirli, 4 zamanlı, hava soğutmalı, direk enjeksiyonlu, 18:1 sıkıştırma oranlı, 395 cm³ silindir hacmine sahip, 6 LD 400 LOMBARDINI marka bir dizel motorda farklı motor devirleri ve tam

yük altında deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmıştır. Sonuçlar ele alındığında, her iki yakıt için maksimum tork 2400 d/d'de elde edilirken, bu devirde biyodizelin tork değeri petrodizele göre %8 daha düşük olduğu, maksimum güç ise 2 800 d/d'de elde edilmiş ve bu devirde biyodizelin güç değeri petrodizele göre %7 daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bunların yanı sıra, biyodizel için ortalama özgül yakıt tüketimi, petrodizele göre yaklaşık %17 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Biyodizelin emisyon değerleri petrodizelinkine göre incelendiğinde, CO değerlerinin azaldığı, NO_x değerlerinde ise artış olduğu gözlemlenmiştir.

Leevijit ve Prateepchaikul [263] çalışmalarında, rafine edilmiş ve asitliği giderilmiş palm yağını petrodizel ile hacimsel olarak %20, 30 ve 40 oranlarında karıştırmışlar ve 4 silindirli, 4 zamanlı, su soğutmalı, indirekt enjeksiyon mekanik kontrollü, 21:1 sıkıştırma oranlı, 69 kW, 2446 cm³ silindir hacmine sahip, Toyota 2L marka turbo şarjlı bir dizel motorda farklı yükler (5-37.5 kW) ve 2400 d/d sabit motor devrinde deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak test edilen aralıklarda, %20, 30 ve 40 karışım yakıtların petrodizele göre fren özgül yakıt tüketimi (FÖYT) değerleri sırasıyla %4,3, 5,9 ve 7,6 daha yüksek, ısıl verimleri sırasıyla yaklaşık %3, 4,1 ve 5,2 oranında daha düşük olduğu belirlenmiştir. Tüm karışım yakıtlardan çıkan duman koyuluğu, petrodizel duman koyuluğu miktarından önemli derecede düşük olduğu, NO_x emisyon seviyelerinin petrodizele göre biraz daha yüksek olduğu ve %20'lik karışımın CO seviyesinin önemli ölçüde daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Anand ve ark. [264] çalışmalarında, karanja biyodizelini ve bu biyodizel içerisine %10 metanol ilavesi ile elde ettiği yakıtı, 4 zamanlı, cebri sirkülasyon soğutmalı, direkt püskürtmeli, 17,5:1 sıkıştırma oranlı, 70 kW, 3 298 cm³ silindir hacmine sahip, Eicher E483 marka turbo şarjlı bir dizel motorda farklı yüklerde deneyerek fren ısıl verim ve egzoz emisyon değerlerini birbirleri arasında karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak ısıl verim, iki yakıt için düşük yük koşullarında aynı olmasına karşın, yüksek yüklerde (özellikle yarı yükün üstünde) karışım yakıtın ısıl verimi saf biyodizelin ısıl veriminden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Genel olarak, karışım yakıtın saf biyodizele göre HC emisyonlarının biraz daha yüksek olduğu ve saf biyodizelin

karışım yakıtı göre CO, NO_x ve is emisyonlarının özellikle yüksek yük koşullarında biraz daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Hasib ve ark. [265] yaptıkları çalışmada, kahverengi hardal yağı kullanılarak üretilen biyodizeli petrodizel ile %20, 30, 40 ve 50 oranlarında karıştırmışlardır. Bu karışım yakıtlar ve petrodizel 4 zamanlı, tek silindirli, hava soğutmalı, 2,2 kW sahip bir dizel motorda 2200 d/d sabit motor hızı ve farklı yüklerde (1-3,5 kg) test edilmiştir. Sonuçlar doğrultusunda, karışımların petrodizele göre FÖYT değerlerinin daha yüksek olduğu, fren ısıl veriminin ise daha düşük olduğu belirlenmiştir. Karışım yakıtların (B30 hariç) egzoz gazı sıcaklık değerlerinin petrodizele göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Bannikov [266] çalışmasında, hardal yağı metil esterini tek silindirli, 4 zamanlı, direkt enjeksiyonlu, 5 kW, 18,5:1 sıkıştırma oranı ve 0,304 L motor silindir hacmine sahip, hava soğutmalı bir dizel motorda 3600 d/d sabit motor hızı ve farklı ortalama efektif basınçlarda deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmıştır. Hardal yağı metil esteri petrodizel ile karşılaştırıldığında, FÖYT yaklaşık %15 artmış ve fren yakıt dönüşüm verimliliği yaklaşık %3 azalmıştır. Bununla birlikte, metil esterin NO_x emisyonunun tüm yüklerde azaldığını ve CO ve THC emisyonlarının genel olarak değişmediğini ancak CO konsantrasyonunun tam yükte yaklaşık %25 arttığı ifade edilmiştir. Ayrıca egzoz opasite değerinin, her iki yakıt için aynı olduğu maksimum güç dışındaki tüm yüklerde yaklaşık %40 azaldığı belirlenmiştir.

Ndayishimiye ve Tazerout [267] çalışmalarında, önceden ısıtılmış (50 °C - 60°C -70 °C) ham palm yağlar, palm yağını petrodizel ile %5 (D5P), 10 (D10P), 20 (D20P) ve 30 (D30P) oranlarında karıştırılarak elde ettikleri karışım yakıtlar, palm yağı metil ester (E0M) ve etil ester (E100E), atık kızartma yağı ve palm yağı karışımı metil ester (E50M) ve atık kızartma yağı esteri + palm yağına %25 ilave etanol karıştırılarak elde edilen karışım (E5025E) yakıtı kullanmışlardır. Bu yakıtları, tek silindirli, 4 zamanlı, hava soğutmalı, direk enjeksiyonlu, 18:1 sıkıştırma oranlı, 5,4 kW bir dizel motorda farklı yüklerde ve 1800 d/d motor devrinde deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak petrodizele göre, önceden ısıtılmış palm yağlar ve E0M, E5025E, E50M, E100E yakıtların ısıl verimleri düşüş gösterirken, D5P - D10P - D20P - D30P (palm yağı/petrodizel karışımları)

yakıtların ısı verimlerinde yaklaşık %27 oranında artış olduğu tespit edilmiştir. Tüm yakıtların petrodizele göre FÖYT değerleri incelendiğinde, palm yağı/petrodizel karışımları için %2-6, önceden ısıtılmış palm yağları için %14-17 ve palm yağı ve atık kızartma yağı metil/etil esterleri için %17-25 arasında artışlar meydana gelmiştir. Palm yağı/petrodizel karışımları dışındaki bütün yakıtların HC emisyonları daha düşük bulunurken, CO emisyonları tüm yakıt türleri için artış göstermiştir.

Yusaf ve ark. [268] yaptıkları çalışmada, ham palm yağını petrodizel ile %25, 50 ve 75 oranlarında harmanlanmış ve 4 silindirli, 4 zamanlı, su soğutmalı, direk enjeksiyonlu, 22:1 sıkıştırma oranlı, 32 kW bir dizel motorda farklı motor devirlerinde deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak karışım yakıtların petrodizele göre, 2000 d/d'den düşük motor devirlerinde daha yüksek tork ve güç çıkışı gösterdiğini, 2000 d/d üstü devirlerde ise bu durumların tam tersi olduğu tespit edilmiştir. Biyodizel karışımlara ait FÖYT değerlerinin petrodizele göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Emisyon değerlerinde ise 2000 d/d'den düşük motor devirlerinde, karışımların petrodizele göre CO emisyonlarının daha yüksek, O₂ ve NO_x emisyonlarının ise daha düşük olduğu belirlenmiş, yüksek motor devirlerinde yakıtların CO emisyonlarında belirgin bir farklılık olmadığı, O₂ emisyonunda %25 ve %50 karışımın, NO_x emisyonunda ise %75 karışım yakıtların petrodizele göre emisyon değerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Chauhan ve ark. [269] çalışmalarında, jatropha metil esterini (B100) ve bu esteri petrodizel ile %5, 10, 15 ve 20 oranlarında karıştırdığı yakıtları tek silindirli, hava soğutmalı, direkt enjeksiyonlu, 17,5:1 sıkıştırma oranlı, 7,4 kW, 0,78 L silindir hacmine sahip ve Kirloskar marka DAF10 model bir dizel motorda farklı yüklerde (%0-100) deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, tüm karışım yakıtlar ve jatropha biyodizelin petrodizele göre FÖYT'leri yüksek olduğu, fren ısı verimlerin ise daha düşük olduğu belirlenmiştir. Tüm karışımların ve jatropha biyodizelin petrodizel göre CO, HC ve duman koyuluğu emisyonlarının düşük olduğu, CO₂ ve NO_x emisyonlarının ise daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Aysal ve ark. [270] çalışmalarında, ticari bir firmadan temin ettikleri hardal yağını kullanarak elde ettikleri biyodizeli ve bu biyodizeli petrodizel ile %50 oranında karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtı (B50), 4 zamanlı, tek silindirli, direkt püskürtmeli, 21:1 sıkıştırma oranlı, 510 cm³ silindir hacmine sahip, 9 kW, hava soğutmalı, Antor 3 LD 510 marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyonlarını petrodizel ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak hardal yağı biyodizeli kullanımıyla petrodizele göre; motor gücü ve tork değerlerinin azaldığını, ortalama özgül yakıt tüketiminin B50 yakıtında %8, saf biyodizelde %17 arttığını, NO_x ve CO emisyonlarının ise azaldığı ifade edilmiştir.

Sanjid ve ark. [271] çalışmalarında, hardal yağı ve palm yağından ürettikleri biyodizelleri petrodizel ile %10 ve 20 oranında karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtlarını 4 silindirli, su soğutmalı, 21:1 sıkıştırma oranlı, 2.5 L silindir hacmine sahip, Mitsubishi Pajero marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak karışım yakıtların kullanımı ile petrodizele göre; özgül yakıt tüketimlerinin arttığı, hardal yağı biyodizel karışımlarının maksimum motor gücünün petrodizele göre daha az olduğunu, palm yağı biyodizel karışımları ile maksimum ve ortalama güç çıktılarının neredeyse aynı olduğu belirtilmiştir. Tüm karışım yakıtların petrodizele göre HC ve CO emisyonlarının daha düşük olduğu, NO emisyonlarında ise artışlar meydana geldiğini tespit edilmiştir.

Basavaraju ve Jamunarani [272] çalışmalarında, hardal yağından ürettikleri biyodizeli petrodizel ile %10 ve 20 oranında karıştırmışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, su soğutmalı, 3,7 kW güce sahip bir dizel motorda farklı sıkıştırma oranlarında (12:1-20:1) deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, karışım yakıtların kullanımı ile petrodizele göre özgül yakıt tüketimlerinin azaldığı, fren ısı verimliliğinin ve mekanik verimin arttığı belirlenmiştir. HC, CO ve NO_x emisyonlarının ise her durumda düşük çıktığı tespit edilmiştir.

Ahmed ve ark. [273] çalışmalarında, kahverengi hardal (*Brassica juncea* L.) yağı ve palm yağından ürettikleri biyodizelleri petrodizel ile %10 ve 20 oranında karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtlarını 4 silindirli, su soğutmalı, 21:1 sıkıştırma oranlı, 2,5 L

silindir hacmine sahip, Mitsubishi Pajero marka bir dizel motorda deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, karışım yakıtların kullanımı ile petrodizele göre fren özgül yakıt tüketimi %8-13 oranında artış gösterdiği, fren gücünde ise %7-8 oranında düşüş gerçekleştiği tespit edilmiştir. Emisyon değerlerinde ise, HC emisyonunda %24-42, CO emisyonunda %19-40 aralığında düşüş meydana gelirken, NO emisyonunda %9-12 oranında bir artış meydana geldiği ifade edilmiştir.

De ve Panua [274] çalışmalarında, jatropha yağını kullanarak elde ettikleri biyodizeli ve bu biyodizeli petrodizel ile %10, 30, 50 ve 80 oranlarında karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtlarını tek silindirli, 4 zamanlı, su soğutmalı, direkt enjeksiyonlu, 3,7 kW, 661 cc silindir hacmine sahip bir dizel motorda 1500 d/d sabit motor devrinde, farklı yükler ve sıkıştırma oranlarında (16:1-18:1) deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, termal verim, NO_x ve CO emisyonlarının düşük konsantrasyonlu karışım yakıtlar için petrodizele çok yakın olduğu, yüksek konsantrasyonlu karışım yakıtlar ve saf biyodizel için performans ve emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırıldığında çok daha düşük olduğu görülmüştür.

Kolhe ve ark. [275] çalışmalarında, ürettikleri karanja biyodizelini ve bu biyodizeli petrodizel ile %10, 20, 30, 40 ve 50 oranlarında karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtlarını tek silindirli, 4 zamanlı, su soğutmalı, direkt enjeksiyonlu, 5,2 kW, 661 cc silindir hacmine sahip bir dizel motorda 1500 d/d sabit motor devrinde, farklı yükler ve sıkıştırma oranlarında (17,5:1 ve 18,5:1) deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak saf karanja biyodizeli ve karışım yakıtların petrodizele göre; termal verim ve özgül yakıt tüketim değerlerinin daha yüksek çıktığı, indike güç değerlerinin azaldığı ve mekanik verimliliğin birbirine yakın çıktığı belirlenmiştir. Ayrıca, %20 karanja biyodizel + %80 petrodizel karışımının tam yükte ve 18,5:1 sıkıştırma oranında petrodizele göre maksimum termal veriminin %5-10 daha yüksek olduğu ve biyodizel karışım oranı arttıkça özgül yakıt tüketim değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Saf biyodizel ve karışım yakıtlarının her iki sıkıştırma oranında petrodizele göre, CO ve HC

emisyonlarının azaldığı, NO_x emisyonlarının ise biraz daha artış gösterdiği tespit edilmiştir.

Özener ve ark. [276] çalışmalarında, soya yağını kullanarak elde ettikleri biyodizeli ve bu biyodizeli petrodizel ile %10, 20 ve 50 oranlarında karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtları tek silindirli, 4 zamanlı, hava soğutmalı, direkt enjeksiyonlu, 8,1 kW, 17,5:1 sıkıştırma oranlı, 454 cm³ silindir hacmine sahip, Lombardini marka 3LD450 model bir dizel motorda farklı motor devirlerinde (1200-3000 d/d) deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, saf biyodizel ve karışım yakıtların kullanımı ile petrodizele göre; tork değerlerinde %1-4 oranında bir azalma olduğu, FÖYT değerlerinin de ise yaklaşık %2-9 oranında bir artış olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, CO emisyonlarında %28-46, toplam HC emisyonlarında %20-44 oranında önemli azalmalar görülürken, NO_x emisyon değerlerinde %6,95-17,62 ve CO₂ emisyonlarında % 1,46-5,03 oranında artışlar olduğu tespit edilmiştir.

Nayak ve Pattanaik [277] çalışmalarında, mahua yağını kullanarak elde ettikleri biyodizeli ve bu biyodizeli petrodizel ile hacimsel olarak %5, 10 ve 15 oranlarında karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtları tek silindirli, 4 zamanlı, su soğutmalı, direkt enjeksiyonlu, 16,5:1 sıkıştırma oranlı, 3,67 kW güce sahip bir dizel motorda 1500 d/d sabit motor devrinde deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, tüm karışım yakıtların karışım yüzdesi arttıkça termal veriminin arttığı, FÖYT değerlerinin azaldığı görülmektedir. Tam yükte, %15 karışıma sahip yakıtın termal verim değeri petrodizelin değerine çok yakın değerde çıkmıştır. FÖYT için maksimum değer saf biyodizele, minimum değer ise petrodizele ait olduğu belirlenmiştir. CO ve HC emisyonları petrodizel için en yüksek, saf biyodizel için en düşük olduğu, karışım oranı arttıkça bu değerlerin azaldığı, saf biyodizel ve karışım yakıtlarının duman koyuluğu ve NO_x emisyonlarının petrodizele göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Sanjid ve ark. [278] çalışmalarında, ürettikleri palm, hardal ve *Calophyllum* biyodizelleri ve bu biyodizelleri petrodizel ile %10 ve 20 oranlarında karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtlarını 4 silindirli, 4 zamanlı, su soğutmalı, 21:1 sıkıştırma oranlı, 2,5 L silindir hacmine sahip dizel bir motorda farklı motor devirlerinde (1000-4000

d/d) deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, petrodizel yakıtla biyodizel karışım yakıtlarında FÖYT ortalama %7-12 oranında arttığı, fren gücünün ortalama %4,1-7,7 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Karışım yakıtların petrodizele kıyasla NO emisyonlarının %9-17 oranında artış gösterdiği, CO ve HC emisyonlarının ise sırasıyla %23-43 ve %45-68 oranlarında daha düşük çıktığı belirlenmiştir.

Uddin ve ark. [279] çalışmalarında, hardal yağını kullanarak elde ettikleri biyodizeli ve bu biyodizeli kerosen ile hacimsel olarak %20, 30, 40 ve 50 oranlarında karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtları tek silindirli, 4 zamanlı, su soğutmalı, 9 kW güce sahip bir dizel motorda 2000 d/d sabit motor devrinde ve farklı yükler (6-15 kg) altında deneyerek motor performans değerlerini petrodizel ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, saf biyodizel ve karışım yakıtların petrodizele göre; FÖYT değerleri artış göstermişken, termal verimin değerlerinde ise azalmalar olduğu belirlenmiştir.

Gupta [280] çalışmasında, soya yağını petrodizel ile hacimsel olarak %5, 10, 15 ve 20 oranlarında karıştırmış ve tek silindirli, 4 zamanlı, su soğutmalı, direkt enjeksiyonlu, 3,5 kW güce sahip dizel bir motorda 1500 d/d sabit motor devrinde ve farklı sıkıştırma oranlarında (15:1-19:1) deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, karışım yakıtların maksimum termal verimlerinin petrodizele göre daha düşük olduğunu ve karışım oranı arttıkça bu değer azaldığı belirlenmiştir. Karışım yakıtların petrodizele göre; CO emisyonları %0,19-0,115 oranında azalmış, NO emisyonu motorun 19:1 sıkıştırma oranında çalışırken B20 karışım için minimum değer göstermiştir. HC emisyonlarında ise B20 karışım için minimum değer izlenirken, petrodizel için maksimum değer görülmüştür.

Srithar ve ark. [281] çalışmalarında, hardal etil ester (HEE), pongamia pinnata etil ester (PPEE) ve petrodizel yakıtlarını belirli oranlarda karıştırmışlar ve tek silindirli, 4 zamanlı, hava soğutmalı, 18:1 sıkıştırma oranlı, 3,35 kW güce sahip, Kirloskar marka bir dizel motorda 3000 d/d sabit motor devrinde ve farklı yükler altında deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, karışımlarda petrodizel oranı düştükçe FÖYT değerlerinin artış gösterdiği, %90 petrodizel+%5 HEE+%5 PPEE (karışım A) karışım yakıtın dışındaki diğer yakıtların mekanik verimleri petrodizele göre azalma gösterdiği belirlenmiştir.

Karışım yakıtların petrodizele göre; duman, HC ve NO_x emisyonlarının artış gösterdiği, egzoz gazı sıcaklığında ise azalmalar olduğu gözlemlenmiştir. Karışım A ve %80 petrodizel+%10 HEE+%10 PPEE karışım yakıtlarının dışındaki yakıtlarının petrodizele göre CO ve CO₂ emisyonları daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Can ve ark. [282] çalışmalarında, kanola yağından ürettikleri biyodizeli petrodizel ile hacimsel olarak %5, 10, 15 ve 20 oranında karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtlarını 4 zamanlı, tek silindirli, hava soğutmalı, direkt enjeksiyonlu, 18:1 sıkıştırma oranlı, 395 cm³ silindir hacmine sahip, 5,4 kW, Antor 6LD400 marka bir dizel motorda farklı yükler (1,2-4,8 bar) altında deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, kanola biyodizel karışımları ve petrodizel arasında performans sonuçlarında hemen hemen aynı eğilimler gözlenmiştir. Maksimum değişim yüksek yük değerinde ve B20 kanola biyodizelinde tespit edilmiş, bu değişimler; FÖYT’de %6,56 oranında artış ve fren termal veriminde ise %4,2 oranında azalma olarak belirlenmiştir. Karışım yakıtların emisyon değerleri petrodizel ile karşılaştırıldığında, duman, CO ve HC emisyonlarının daha düşük, CO₂ ve NO_x emisyonlarının daha yüksek olduğu saptanmıştır.

Yeşilyurt ve ark. [283] çalışmalarında, sarı hardal (*Sinapis alba* L.) yağından ürettikleri biyodizeli petrodizel ve etanol ile farklı oranlarda karıştırmış ve B2, B20, B2E5, B2E10, B20E5 ve B20E10 yakıtları elde etmişler ve bu yakıtları tek silindirli, 4 zamanlı, su soğutmalı, direkt enjeksiyonlu, 17,5:1 sıkıştırma oranlı, 9 kW, 510 cm³ silindir hacmine sahip, Antor 3LD510 marka bir dizel motorda, tam gaz kelebek açıklığında, farklı motor devirlerinde deneyerek etanol ilavesinin motor performans ve egzoz emisyon değerlerini etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar incelendiğinde, yakıtlar içerisinde etanol karışımı arttıkça, efektif motor tork, güç ve efektif termik verim değerlerinin azaldığı ve efektif özgül yakıt tüketiminin ise artış gösterdiği belirlenmiştir. Emisyon değerlerinde, karışım yakıtlar içerisinde biyodizel ve etanol oranları arttığında NO_x ve O₂ emisyonlarının arttığı; CO, CO₂ ve duman koyuluğu emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir. Egzoz gazı sıcaklığı ise, biyodizel katkısı ile artış gösterirken etanol katkısı ile azalma gösterdiği belirlenmiştir.

Yeşilyurt ve ark [284] çalışmalarında, sarı hardal (*Sinapis alba* L.) yağından ürettikleri biyodizeli petrodizel, bütanol ve pentanol ile farklı oranlarda karıştırmış ve B2Bt5,

B2Bt10, B20Bt5, B20Bt10— B2P5, B2P10, B20P5, B20P10 yakıtları elde etmişlerdir. Bu yakıtları tek silindirli, 4 zamanlı, su soğutmalı, direkt enjeksiyonlu, 17,5:1 sıkıştırma oranlı, 9 kW, 510 cm³ silindir hacmine sahip, Antor 3LD510 marka bir dizel motorda, tam gaz kelebek açıklığında, farklı motor devirlerinde deneyerek alkol ilavelerinin motor performans ve egzoz emisyon değerlerini etkisini araştırmışlardır. Sonuçlar incelendiğinde, alkol miktarı arttıkça tork ve fren güç değerlerin azaldığını, FÖYT değerlerinin %0,77-% 8,07 oranları arasında artış gösterdiği belirlenmiştir. Alkol karışımı yakıtlar petrodizel ile karşılaştırıldığında, daha düşük egzoz gazı sıcaklığı ve CO₂ elde edilirken, daha yüksek O₂ emisyonu gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra, alkol ilaveli karışımlar NO_x'i % 0,56-2,65, CO'yu % 6,9-32,4 duman koyuluğunu % 10,47-44,43 oranında azalttığı belirlenmiştir. Ayrıca, n-pentanol ilave edilmiş yakıtlar, 1-butanol ilave edilmiş yakıtlardan daha iyi performans ve emisyon sonuçları gösterdiği ifade edilmiştir.

Jaliliantabar ve ark. [285] çalışmalarında, brassica, kenger tohumu ve atık kahveden ürettikleri biyodizeli petrodizel ile %20 oranında karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtları tek silindirli, 4 zamanlı, su soğutmalı, direkt enjeksiyonlu, 17,1:1 sıkıştırma oranlı, 18 kW, 510 cm³ silindir hacmine sahip, AVL 5402 marka bir dizel motorda farklı motor devir (1200-2700 d/d) ve yüklerde (% 15-45) deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, motor yükündeki artış ile yakıtların FÖYT değerlerinin arttığı ve en düşük FÖYT değerinin petrodizele ait olduğu tespit edilmiştir. Motor yükünün artışı ile termal verim ve egzoz gazı sıcaklığı artış göstermiş, motor devrinin artışı ile termal verim azalmıştır. Biyodizel yakıtların termal verimleri petrodizele göre daha düşük olduğu belirtilmiştir. Motor yükünün artışı ile; HC emisyonunda azalma, NO_x, CO, CO₂ ve is emisyonlarında artış, motor devrinin artışıyla; NO_x, CO₂ ve is emisyonlarında azalmalar, HC ve CO emisyonlarda artışlar meydana geldiği görülmüştür.

Uyumaz [286] çalışmasında, hardal yağını kullanarak elde ettikleri biyodizeli ve bu biyodizeli petrodizel ile % 10, 20 ve 30 oranlarında karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtları tek silindirli, 4 zamanlı, hava soğutmalı, direkt enjeksiyonlu, 18:1 sıkıştırma oranlı, 5,4 kW, 395 cm³ silindir hacmine sahip, Antor 6LD400 marka bir dizel motorda 2200 d/d sabit motor devrinde ve farklı yüklerde (3,75-15 Nm) deneyerek motor

performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, tüm karışım yakıtların petrodizele göre; özgül yakıt tüketiminde artışlar gözlemlenirken, termal verimlerinde düşüşler olduğu görülmüştür. Karışım yakıtların emisyonları petrodizel ile karşılaştırıldığında, duman ve CO emisyonlarında belirgin düşüşler, NO_x ve CO₂ emisyonlarında ise artışlar olduğu tespit edilmiştir.

Tüccar [287] çalışmasında, hardal yağını kullanarak elde ettikleri biyodizeli ve bu biyodizeli hidrojen gazı ile karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtı 4 silindirli, su soğutmalı, direkt enjeksiyonlu, 68 kW, 3 298 cc silindir hacmine sahip, Mitsubishi 4D31 marka bir dizel motorda farklı motor devirlerinde (1200-2400 d/d) deneyerek egzoz emisyon değerlerini petrodizel ve petrodizel+hidrojen gazı yakıtlar ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, hardal yağı saf biyodizeli ve hidrojen karıştırılarak elde edilen yakıtların kullanımı ile petrodizel ve petrodizel+hidrojen gazı yakıtlara göre, CO emisyonlarında düşüşler meydana gelirken, NO_x ve CO₂ emisyon değerlerinde yükselmeler olduğu belirlenmiştir.

Satyanarayana ve ark. [288] çalışmasında, hardal yağı metil esterini petrodizel ile %10 ve 20 oranlarında karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtları tek silindirli, 3,72 kW güce sahip, Kirloskar AV-1 marka bir dizel motorda 1500 d/d sabit motor devrinde ve farklı yüklerde (2-12 kg) deneyerek motor performans değerlerini petrodizel ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, karışım yakıtların termal verimi petrodizele göre daha düşük olurken, maksimum termal verim petrodizel, %10'luk karışım ve %20'lik karışım için sırasıyla %45, %40 ve %39 olarak bulunmuştur.

Devarajan ve ark. [289] çalışmasında, hardal yağı biyodizeli ve bu biyodizeli n-oktanol ile %10, 20 ve %30 oranlarında karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtları tek silindirli, 4 zamanlı, hava soğutmalı, 17:1 sıkıştırma oranlı, 4,2 kW güce sahip, AVL 5402 marka bir dizel motorda 1300 d/d sabit motor devrinde deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, saf biyodizelin ve karışım yakıtların petrodizele göre özgül yakıt tüketimi daha yüksek olduğu, termal verimin ise daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Özgül yakıt tüketimi ve termal verimde petrodizele en yakın değer %70 biyodizel-%30 oktanol karışım yakıtında bulunmuştur. Benzer olarak saf biyodizelin ve karışım yakıtların petrodizele göre; CO

ve HC emisyonlarının daha düşük olduğu, NO_x emisyonlarının ise düşük güçlerde daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Gad ve ark. [290] çalışmasında, palm yağından ürettikleri biyodizeli (B100) ve bu biyodizeli petrodizel ile %20 oranında karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtı (B20) ve palm yağı ile petrodizeli %20 oranında karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtı (PO20) tek silindirli, 4 zamanlı, hava soğutmalı, direkt enjeksiyonlu, 17,5:1 sıkıştırma oranlı, 5,775 kW güce sahip, DEUTZ F1L511 marka dizel bir motorda 1500 d/d sabit motor devri ve farklı yüklerde (1-4 kW) deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, B20, B100 ve PO20 karışım yakıtlarının petrodizel ile karşılaştırıldığında termal verimlerinin daha düşük, özgül yakıt tüketimlerinin ise daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Tüm yakıtlar içerisinde, en yüksek egzoz gazı sıcaklığı 371 °C ile B100 yakıtına ait olurken, B20, B100 ve PO20 karışım yakıtların hava-yakıt oranları petrodizelden daha düşük olduğu belirlenmiştir. B20, B100 ve PO20 karışım yakıtların emisyon değerleri petrodizel ile karşılaştırıldığında; CO ve HC emisyonlarının daha düşük, NO_x emisyonlarının daha yüksek olduğu saptanmıştır. Denemeler neticesinde, motor performans ve egzoz emisyon değerleri dikkate alınarak en uygun yakıtın B20 olduğu kanısına varılmıştır.

Efe ve ark. [291] çalışmasında, fındık, mısır, soya fasulyesi, kanola ve ayçiçek yağlarından elde ettikleri biyodizellerin ve bu biyodizelleri petrodizel ile %20 ve 50 oranlarında karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtları 2 silindirli, 4 zamanlı, su soğutmalı, direkt enjeksiyonlu, 17:1 sıkıştırma oranlı, 21 kW, 1,54 L silindir hacmine sahip, SuperStar/7728 marka dizel bir motorda deneyerek motor performans değerlerini petrodizel ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak karışım yakıtlarının ve saf biyodizellerin petrodizele göre; özgül yakıt tüketimi daha fazla olurken, güç ve termal verim değerleri daha düşük çıktığı belirlenmiştir. Motor performans değerleri incelendiğinde, diğerlerine göre daha iyi performansı gösteren en uygun yakıtın %20'lik fındık yağ biyodizel karışımına ait olduğu tespit edilmiştir.

Patel ve ark. [292] çalışmasında, ürettikleri karanja, jatropha ve atık pişirme yağı biyodizellerini tek silindirli, 4 zamanlı, hava soğutmalı, direkt enjeksiyonlu, 17,5:1 sıkıştırma oranlı, 7,4 kW, 0,948 L silindir hacmine sahip, Kirloskar marka dizel bir

motorda 1500 d/d sabit motor devrinde ve farklı yüklerde (%0-100) deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, tüm biyodizellerin petrodizele göre özgül yakıt tüketim değerleri daha fazla olurken, termal verimleri daha düşük bulunmuştur. Benzer şekilde biyodizellerin emisyonlarının petrodizel emisyonlarına göre karşılaştırıldığında; CO emisyonunda artış, HC ve NO_x emisyonlarında azalmalar görülmüştür. Duman koyulukları petrodizele göre değerlendirildiğinde, jatropha yağı ve karanja yağı biyodizellerin daha yüksek olduğu, atık kızartma yağı biyodizelinin yüksek yüklerde daha düşük, diğer yükler altında belirgin farklılıklar olmadığı tespit edilmiştir.

Raman ve ark. [293] çalışmasında, kolza tohumu yağından ürettikleri biyodizeli ve bu biyodizeli petrodizel ile %25, 50 ve %75 oranlarında karıştırarak elde ettikleri karışım yakıtları tek silindirli, 4 zamanlı, su soğutmalı, direkt enjeksiyonlu, 17,5:1 sıkıştırma oranlı, 5,95 kW, 780 cc silindir hacmine sahip, Kirloskar DAF8 marka dizel bir motorda 1500 d/d sabit motor devrinde deneyerek motor performans ve egzoz emisyon değerlerini petrodizel ile karşılaştırmışlardır. Test sonuçları incelendiğinde %25'lik karışım yakıtının, kabul edilebilir termal verimlilik ve iyileştirilmiş egzoz emisyonları ile herhangi bir değişiklik yapılmadan dizel motorda alternatif yakıt olarak kullanılabileceği ortaya koyulmuştur.

4. MATERYAL VE METOT

4.1. Materyal

4.1.1. Siyah Hardal (*Brassica nigra* L.)

Çalışmanın önemli ham maddelerinden biri olan siyah hardal (*Brassica nigra* L.) tohumları İstanbul'da faaliyet gösteren yerel bir firmadan temin edilmiştir. Elde edilen siyah hardal tohumlarının kontrolü Yozgat Bozok Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Biyoloji Laboratuvarında yapılmıştır. SHY elde etmek için kullanılan siyah hardal tohumları Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Siyah Hardal (*Brassica nigra* L.) Tohumları

Brassica, turp ailesine ait olan 37 farklı tür içeren Brassicaceae familyası içerisindeki 51 cinsten en ekonomik olanıdır. Yağ bakımından zengin agronomik tohumlardan biri olan Brassica cinsinin birçok çeşidi vardır. En çok kullanılan çeşitleri: *B. nigra* (siyah hardal), *B. rapa* (yabani hardal), *B. oleracea* (yabani lahanası), *B. kaber* (Sinapis arvensis) (yabani hardal), *B. hirta* (Sinapis alba) (sarı veya beyaz hardal), *B. carinata* (Etiyopya hardalı), *B. juncea* (kahverengi hardal), *B. napus* (kolza veya kanola) şeklinde belirtilebilir. *B. nigra*, *B. napus*, *B. rapa* ve *B. carinata* gibi bazı türler ağırlıklı olarak yağlı tohumlar olarak yetiştirilirken, *B. oleracea* ve *B. campestris*'e ait bazı alt türler önemli sebzelerdendir. Brassica cinsine ait yağlı tohum türleri dünyadaki en büyük bitkisel yağ kaynaklarından biri olarak görülmektedir. Yağlı tohum üretimi, 2016 yılında alınan FAOSTAT (Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü) verilerine göre yaklaşık 4,5 milyon ton olarak belirlenmiş ve yaklaşık bu değerin % 15,55'i

hardal üretimine ait olduğu tespit edilmiştir. Hardal türlerine ait tohumların yağ içerikleri yaklaşık %24-40 arasındadır. Temel türlerden biri olan siyah hardal, Fas'ta bir bölgedeki yol kenarlarında ve arazilerde, Rodos, Girit, Sicilya, Türkiye ve Etiyopya'da yarı ekili koşullar altında yabancı olarak bulunmaktadır [294-297].

Hardal yağları içerisinde tekli doymamış yağ asitleri, özellikle erusik asit (C22: 1), yağ asidi kompozisyonunda baskın bir rol oynamaktadır. Erusik asitin dışında, doğal olarak bünyelerinde bulunan glukosinolat adı verilen toksik madde bulundurmaktadırlar. Yüksek erusik asit ve glukosinolat içeren yağlar endüstriyel uygulamalar için uygun olurken, insan ve hayvan sağlığı için uygun görülmemektedir [298, 299].

4.1.2. Araştırmada Kullanılan Cam ve Kimyasal Malzemeler

4.1.2.1. Cam Malzemeler

SHY optimizasyon işlemi, biyodizel üretim aşamaları, biyodizellerin ve petrodizelin yakıt özelliklerinin tespiti ve muhafazasında kullanılan, ISO 9001 Kalite Yönetimi ve EN ISO 17025 akreditasyon sertifikalarına sahip cam malzemeler (beher, ayırma hunisi, mezür, balon joje, erlenmeyer, vida kapaklı şişe vb.) kullanılmıştır.

4.1.2.2. Metanol

SHY optimizasyonu ve biyodizel üretimi için saflığı $\geq 99,9$, yoğunluğu $0,792 \text{ g/cm}^3$ ve molekül ağırlığı $32,04 \text{ g/mol}$ olan Merck marka metanol (CH_4O) kullanılmıştır.

4.1.2.3. Etanol

SHY optimizasyonu ve biyodizel üretimi için saflığı $\geq 99,9$, yoğunluğu $0,790- 0,793 \text{ g/cm}^3$ ve molekül ağırlığı $46,07 \text{ g/mol}$ olan Merck marka etanol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$) kullanılmıştır.

4.1.2.4. İzo-Propanol (2-Propanol)

SHY optimizasyonu için saflığı $\geq 99,8$, yoğunluğu $0,786 \text{ g/cm}^3$ ve molekül ağırlığı $60,1 \text{ g/mol}$ olan Merck marka izo-propanol ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$) kullanılmıştır.

4.1.2.5. 1-Bütanol

SHY optimizasyonu için saflığı $\geq 99,5$, yoğunluğu $0,81 \text{ g/cm}^3$ ve molekül ağırlığı $74,12 \text{ g/mol}$ olan Merck marka 1-bütanol ($\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$) kullanılmıştır.

4.1.2.6. 1-Pentanol (Amil Alkol)

SHY optimizasyonu için saflığı $\geq 99,5$, yoğunluğu $0,815 \text{ g/cm}^3$ ve molekül ağırlığı $88,15 \text{ g/mol}$ olan Merck marka 1-pentanol ($\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$) kullanılmıştır. Kullanılan alkoller ile ilgili diğer özellikler Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Alkollerin Fizikokimyasal Özellikleri [300].

Özellik	Metanol	Etanol	İzo-propanol	1-bütanol	1-pentanol
Kimyasal formül	CH_3OH	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$	$\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_3$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{OH}$	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{OH}$
Kaynama noktası, °C (1013 hPa)	64,5	78,3	82,4	116-118	138
Parlama noktası, °C	9,7	12	12	34	47
Erime noktası, °C	-98	-114,5	-89,5	-89	-78
Buhar basıncı, hPa (20°C)	128	59	43	6,7	2,04
Tutuşma sıcaklığı, °C (DIN 51794)	420	425	425	340	300

4.1.2.7. Sodyum Hidroksit (NaOH)

SHY optimizasyonu ve biyodizel üretimi için saflığı ≥ 97 ve molekül ağırlığı 40 g/mol olan Merck marka sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır.

4.1.2.8. Potasyum Hidroksit (KOH)

SHY optimizasyonu ve biyodizel üretimi için molekül ağırlığı $56,11 \text{ g/mol}$ olan Merck marka potasyum hidroksit (KOH) kullanılmıştır.

4.1.2.9. Diğer Kimyasallar

SHY ve elde edilen biyodizellerin, SYA ölçümlerinde kullanılan fenolftalein indikatör çözeltisi (%1) ve KOH çözeltisi (0.1N) Norateks firmasından, yoğunluğu $0,7135 \text{ g/cm}^3$ ve molekül ağırlığı $74,12 \text{ g/mol}$ olan dietil eter VWR firmasından temin edilmiştir.

4.1.3. Petrodizel

Üretilen biyodizel yakıtların karşılaştırılmasında referans yakıt olarak BP Ultimate Euro Dizel (ED) kullanılmıştır.

4.1.4. Araştırmada Kullanılan Alet ve Cihazlar

4.1.4.1. Vidalı Pres Yağ Çıkarma Makinesi

Siyah hardal tohumlarından Şekil 4.2’de gösterilen, Tablo 4.2’de Biyosistem Mühendisliği Biyoyakıt Laboratuvarında bulunan teknik ve işletme özellikleri verilen çift kafalı vidalı yağ çıkarma presi yardımıyla biyodizel üretiminde kullanılmak üzere SHY çıkartılmıştır.

Tablo 4.2. Vidalı Yağ Çıkarma Presinin Teknik Özellikleri

Marka	Köprülü Makina	
Tip	Vidalı pres	
İmalat yılı	2012	
Presleme girişi tohum özellikleri	Minimum tohum sıcaklığı:15 °C	
	Nem: %5-7	
Genel ölçüler	Uzunluk	844 mm
	Genişlik	775 mm
	Yükseklik	1720 mm
Tohum presleme kapasitesi	15-45 kg/h	
Isıtıcı gücü	230 W	
Elektrik motoru voltajı	230/400 V	
Elektrik motoru gücü	2x1,1 kW	
Voltaj/Frekans (V/Hz)	230 V/50 Hz	
Presleme öncesi başlık sıcaklık kontrolü	0-100 °C	
Küspe çıkış ağız çapları	6-8-10 mm	



Şekil 4.2. Vidalı Yağ Çıkarma Presi

4.1.4.2. Soxhlet Ekstraksiyon Cihazı

Siyah hardal tohumlarındaki ham yağ oranını tespit etmek için soxhlet ekstraksiyonu işlemine uygun Foss marka Soxtec 2055 model balon ısıtıcı kullanılmıştır (Şekil 4.3.). Bu cihaz genel olarak; altı adet ısıtma bölgesi bulunan, aynı anda 6 ve günde 36 numunenin çalıştırılabildiği, uygulamaya bağlı olarak 40 ila 60 dakika arasında ekstraksiyon süresine sahiptir.



Şekil 4.3. Soxhlet Ekstraksiyon Cihazı

4.1.4.3. Döner Buharlaştırıcı

Soxhlet ekstraksiyon cihazı analiz sonrası vakum altında buhar basıncı düşürülerek, çözücünün düşük sıcaklık altında buharlaştırılıp ham yağdan uzaklaştırılması için Buchi marka R3 model döner buharlaştırıcı kullanılmıştır (Şekil 4.4). Teknik özellikler bakımından; 20–95 °C sıcaklık aralığı, 20-280 d/d hız aralığında, 4000 ml banyo kapasitesi ve $\pm 1^\circ\text{C}$ hassasiyet özelliklerine sahip bir cihazdır.



Şekil 4.4. Döner Buharlaştırıcı

4.1.4.4. Yoğunluk Ölçer

SHY ve yakıtların yoğunluk ölçümlerinde, rezonans frekans salınım yöntemi ile çalışan, ölçüm sıcaklık aralığı 0-93 °C, ölçüm aralığının ise 0-3 g/cm³, yoğunluk ölçüm hassasiyeti $\pm 5 \times 10^{-5}$ g/cm³ ve minimum gerekli numune miktarının 2 ml (şırıngayla)

olduğu masa üstü tip Kem Kyoto marka DA-645 model cihaz kullanılmıştır (şekil 4.5).



şekil 4.5. Yoğunluk Ölçer

4.1.4.5. Nem Analiz Cihazı

Siyah hardal tohumunun nem muhtevasını tespit etmek için, %0,1-99,9 çalışma aralığına sahip Denver Instrument marka IR-35-M model nem analiz cihazı kullanılmıştır (şekil 4.6.).



şekil 4.6. Nem Analiz Cihazı

4.1.4.6. Kinematik Viskozite Ölçüm Cihazı

SHY ve yakıtların kinematik viskozite ölçümlerinde, minimum ölçüm sıcaklığının ortam sıcaklığı, maksimum ölçüm sıcaklığının 150 °C olarak ölçülebildiği, 15 L/dk hacimsel debiye sahip iki pompanın çalıştığı ve hassasiyeti ± 0.05 °C olan Polyscience

marka 7306A12E model cihaz kullanılmıştır (şekil 4.7). Cihaz ISO 3104, DIN 51550 ve ASTM D445 standartlarına göre viskozite ölümü yapmaktadır.



şekil 4.7. Kinematik Viskozite lm Cihazı

4.1.4.7. Su İçeriği Tayin Cihazı

Karl Fischer kulometrik titrasyon metodu kullanılarak hassasiyeti $\pm 0.1 \mu\text{g}$ ve ölüm aralığı 10-100 mg olan Kem Kyoto Electronics marka MKC-520 model cihaz ile ham yağ ve yakıtların su içerikleri belirlenmiştir. EN ISO 12937 standardına göre ölüm yapan cihaz, ölüm sıcaklığı 5-35 $^{\circ}\text{C}$ aralığında ve IDP-100 yazıcı ile desteklenmektedir (şekil 4.8).



şekil 4.8. Su İçeriği Tayin Cihazı

4.1.4.8. Parlama Noktası Tayin Cihazı

SHY ve yakıtların parlama noktalarının belirlenmesinde; hassasiyeti ± 1 °C ve ölçüm aralığı -30 ile 300 °C olan Rapid Tester marka RT-1 model cihaz kullanılmıştır (Şekil 4.9). Bu cihaz ile ISO 3679, ISO 3680, ASTM D3243, ASTM D3278 ve ASTM D3828 standartlarına göre parlama noktası belirlenebilmektedir.



Şekil 4.9. Parlama Noktası Tayin Cihazı

4.1.4.9. Kalorimetre

SHY, elde edilen yakıtlar ve referans yakıt olan petrodizelin brüt kalorifik değerlerini belirlemek için, ölçüm aralığının maksimum 40 000 J, ölçüm hassasiyeti $\pm 0,1$ J ve dört farklı çalışma yöntemi olan IKA marka C200 model kalorimetre kullanılmıştır (Şekil 4.10). Bu cihaz ASTM D240, ASTM D4809, ASTM D5865, ASTM D1989, ASTM D5468, ASTM E711, DIN 51900 ve ISO 1928 standartlarına göre ölçüm yapmaktadır.



Şekil 4.10. Kalorimetre

4.1.4.10. Bulutlanma Noktası, Soğuk Filtre Tıkanma Noktası, Akma Noktası Ve Donma Noktası Tayin Cihazı

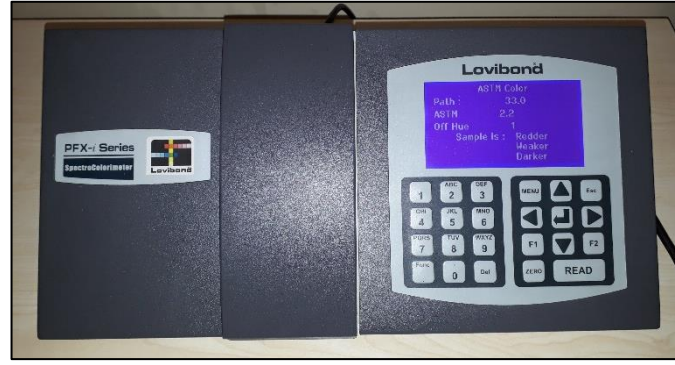
SHY, elde edilen yakıtlar ve referans yakıt olan petrodizelin bulutlanma noktası, soğuk filtre tıkanma noktası, akma noktası ve donma noktası değerlerini belirlemek için, ortam sıcaklığından -70 °C'ye kadar düşürülebilen, toplam güç tüketiminin en fazla 1700 W olduğu Labkits marka PT-SYD-510F1 model cihaz kullanılmıştır (Şekil 4.11). Cihazın sıcaklık hassasiyeti $\pm 0,5$ °C olmakla birlikte, ISO 3015, ISO 3016, ASTM D97 ve ASTM D2500 standartlarına göre ölçümler yapılmaktadır.



Şekil 4.11. Bulutlanma Noktası, Soğuk Filtre Tıkanma Noktası, Akma Noktası ve Donma Noktası Tayin Cihazı

4.1.4.11. Otomatik Renk Ölçüm (Tintometre) Cihazı

SHY, elde edilen yakıtlar ve referans yakıt olan petrodizelin renk değerlerinin ölçülmesi için, hassasiyeti $\pm 0,0004$, ölçüm aralığı 0,5-8 ve uzaktan kalibrasyon için entegre RCMSi Teknolojisi bulunan Lovibond marka PFXi-880/P model dijital otomatik renk ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.12). Cihaz ASTM D1500, Pt-Co/Hazen/APHA, Saybolt ve CIE renk skalalarına göre ölçüm yapmaktadır.



Şekil 4.12. Otomatik Renk Ölçüm (Tintometre) Cihazı

4.1.4.12. pH metre

pH değerlerinin ölçülmesinde 0-14 ölçüm aralığı ve (-20)–(-120) °C geniş sıcaklık aralığında çalışma imkanı veren Martini marka Mi150 model pH metre kullanılmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4.13. pH Metre

4.1.4.13. Isıtıcıli Manyetik Karıştırıcılar

SHY optimizasyonu ve biyodizel üretim aşamalarında, çalışma hızı 100-1500 d/d devir aralığı ve 50-500 °C çalışma sıcaklığı aralığında çalışan, elektronik kontakt termometreli IKA marka C-MAG HS7 model ve TERMAL marka ısıtıcıli manyetik karıştırıcılar kullanılmıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Isıtcılı Manyetik Karıştırıcı (IKA Marka)

4.1.4.14. Homojenizatör

SHY ve yakıtların yakıt özelliklerini tespit etmeden önce homojenlik sağlanması amacıyla, çalışma hızı 0-24000 d/d devir aralığında ve dijital göstergeli IKA marka dijital ULTRA-TURRAX T25 model cihaz kullanılmıştır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Homojenizatör

4.1.4.15. Mekanik Karıştırıcı

Motor test denemelerinde kullanılmak üzere, yüksek miktarda yakıtların üretiminde çalışma hızı 50-2000 d/d devir aralığında ve dijital göstergeli VELP Scientifica marka DLS F20100155 model dijital mekanik karıştırıcı kullanılmıştır (Şekil 4.16.).



Şekil 4.16. Mekanik Karıştırıcı

4.1.4.16. Hassas Terazi

SHY biyodizeli (SHYB) optimizasyonu ve üretim aşamalarında gerekli olan bütün hassas tartımlar ± 0.0001 g hassasiyetli, 210 g kapasiteli ve 10-30°C ortam sıcaklığında ölçüm yapabilen Denver Instrument marka TP-214 model hassas terazi kullanılmıştır (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Hassas Terazi

4.1.4.17. Etüv

Yıkama sonrası ısıya dayanıklı plastik ve cam malzemelerin kurutulmasında; ± 1 °C çalışma hassasiyetli, 50-250 °C çalışma sıcaklık aralığına sahip Elektro-mag marka M6040P model etüv kullanılmıştır (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Etüv

4.1.4.18. Ultra Saf Su Cihazı

Biyodizel optimizasyon ve üretim işlemleri duşlama aşamasında kullanılan ultra saf suyu elde etmek için saatte 15 L üretim kapasitesine sahip ve masaüstü tip Human Power 1 marka ultra saf su cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Ultra Saf Su Cihazı

4.1.4.19. Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (GC-MS)

SHY ve bu yağdan üretilen biyodizellerin yağ asidi kompozisyonlarının tespiti için kapiler kolon DB-5MS (30 m x 0.32 mm x 0.25 µm) ile birleştirilmiş, iyonizasyon voltajı 10-200 Ev, tarama hızı en az 12.500 amu/saniye ve kütle aralığı 1,6-1050 amu olan Shimadzu marka QP2010 model gaz kromatografisi-kütle spektrometresi (GC-MS) kullanılmıştır.(Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (GC-MS)

4.1.4.20. İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS)

Yakıtların içerisindeki elementlerin tespiti ve miktar ölçümü için Thermo Scientific marka iCAP-Qc model indüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS)

4.1.4.21. Kronometre

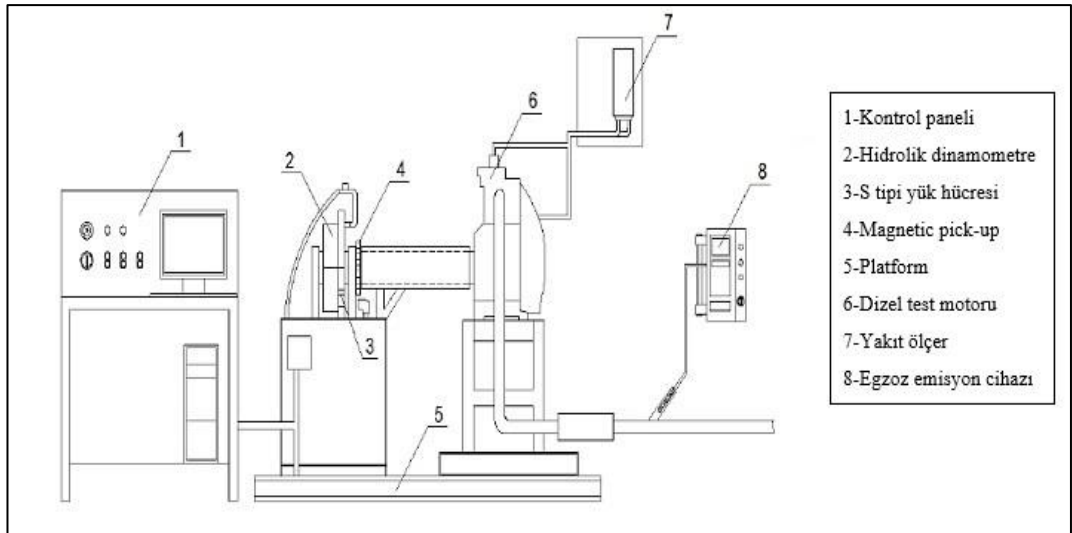
SHY optimizasyon ve biyodizel üretim aşamalarında, kinematik viskozite ve yakıt tüketiminin hesaplanmasında gerekli olan zamanın belirlenmesi için hassasiyeti $\pm 0,01$ s ve ölçüm aralığı 0-2400 s olan HiTRAX RUN marka kronometre kullanılmıştır.

4.1.5. Motor Test Düzeneği ve Ölçüm Ekipmanları

Üretilen biyodizel yakıtların ve referans yakıt olan petrodizelin motor performans denemeleri Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknoloji Mühendisliği bölümünde bulunan motor deney ve test düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.22’de şematik görünümü verilen motor deney ve test düzeneği;

- ❖ dinamometre kontrol ünitesi
- ❖ hidrolik dinamometre
- ❖ S tipi yük hücresi
- ❖ magnetic pick-up
- ❖ dizel test motoru
- ❖ kütleli yakıt tüketimi ölçüm cihazı
- ❖ egzoz emisyon ölçüm cihazı kısımlarından oluşmaktadır.

Motor deney ve test düzeneği ile; motor devri, motor torku ve motor gücü ile bunlara ek olarak yakıt tüketimi, motor yağ basıncı, motor yağ sıcaklığı, motor suyu giriş ve çıkış sıcaklığı, egzoz gazı sıcaklığı, ortam sıcaklığı, ortam basıncı ve ortam nemi ölçülerek veriler gerçek zamanlı olarak bilgisayara kayıt edebilmektedir.



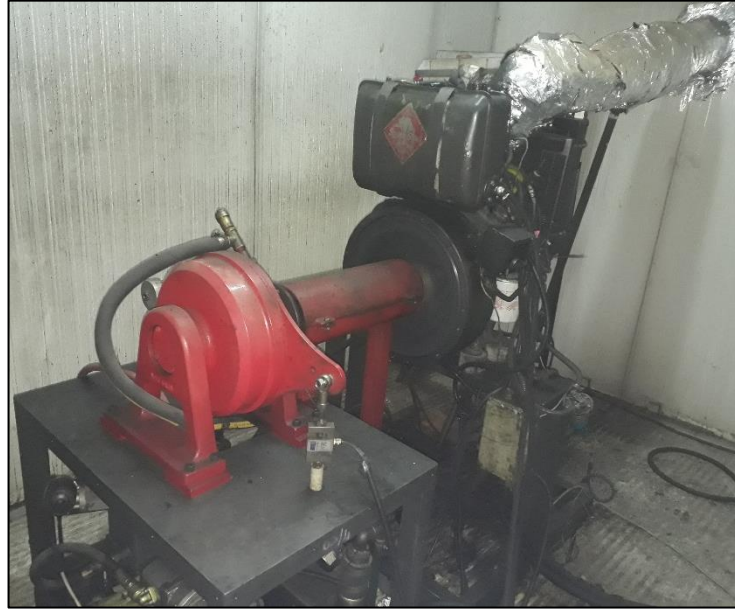
Şekil 4.22. Motor Deney ve Test Düzeneğinin Şematik Görünümü

4.1.5.1. Dizel Test Motoru

Motor performans denemeleri Süper Star marka dizel bir motorda gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.23). Dizel test motoruna ait teknik özellikler Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Dizel test motoruna ait teknik özellikler

Teknik özellikler	Birim	Değer / Marka-Model
Markası	-	Süper star
Çalışma prensibi	-	4 zamanlı, direkt enjeksiyonlu, tam dizel motor
Silindir sayısı	adet	1
Strok	mm	100
Silindir çapı	mm	108
Silindir hacmi	cm ³	920
Yakıt deposu kapasitesi	lt	16
Sıkıştırma oranı	-	17:1
Yağ kapasitesi	lt	2,3
Max. güç	BG (kW)	15 (11,2)
Max. tork	Nm	60
Yağlama sistemi	-	Tam basınçlı (dişli yağ pompalı)
Soğutma tipi	-	Su soğutmalı
Soğutma suyu kapasitesi	lt	3
Püskürtme basıncı	kg/cm ²	175
Püskürtme başlangıcı	derece	28-35 (Ü.Ö.N'dan önce)
Yakıt pompası	-	Süper star / Bosch tipi
Enjektör kütüğü	-	Bosch / Lucas
Enjektör memesi	-	Bosch / Lucas



Şekil 4.23. Dizel Test Motoru

4.1.5.2. Hidrolik dinamometre

Motorun hızını, torkunu ve gücünü ölçmek için Netfren marka hidrolik dinamometre kullanılmıştır (Şekil 4.24). Dinamometre; paslanmaz çelikten yapılmış, yüksek korozyon mukavemetine sahip rotor ve stator grubundan oluşmaktadır. Rotor ve stator arasında akışkan olarak su bulunmakta, bununla birlikte sistem harici yağlamaya ihtiyaç duymadan kullanılabilir. Dinamometrenin frenleme gücü ısı enerjisine dönüştüğünden dinamometre yağının soğutulması için ayrıca soğutma sistemi bulunmaktadır Hidrolik dinamometreye ait teknik özellikler Tablo 4.4’de verilmiştir.



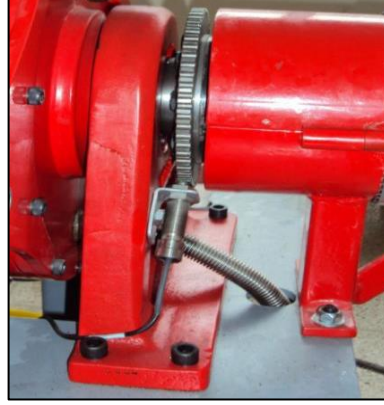
Şekil 4.24. Hidrolik Dinamometre

Tablo 4.4. Hidrolik Dinamometreye Ait Teknik Özellikler

Teknik özellikler	Değeri
Frenleme torku aralığı, Nm	0-1700
Çalışma hızı, d/d	0- 7500
Gövde çapı, mm	350
Tork kolu uzunluğu, mm	350

4.1.5.3. Magnetic Pick-Up

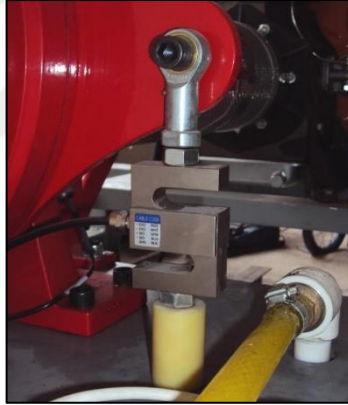
Dinamometre mili üzerinde bulunan dişlinin dönme esnasındaki dişlerini sayarak motor yada dinamometre devir sayısını ölçmek için magnetic pick-up kullanılmıştır (Şekil 4.25). Magnetic pick-up içine yerleştirilmiş sabit bir mıknatıs, magnetic pick-up tabanında manyetik bir alan sağlamaktadır. Volanın her dişi manyetik alandan geçerken, bir sinyal (voltaj darbesi) üretilir. Birim zamanda üretilen sinyaller bilgisayara bağlı devir sayıcı ile sayılarak motor devri ölçülmektedir.



Şekil 4.25. Magnetic Pick-Up

4.1.5.4. S Tipi Yük Hücresi

Dinamometrenin torkunu ölçmek için; 0-250 daN ölçme aralığında, 350 daN aşırı yüklemeli, C3 sınıfı 1/3000 hassasiyetli, mil merkezinden 350 mm uzaklıktaki tork koluna bağlı paslanmaz çelikten yapılmış S tipi yük hücresi kullanılmıştır (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. S Tipi Yük Hücresi

4.1.5.5. Kütleli Yakıt Tüketimi Ölçüm Cihazı

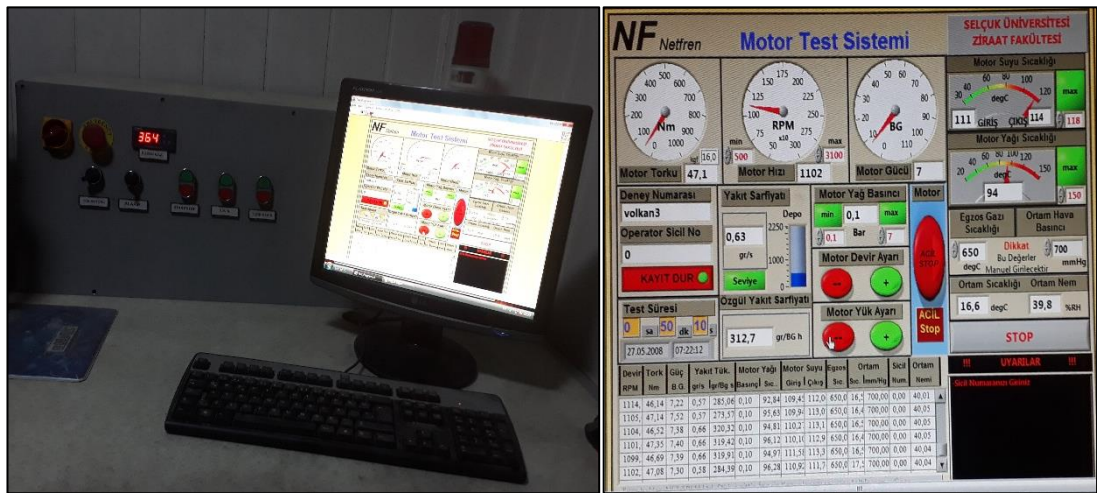
Birim yüke göre birim zamandaki yakıt sarfiyatını ölçmek için yakıt deposu ve pompası arasında kütleli olarak ölçüm yapabilen ve 2000 g kapasiteli yakıt tüketimi ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. Kütlesel Yakıt Tüketimi Ölçüm Cihazı

4.1.5.6. Dinamometre Kontrol Ünitesi ve Kayıt Sistemi

Motor performans değerlerinin belirlenmesinde, ölçülmesi istenen bütün parametrelerin sensörlerden gelen sinyalleri değerlendirerek ölçmek için dinamometre kontrol ünitesi kullanılmıştır. Bu ünite; ölçülen değerlerin sınır şartları dışına çıkması durumunda önce sesli ve ışıklı ikaz vermekte olup, belirlenen emniyet sınırını geçmesi durumunda otomatik durdurma devreye girmektedir. Ayrıca, dinamometre kontrol ünitesi test motorunun hızını ve dinamometrenin yükünü ayarlama özelliğine sahiptir. Diğer yandan, kontrol panosu üzerindeki şalterler kullanılarak motorun çalıştırılması ve durdurulması yapılabilmektedir. Dinamometre kontrol ünitesi ve kayıt sistemi Şekil 4.28’de verilmiştir.



Şekil 4.28. Dinamometre Kontrol Ünitesi ve Kayıt Sistemi

4.1.5.7. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı

Üretilen biyodizel yakıtların ve referans yakıt olan petrodizelin yanma sonucu ortaya çıkan CO, CO₂, HC, NO_x ve SO₂ emisyonlarının ve egzoz gazı sıcaklık değerinin belirlenmesinde Mobydic marka egzoz emisyon ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 4.29). Egzoz emisyon ölçüm cihazına ait teknik özellikler Tablo 4.5’de verilmiştir.

Tablo 4.5. Egzoz Emisyon Cihazına Ait Teknik Özellikler

Emisyon	Birim	Ölçüm Aralığı
CO	% vol	0-10
CO ₂	% vol	0-20
HC	ppm	0-20000
NO _x	ppm	0-500
SO ₂	ppm	0-5000



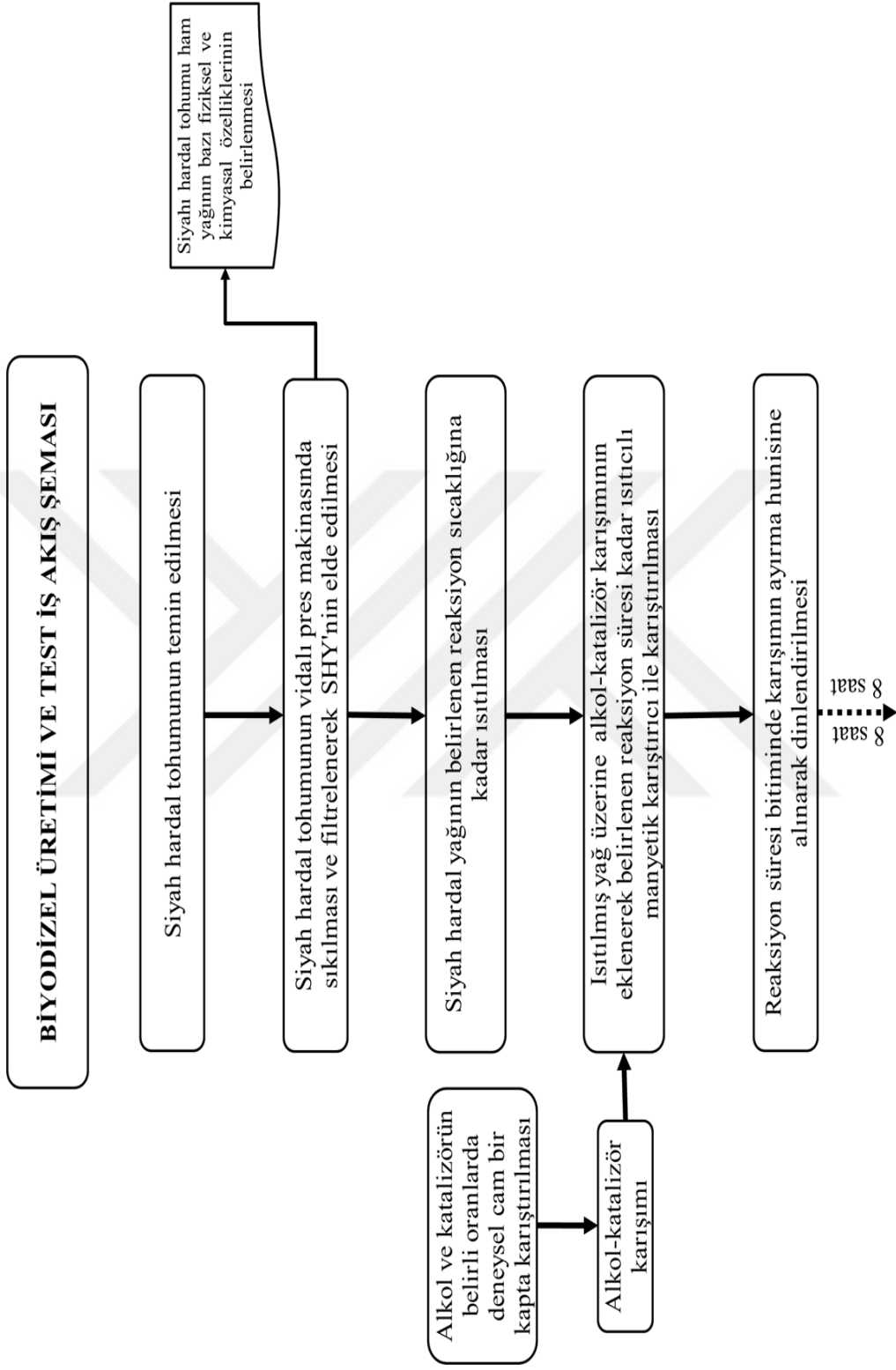
Şekil 4.29. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı

4.2. Metot

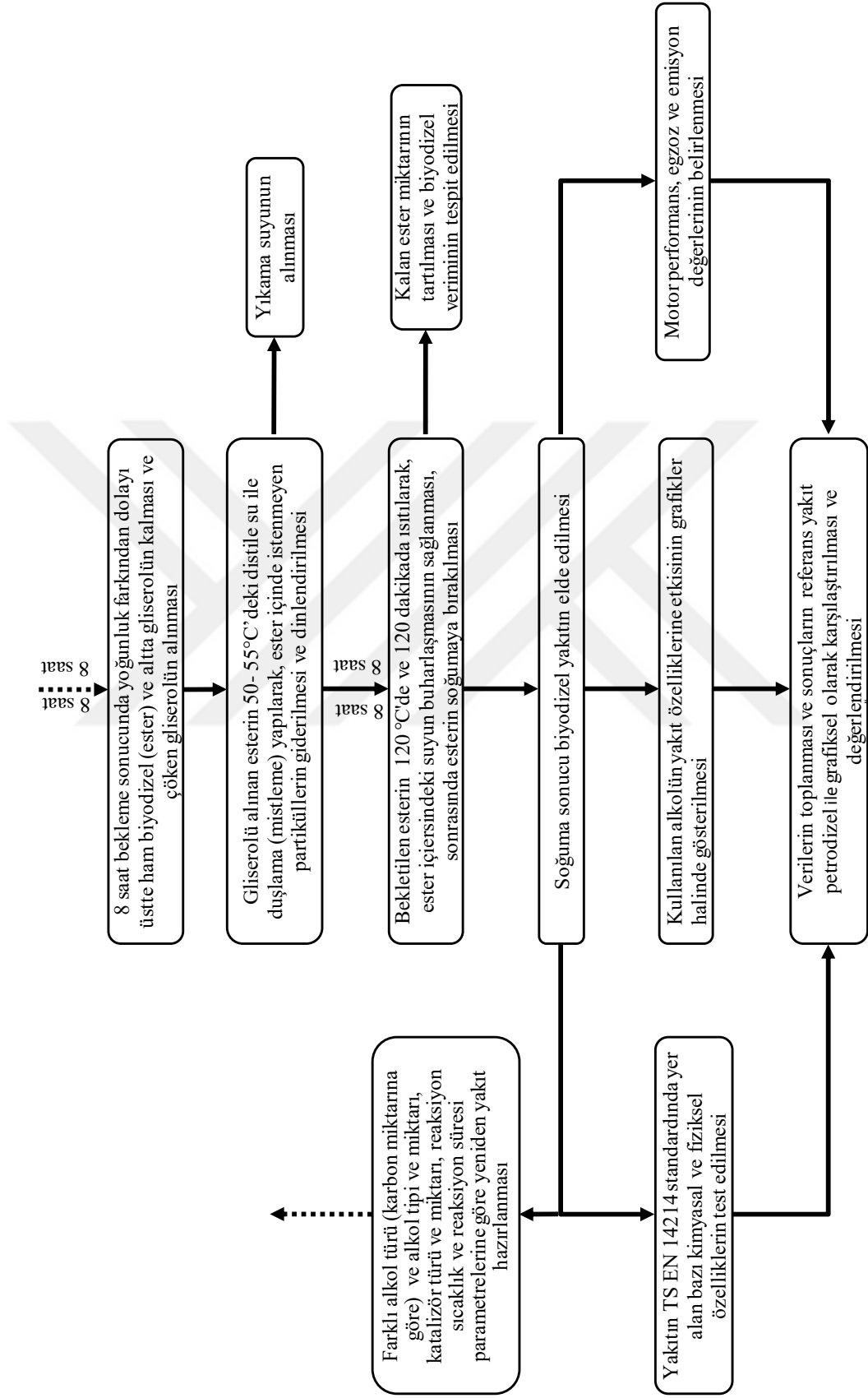
Yapılan tez çalışması, siyah hardal tohumunun temin edilmesinden verilerin analiz edilmesine kadar genel olarak 6 aşamada gerçekleşmiştir. Çalışma ile ilgili iş akış şeması Şekil 4.30’da verilmiştir. Bu aşamalardan kısaca bahsedilirse;

- ❖ Biyodizel üretiminde önemli girdilerden biri olan SHY elde etmek için, siyah hardal tohumunun vidalı preste sıkılarak siyah hardal ham yağının elde edilmesi ve filtrelenmesi,
- ❖ SHY’nin öncelikli olarak yağ asidi kompozisyonunun tespit edilmesi, sonrasında fizikokimyasal özelliklerinin belirlenmesi,

- ❖ SHY'nin farklı alkoller (M, E, İ, B, P) ve farklı alkali katalizörlerle (NaOH ve KOH) oluşturduğu transesterifikasyon reaksiyonuna etki eden parametrelerin (alkol çeşidi ve miktarı, katalizör çeşidi ve miktarı, reaksiyon sıcaklığı, reaksiyon süresi) optimizasyon sürecine uygulanan PRM desteğinin değerlendirilmesi,
- ❖ PRM destekli optimizasyonlar sonucu elde edilen optimum noktalara göre biyodizellerin üretiminin gerçekleştirilmesi,
- ❖ Üretilen biyodizel yakıtların ve referans yakıt olarak kullanılacak olan Euro dizelin (ED) yakıt özelliklerinin belirlenmesi,
- ❖ En son olarak, biyodizellerin ve ED yakıtının motor performans ve egzoz-emisyon ölçüm deneylerinin yapılması şeklinde ifade edilebilir.



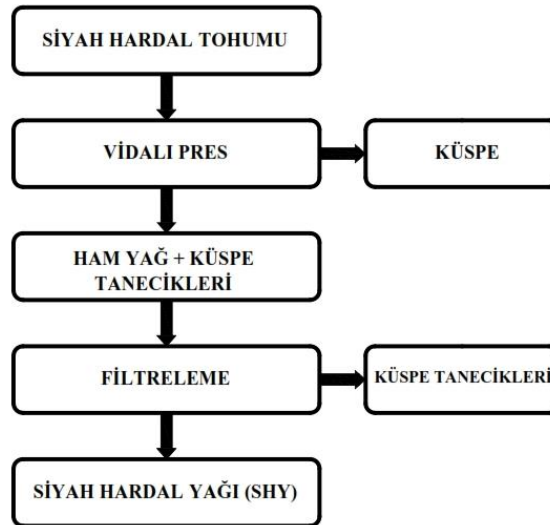
Şekil 4.30. Biyodizel Üretim ve Test İş Akış Şeması



Şekil 4.30. Biyodizel Üretim ve Test İş Akış Şeması (devamı)

4.2.1. Siyah Hardal Tohumundan Siyah Hardal Yağı Elde Edilmesi

Siyah hardal tohumları Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Biyoyakıt Laboratuvarı'nda bulunan vidalı yağ çıkarma presinde sıkılarak siyah hardal ham yağ elde edilmiştir. Tohumdan en iyi verimde yağı çıkarmak için tohum sıcaklığı, tohum nem içeriği ve küspe çıkış ağız çap ölçüsü önem arz etmektedir. Vidalı pres yağ çıkarma işleminde kullanılan Ø6, 8 ve 10 mm ölçülerinde küspe çıkış ağızları mevcuttur. Ağız çapı küçüldükçe tohumdan çıkan yağ miktarı artış göstermektedir. Tohum nem içeriğinin ise %5-7 aralığında ve tohum sıcaklığının minimum değer olarak 15 °C olması uygun görülmektedir. En iyi verimde siyah hardal yağı elde etmek için, tohum büyüklüğü de göz önüne alınarak 6 mm ölçüsünde küspe çıkış ağızı seçilmiştir. Presleme (sıkma) işlemine başlamadan önce, siyah hardal tohumunun sıcaklığı 19 ± 1 °C ve nem içeriği $5,42\pm 0,02$ olarak belirlenmiş ve cihazın başlık sıcaklığı 55 ± 1 °C'ye çıkartılmıştır. Optimizasyon, yakıt özelliklerinin tespiti, motor performans ve egzoz emisyon değerlerinin belirlenmesinde, 25 kg'lık torbalarda muhafaza edilen tohum torbalarından 9 adet kullanılmış ve toplamda 225 kg tohum sıkılmıştır. Cihazın bu tohum için tohum sıkma hızı bir başlık için ortalama 11.11 kg/saat olarak belirlenmiş, sıkma sonrası elde edilen ortalama filtrelenmemiş ham yağ oranı ise %24,49 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca, bu tohum için soxhlet ekstraksiyon işlemi sonucunda elde edilen ham yağ oranı ise %29,39 olarak saptanmıştır. Siyah hardal tohumundan vidalı pres yardımıyla SHY elde etme işlem aşamaları Şekil 4.31.'de verilmiştir.



Şekil 4.31. SHY Elde Etme İşlem Aşamaları

Sıkma işlemi sonrası siyah hardal ham yağı yaklaşık 1 hafta boyunca ısıya dayanıklı cam kavanozlarda ağzı sıkıca kapatılarak bekletilmiştir. Sıkma işlemi sırasında ham yağ içerisine karışmış küspe tanelerinin bekleme sonrasında alt tabana çöktüğü gözlemlenmiştir. Üst taraftaki yağ içerisinde asılı kalan küspe tanecikleri Whatman filtre kağıdı ile filtrelenmiştir. Filtreleme sonrası elde edilen SHY, optimizasyon ve/veya biyodizel üretimi için hazır hale gelmiştir. Siyah hardal tohumunun sıkılması, küspe, filtrelenmemiş ham yağ (sıkım işleminden hemen sonra ve dinlendirilmiş) ve filtre edilmiş yağ (SHY) Şekil 4.32’de verilmiştir.



Şekil 4.32. (a) Siyah Hardal Tohumunun Sıkılması, (b) Küspe, (c) Ham Yağ (Sıkım İşleminde Hemen Sonrası), (d) Ham Yağ (Dinlendirilmiş) ve Çöken Küspe Taneleri, (e) Filtre Edilmiş Yağ (SHY)

4.2.2. Siyah Hardal Yağı Fizikokimyasal Özellikleri ve Yağ Asidi Kompozisyonunun Belirlenmesi

Siyah hardal yağının; yoğunluk, kinematik viskozite, ısı değer, su içeriği, parlama noktası, renk, pH, nem içeriği, bulutlanma noktası, akma noktası, soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN) ve donma noktası Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Biyoyakıt Laboratuvarı’nda, yağ asidi kompozisyonu ve element tayini Yozgat Bozok Üniversitesi Bilim ve Teknoloji

Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde tespit edilmiştir. SHY'nin yağ asidi kompozisyonuna göre ortalama moleküler ağırlığı (M_w) Eşitlik 4.1, sabunlaşma sayısı (SV) Eşitlik 4.2, iyot sayısı (IV) Eşitlik 4.3 ve setan sayısı (CN) Eşitlik 4.4 formülleri kullanarak hesaplanmıştır [301, 302].

$$M_w = 3M_{ya} + M_{gl} - 3M_{su} \quad (4.1)$$

Burada, M_{ya} yağ asitlerinin ortalama moleküler ağırlığını, M_{gl} gliserolün moleküler ağırlığını (92.09) ve M_{su} suyun moleküler ağırlığını (18.01) ifade etmektedir.

$$SV = \sum \left(\frac{560 \times A_i}{MW_i} \right) \quad (4.2)$$

$$IV = \sum \left(\frac{254 \times D \times A_i}{MW_i} \right) \quad (4.3)$$

$$CN = \left(46.3 + \left(\frac{5458}{SV} \right) - (0.225 \times IV) \right) \quad (4.4)$$

Burada, A_i yağ asidi kompozisyonundaki her bir bileşenin oranını, D yağ asidi zincirindeki çift bağ sayısını ve MW_i (g/mol) bu bileşenlerin molar kütesini ifade etmektedir

SHY'nin yağ asidi kompozisyonu analizinde; kolon (fırın) sıcaklığı 70 °C ile analize başlanmış ve bu sıcaklıkta 1 dakika bekletilmiştir. Sonrasında her bir dakikada sıcaklık 20 °C arttırılmış ve 120 °C ye çıkartılmıştır. Bu sıcaklıkta 2 dakika bekletilmiştir. Bir sonraki aşamada, her bir dakikada sıcaklık 10 °C arttırılmış ve 180 °C'ye çıkartılarak bu sıcaklıkta 3 dakika bekletilmiştir. Son aşamada sıcaklık dakikada 5 °C arttırılmış ve 240 °C ye çıkartılarak bu sıcaklıkta 10 dakika bekletilmiştir.

4.2.3. Polinomsal Regresyon Matematiksel Modeli

Bazı mühendislik hesaplamalarında, verilerin oluşturduğu model doğrusal bir çizgi için uygun değildir. Bu gibi durumlarda veriler için uygun bir eğri kullanmak gerekir. Böyle zamanlarda, polinom regresyonu değerlendirilebilir bir yöntemdir.

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_m x^m + e \quad (4.5)$$

$$e=y-a_0-a_1 x_1-a_2 x_1^2 \dots \dots \dots -a_m x_1^m \quad (4.6)$$

Eşitlik 4.5 ve 4.6’da verilen y bağımlı değişken, x bağımsız değişken, m polinom derecesi, e ise model ve gözlemler arasındaki hatadır. a_0, a_1, \dots, a_m sabit katsayıları ifade etmektedir. Belirleme katsayısı Eşitlik 4.7 ile hesaplanır.

$$R^2 = \frac{S_t - S_r}{S_t} \quad (4.7)$$

$$S_t = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, \quad \bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} \quad (4.8)$$

$$S_r = \sum_{i=1}^n (e_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_1 - a_2 x_1^2 \dots \dots \dots - a_m x_1^m)^2 \quad (4.9)$$

Eşitlik 4.7, 4.8 ve 4.9’da verilen R^2 belirleme katsayısını, S_t bağımlı değişkenin yani y’nin ortalama y (\bar{y}) değerinden farkının karelerinin toplamını, S_r ise artık kareler toplamını ifade etmektedir [303]. Belirleme katsayısının 1’e eşit olması durumunda, uydurulan eğri örneklemedeki tüm bağımlı değişken değerlerindeki farklılaşmayı açıklarken, belirleme katsayısının 0’a eşit olması regresyon denkleminin verideki değişkenliği açıklayamadığını ifade etmektedir.

4.2.4. Siyah Hardal Yağı Biyodizeli Üretiminin Optimizasyonu

Optimizasyonun amacı; prosesin belirlenen hedef doğrultusunda ve bir dizi öncelikli kriter veya kısıtlamalar çerçevesinde, bağımsız değişkenlerin birbirleriyle olan etkileşimleri ve bu değişkenlerin hedefe olan etkileri hesaba katılarak bir araya getirilip uygulanması işlemidir [304]. Bu konuda en yaygın hedefler, maliyetin en aza indirgenmesi ve/veya verimliliğin en üst düzeye çıkartılmasıdır. Günümüzde, rekabet, maliyet ve verim kistaslarının öne çıktığı piyasada optimizasyon teorisi ve tekniklerinin bilinmesi önem arz etmektedir. Biyodizel üretimi öncesi, transesterifikasyon işleminin parametrelerini optimize etmek için konvansiyonel [305–307], merkezi kompozit tasarım [308–310], Box-Behnken [311–313], Taguchi [314–316], yapay sinir ağları [317,318] gibi birçok optimizasyon tekniği

uygulanmaktadır. Çalışmamızda kullanılan PRM destekli optimizasyon ile ilgili biyodizel çalışmasına yapılan araştırmalar doğrultusunda rastlanılmamıştır.

SHYB üretimine geçmeden önce, en iyi verimi elde etmek için transesterifikasyon reaksiyonunu etkileyen bazı parametreler kullanılarak optimizasyon çalışması yapılmıştır. İncelenen parametreler alkolün yağa oranı (ağırlıkça), alkol çeşidi, katalizör miktarı, katalizör çeşidi, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi şeklindedir. Optimizasyon işlemleri, Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Biyoyakıt Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon çalışmalarında, M, E, İ, B, P olmak üzere beş çeşit farklı alkol ve NaOH, KOH olmak üzere iki çeşit alkali katalizör kullanılmıştır. Optimizasyon prosesi öncesi, reaksiyonun kademesini belirlemek için SHY'nin SYA değeri belirlenmiştir. SYA değerinin %0.5'den düşük olması [215–218] nedeniyle ön iyileştirme (esterifikasyon) reaksiyonuna ihtiyaç duyulmadan tek kademeli olarak gerçekleştirilmiştir. Bütün optimizasyon işlemlerinde karıştırma hızı sabit tutularak 600 d/d olarak alınmıştır. Optimizasyon işleminde kullanılan parametreler ve sayısal değerler M ve E için Tablo 4.6' da ve İ, B, P için Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.6. Optimizasyon İşleminde Kullanılan Parametreler ve Sayısal Değerler (M ve E için)

		KATALİZÖR ÇEŞİDİ	KATALİZÖR MİKTARI (% ağı.)				ALKOL-YAĞ ORANI (% ağı.)				REAKSİYON SICAKLIĞI (°C)				REAKSİYON SÜRESİ (dk.)			
ALKOL ÇEŞİDİ	METANOL	SODYUM HİDROKSİT	0.2	0.4	0.6	0.8	10	15	20	25	30	40	50	60	30	45	60	75
			1.0	1.2	1.5	30	70	90										
		POTASYUM HİDROKSİT	0.4	0.6	0.8	1.0	10	15	20	25	30	40	50	60	30	45	60	75
			1.2	30	70	90												
	ETANOL	SODYUM HİDROKSİT	0.5	0.6	0.7	0.8	30	35	40	45	30	40	50	60	30	45	60	75
			0.9	1.0	50	70	80	90										
		POTASYUM HİDROKSİT	0.7	0.8	0.9	1.0	40	42.5	45	30	40	50	60	30	45	60	75	
			1.1	47.5	50	70	90											

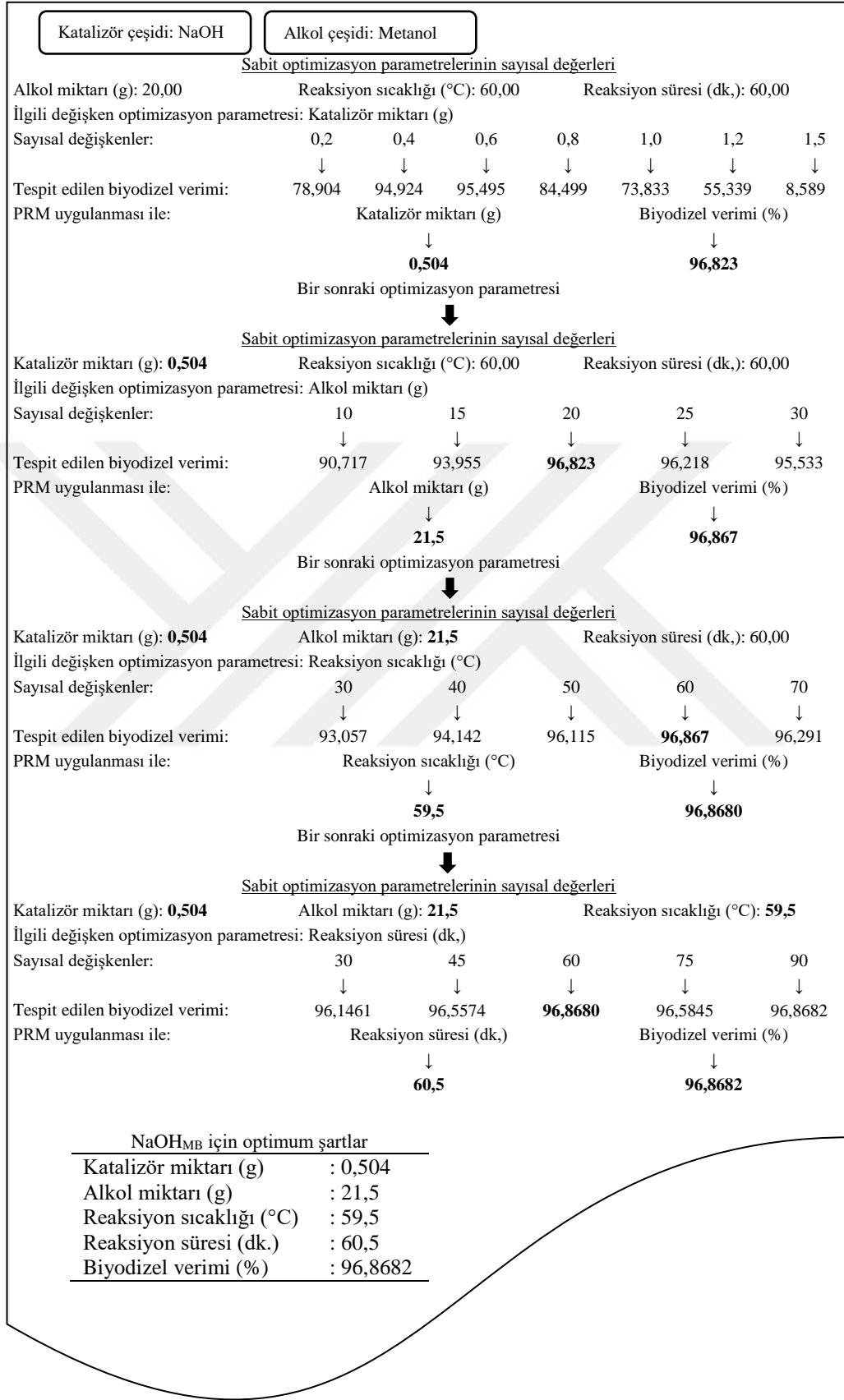
Tablo 4.7. Optimizasyon İşleminde Kullanılan Parametreler ve Sayısal Değerler (İ, B ve P için)

		ALKOL ÇEŞİDİ	KATALİZÖR MİKTARI (% ağı.)	ALKOL:YAĞ MOLAR ORANI (% ağı.)	REAKSİYON SICAKLIĞI (°C)	REAKSİYON SÜRESİ (dk.)
KATALİZÖR ÇEŞİDİ	SODYUM HİDROKSİT	İZO-PROPANOL (2-PROPANOL)	0.5 1.0 1.5	3:1 6:1 9:1 12:1 15:1	40 70	60
		BÜTANOL (1-BÜTANOL)	0.5 1.0 1.5	3:1 6:1 9:1 12:1 15:1	50 100	60
		PENTANOL (1-PENTANOL)	0.5 1.0 1.5	3:1 6:1 9:1 12:1 15:1	60 130	60

Her bir deney sonucunda belirlenen biyodizel verimi aşağıda verilen Eşitlik 4.10 ile tespit edilmiştir [319].

$$\text{Biyodizel verimi (\%)} = \frac{\text{Üretilen biyodizel miktarı (g)}}{\text{Kullanılan yağ miktarı (g)}} \times 100 \quad (4.10)$$

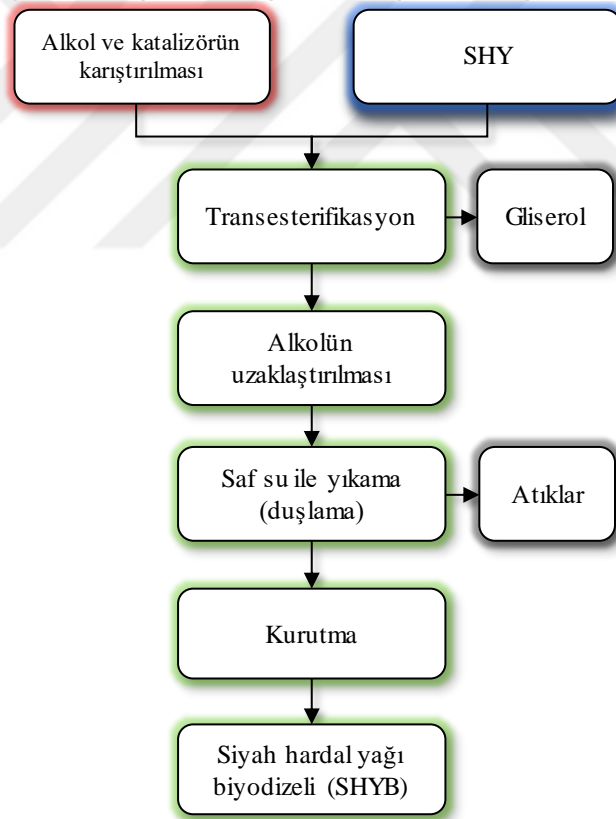
M, E, İ, B ve P ile yapılan optimizasyon proseslerinde; M ve E kullanıldığı, NaOH ve KOH katalizörleri varlığında yapılan testlerde SHYB elde edilirken, İ, B ve P'nin kullanıldığı NaOH katalizör eşliğinde yapılan testlerde ester ve gliserol ayrışmasının gerçekleşmediği gözlenmiştir. Sonuçların karşılaştırılması yapılacağından dolayı bu alkollerin KOH katalizörü ile ilgili test çalışmaları yapılmamıştır. Optimizasyon prosesi boyunca, incelenen her bir parametrenin sonucunda elde edilen biyodizel verimlerini ve ilgili parametre için belirlenen sayısal değişkenleri kullanarak PRM uygulanmıştır. Belirleme katsayısına yaklaşmak ve en yüksek biyodizel verimine karşılık gelen ilgili parametreye ait değişkeni tespit etmek için, uygulanan PRM'nin derecesi kullanılan sayısal değişken miktarının bir eksiği kadar dereceye sahip olacak şekilde seçilmiştir. Tespiti sağlanan sayısal değişken bir sonraki parametrenin sabit değişkeni olacak şekilde optimizasyon işlemine devam edilmiştir. Bu durum ile ilgili örnekleme Şekil 4.33'de verilmiştir.



Şekil 4.33. PRM Uygulanan Optimizasyon İşlemine Ait Bir Örnekleme

4.2.5. Siyah Hardal Yağı Biyodizeli (SHYB) Üretimi

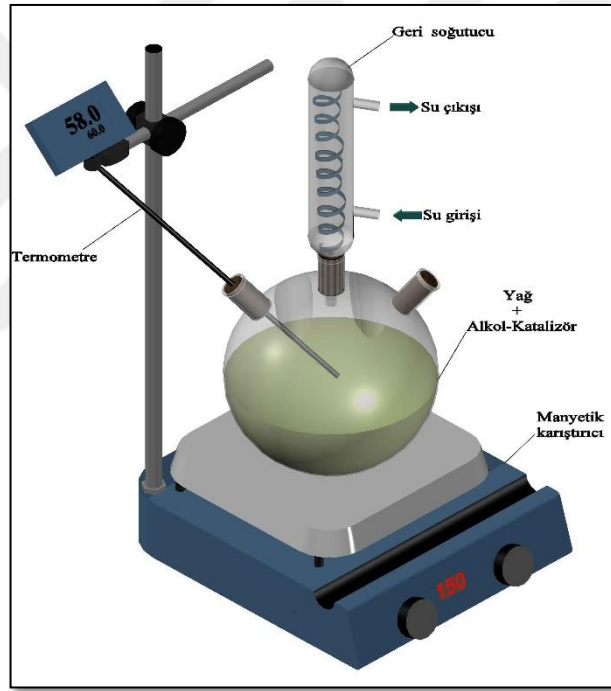
Biyodizel üretiminde çeşitli teknolojiler kullanılmakla birlikte, günümüz çalışmalarında en çok tercih edilen yöntem transesterifikasyon reaksiyonudur [204, 320]. Homojen alkali (bazik) katalize transesterifikasyon reaksiyonu düşük sıcaklık ve basınç gerektirmesi, ekonomik olması vb. avantajları nedeniyle biyodizel üretim tekniklerinde yaygın ve öne çıkan bir yöntemdir [321, 322]. Transesterifikasyon reaksiyonu ile SHYB üretiminde hammadde olarak SHY, alkol ve katalizör kullanılmıştır. SHYB üretimi; alkol ve katalizörün karıştırılması, transesterifikasyon reaksiyonu, ester ve gliserolün ayrıştırılması, alkolün uzaklaştırılması, esterin yıkanması ve atıklardan ayrıştırılması ve kurutma aşamalarından oluşmaktadır (Şekil 4.34.)



Şekil 4.34. SHYB Üretim Aşamaları

SHYB üretmek için Şekil 4.35’de verilen üç boyunlu dibi yuvarlak cam balon kullanılmıştır. Cam balonun bir boynuna ısıtıcıli manyetik karıştırıcıya bağlı olan elektronik kontak termometre, orta boynuna geri soğutucu (geri akış kondansatörü)

yerleştirilmiştir. Üçüncü boyun kısmı ise sadece alkol-katalizör karışımını dökmek için kullanılmıştır. İşlemlere başlamadan önce, yağ içerisindeki su içeriğinin 600 ppm altında olması istenildiğinden [213,214], filtrelenmiş yağ 120 °C’de 2 saat süresince kurutulmuştur. Kurutma işlemi sonrası, cam balon içerisine SHY 100 g (± 0.01) konulmuş ve istenilen reaksiyon sıcaklığına ısıtılması için ısıtıcılı manyetik karıştırıcıya yerleştirilmiştir Aynı zamanda, alkol (metanol veya etanol) ve katalizör (NaOH veya KOH) vida kapaklı cam bir şişe içerisinde belirlenen miktarlarda diğer manyetik karıştırıcıda ısıtıcı çalıştırılmadan karıştırılmıştır. SHY istenen sıcaklığa ulaştığında, alkol-katalizör çözeltisi yavaşça cam balon içerisine eklenmiştir. Ekleme anı ile birlikte kronometre çalıştırılarak reaksiyon süresi başlatılmıştır.



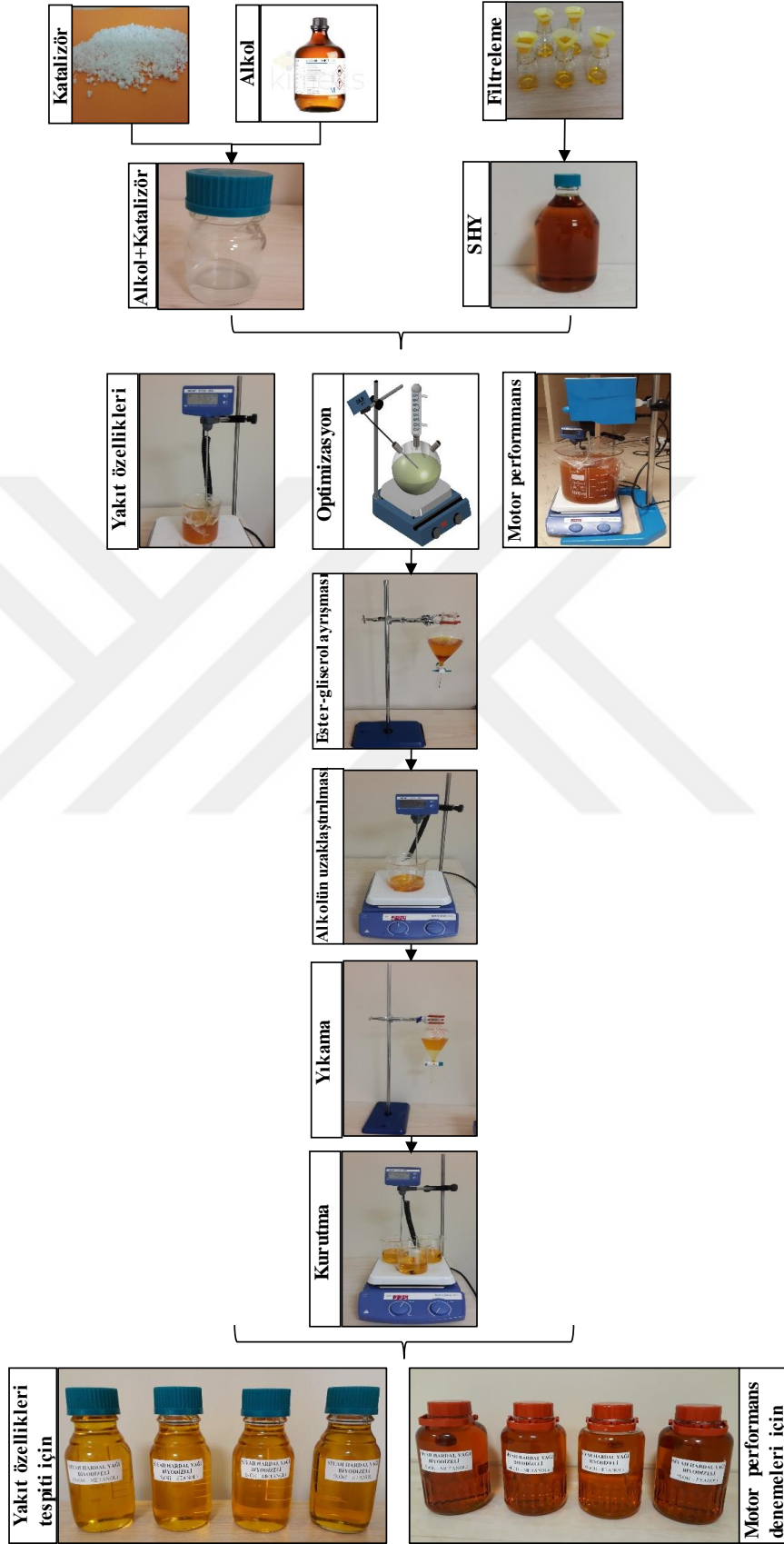
Şekil 4.35. SHY'nin SHYB'ye Transesterifikasyonu İçin Deneysel Kurulum

Karıştırıcı devri 600 d/d sabit olacak şekilde ayarlanmış ve transesterifikasyon işlemi reaksiyon süresi bitene kadar devam etmiştir. İşlem gerekli sıcaklığa ulaştığında, cihazın ısıtılması ve karıştırılması durdurulmuştur. Hemen sonrasında reaksiyona giren karışım bir ayırma hunisine alınmış, ester ve gliserolün farklı yoğunluklara sahip olması gerçeğinden dolayı, gliserol altta olacak şekilde çökme başlamıştır. Metanol kullanıldığında kısa sürede (10 dakikadan daha az) gliserolün büyük bir kısmının çökmesi gerçekleşirken [211], etanol ile yapılan işlemlerde çökme daha geç

oluşmuştur. Gecikmenin sebeplerinden biri, etanolün indüktif etkisinin, metanolünkünden daha güçlü olmasıdır. Bu durum etoksit anyonunu oluşturmada zorluklar içerebilmektedir. Ayrıca, etanolizde emülsiyonların stabil yapısı nedeniyle etil esterleri ayırmak ve saflaştırmak zor olabilmektedir [323, 324]. Ürün, gliserol ve esterin tamamen ayrılması için gece boyunca bekletilmiştir. Bir gün bekleme sonrası çöken gliserol alınmış ve ester içerisindeki reaksiyona girmemiş alkolü uzaklaştırmak için alkolün kaynama noktası sıcaklığı üzerinde 1 saat boyunca ısıtılmıştır. Bu sıcaklıklar; alkollerin kaynama noktası sıcaklığına bağlı olarak, metanol için 70 °C ve etanol için 85 °C olarak seçilmiştir. Atık katalizör, serbest gliserol, su ve sabunlar estere yapışabilmektedir. Aynı şekilde, yakıttaki su içeriği 500 ppm değerinden büyük olması durumunda, bakteri, pas, çamur vb. istenmeyen durumlar meydana gelebilmektedir [325-328]. Bu durumları ortadan kaldırmak için bir sonraki aşamada, saf (distile) su ile duşlama metodu adı verilen yıkama gerçekleştirilmiştir. Yıkama suyu miktarı yaklaşık olarak ester miktarının %25'i olacak şekilde belirlenmiştir. Sonrasında, iyi bir arındırmanın gerçekleşmesi için yıkanmış ester yaklaşık bir gün dinlendirilmiştir. Bir sonraki gün, ester içerisindeki suyun tam olarak buharlaştırılması için 2 saat boyunca yaklaşık 120 °C'de kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Kurutma sonrası biyodizeller; yakıt özellikleri tespiti için hazırlananlar 250 mL hacimli vida kapaklı cam şişelerde, motor performans ve egzoz-emisyon ölçümleri için hazırlananlar ise 8 litrelik cam şişelerde muhafaza edilmiştir. Motor performans ve egzoz-emisyon ölçümleri için gerekli olan biyodizellerin üretimi 5-10 litrelik cam beherlerde mekanik karıştırıcı yarımıyla gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon süresince ve üretim sonucu elde edilen biyodizellere kullanılan alkol ve katalizör çiftine göre adlandırılan kısaltmalar Tablo 4.8'de, biyodizel üretim aşamaları küçük resimler halinde Şekil 4.36'da verilmiştir.

Tablo 4.8. Optimizasyon Süresince ve Üretilen Biyodizellere, Kullanılan Alkol ve Katalizör Çiftine Göre Adlandırılan Kısaltmalar

Alkol	Katalizör	Biyodizel adı	
		Optimizasyon süresince	Üretim sonrası
Metanol	NaOH	NaOH _M	NaOH _{MB}
Etanol	NaOH	NaOH _E	NaOH _{EB}
Metanol	KOH	KOH _M	KOH _{MB}
Etanol	KOH	KOH _E	KOH _{EB}



Şekil 4.36. Biyodizel Üretim Aşamaları

4.2.6. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi

NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtların yoğunluk, kinematik viskozite, ısıl değer, su içeriği, parlama noktası, renk, pH, nem içeriği (tohumda), bulutlanma noktası, SFTN, akma noktası ve donma noktası değerleri Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Biyoyakıt Laboratuvarı'nda; yağ asidi kompozisyonu ve element tayinleri Yozgat Bozok Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde tespit edilmiştir. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB} ve KOH_{EB} yakıtların yağ asidi kompozisyonuna göre SV Eşitlik 4.2, IV Eşitlik 4.3, CN Eşitlik 4.4, doymamışlık derecesi (DU) Eşitlik 4.11 [150] ve oksidasyon kararlılığı (COX) Eşitlik 4.12 [329] formülleri kullanarak hesaplanmıştır.

$$DU = \Sigma TDYA + 2x \Sigma \dot{C}DYA \quad (4.11)$$

$$COX = \{ [C18:1(\%)] + 10,3[C18:2(\%)] + 21,6[C18:3(\%)] \} / 100 \quad (4.12)$$

Yakıt özelliklerinin belirlenmesi için hazırlanan yakıtlar Şekil 4.37.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.37. Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Hazırlanan NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlar

4.2.7. SHY, NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB} ve KOH_{EB} Yakıtlarının Serbest Yağ Asidi ve Asit Sayılarının Tespit Edilmesi

SHY, NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB} ve KOH_{EB} yakıtlarının SYA ve asit sayısı (AS) değerlerinin tespiti Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Biyoyakıt Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. SYA ve AS deneysel olarak belirlemede aynı metot uygulanmaktadır. Bu değerlerin tespitinde izlenen yol aşağıda verilmiştir [330].

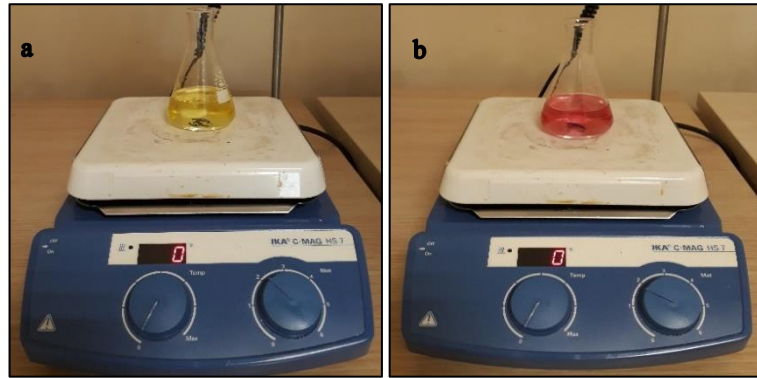
SYA ve AS'nin belirlenmesinde izlenen yol:

1. Öncelikli olarak analiz edilecek yağ veya biyodizel numunesinden 250 ml hacimli erlenmayere 5-10 gram aralığında örnek tartılır ve not edilir.
2. Tartılan örnek üzerine etanol ve dietileter karışımından 50-100 ml eklenir. Karıştırma işlemi ile yağ/biyodizel ve yağ asitlerinin çözünmesi için 1 dakika karıştırılır (Şekil 4.38a).
3. Karıştırma sonrası karışıma 3-4 damla fenolftalein indikatör çözeltisi damlatılır ve karışım içinde çözünmesi için yaklaşık 1 dakika beklenir.
4. 0,1 N etanollü KOH çözeltisi musluklu bürete dökülür ve hangi çizgide olduğu okunur. Sonrasında, KOH çözeltisi kullanılarak fenolftalein dökülmüş karışım pembeleşinceye kadar titrasyon işlemi yapılır (Şekil 4.38b).
5. Pembeleşme gözlemlenince, KOH çözeltisinin musluklu bürette hangi çizgide olduğu okunur. Okunan ilk değer ile son değer arasındaki fark hesaplanarak not edilir. Eşitlik 4.13 ve Eşitlik 4.14 kullanılarak SYA ve AS hesaplanır.

$$SYA = \frac{V}{m} \times 2,82 \quad (4.13)$$

$$AS = \frac{V}{m} \times 5,6 \text{ mg KOH/g} \quad (4.14)$$

Burada, V titrasyonda sarf edilen 0,1 N etil alkollü KOH çözeltisi hacmi (ml), m tartılan numunenin kütlesi (g) şeklinde ifade edilmektedir.



Şekil 4.38. Asit Sayısı Ölçümlerinde; (a) Pembeleşme Öncesi Karışım, (b) Pembeleşme Sonrası Karışım

4.2.8. Motor Karakteristik Deneyleri

Motor performans ve egzoz-emisyon deneyleri, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri ve Teknoloji Mühendisliği bölümünde bulunan motor deney ve test düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Denemeler, Şekil 4.39'da verilen 8 litrelik cam kavanozlarda bulunan NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED yakıtları ile yapılmıştır.



Şekil 4.39. Motor Performans ve Egzoz-Emisyon Değerlerinin Tespit Edilmesi İçin Hazırlanan NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED Yakıtlar

4.2.8.1. Motor Performans ve Egzoz-Emisyon Deneylerinin Yapılması

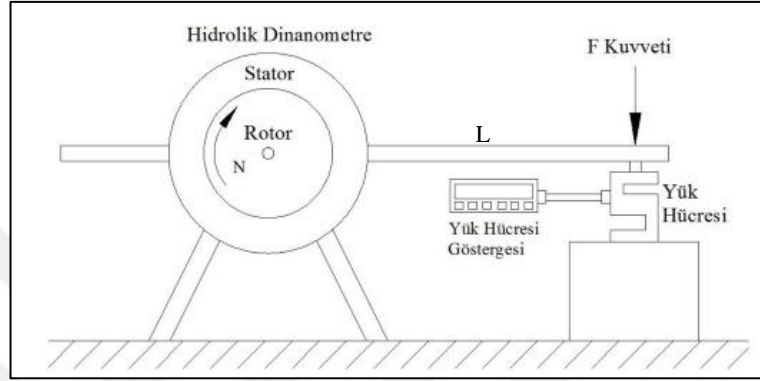
İlk Denemeye ED yakıtı ile başlanmış ve motorun çalışma sıcaklığına (85-90 °C) gelmesinde sonra, motora tam gaz verilerek Netfren marka hidrolik dinamometre ile yükleme yapılmıştır. 3200 d/d motor devrinden başlayarak, 100 d/d aralıklar ile motor devirleri sabit tutularak 1100 d/d motor devrine kadar motor performansı ve egzoz emisyonları belirlenmiştir. Denemeler sırasında ortam sıcaklığı 25 °C olarak kaydedilmiştir.

4.2.8.2. Deneylerde Ölçülen Parametreler

4.2.8.2.1. Efektif Motor Torku

Hidrolik dinamometreler genel olarak; rotor, stator, kanatçık ve yük hücresinde oluşmaktadır. Rotor hareketini motordan alan mile düşük sürtünmeli yatak ile desteklenmiştir. Rotorla birleşik konumda olan stator da gövdeye dönme hareketi edecek şekilde sabitlenmiştir. Motorun dönmesi ile rotorda aynı yönde dönmeye başlar. Rotor ve stator arasındaki kanatçıklara su girişi ile birlikte rotorun dönme kuvveti statora etki ederek döndürmeye çalışmaktadır. Stator dönmek isterken

üzerinde bulunan kol yük hücreğine baskı yapmakta ve bir devirde 2π yolu boyunca kuvvet uygulamaktadır. Bu kuvvete motorun döndürme kuvveti, bu kuvvetin oluşturduğu momente ise motorun döndürme momenti olarak ifade edilmektedir. Hidrolik dinamometre ve yük hücreğinin gösterildiğı şematik görünümü Şekil 4.40.'da verilmiştir.



Şekil 4.40. Hidrolik Dinamometre ve Yük Hücreğinin Şematik Görünümü [331]

Yük hücreğinin ile motor merkezi arasındaki uzaklığı bağı olarak belirlenen motorun o anda üretmiş olduğı efektif tork Eşitlik 4.15 ile hesaplanmıştır.

$$M_e = FL \quad (4.15)$$

Burada; M_e efektif motor torkunu (Nm), F motorun döndürme kuvvetini (N), L ise yük hücreğinin ile rotor merkezi arasındaki mesafeyi (0,35 m) belirtmektedir.

4.2.8.2.2. Yakıt Tüketimi

Şekil 4.27'de gösterilmiş olan yakıt deposu alt kısmına yerleştirilmiş yük hücreğinin ve motor test yazılımı sayesinde yakıt tüketimi ölçülmüştür. Yakıt miktarındaki değışim değıerleri yük hücreğinin aracılığıyla veri toplama kartına gönderilir, yazılım ise bu değıerleri kullanarak yakıt miktarının zamana bağı değışimlerini dijital olarak gösterir. Ölçülen yakıt tüketimi birimi g/s'dir.

4.2.8.2.3. Motor ve Egzoz Gazı Sıcaklıkları

Denemelerde, motor yağı, egzoz gazı ve motor soğutma suyu sıcaklıklarını belirlemede kullanılan sıcaklık ölçerler; motor yağı sıcaklığı için kartere, egzoz gazı

sıcaklığı için egzoz manifolduna mümkün olduğu kadar yaklaştırılmış en yakın mesafeye ve motor soğutma suyu sıcaklığı için soğutucunun radyatöre giriş ve çıkış yaptığı noktalara bağlanarak ölçümler alınmıştır.

4.2.8.2.4. Emisyon Ölçümü

NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtları kullanılarak yapılan denemeler sonucunda elde edilen HC, CO, CO₂, SO₂ ve NO_x değerleri karşılaştırılmıştır.

4.2.8.3. Deneyler Sonucu Hesaplanan Parametreler

4.2.8.3.1. Efektif Motor Gücü

Efektif güç, efektif motor torku ile bu değer elde edildiği açısal hız kullanılarak hesaplanmıştır. Efektif güç (P_e); Eşitlik 4.16, Eşitlik 4.17, Eşitlik 4.18 ve Eşitlik 4.19 kullanılarak elde edilmiştir.

$$P_e = \omega M_e \quad (4.16)$$

Açısal hız birimi d/d cinsinden yazılırsa,

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (4.17)$$

Bulunan açısal hız Eşitlik 4.16'da yerine yazılıp sonuç kW birimine dönüştürüldüğünde,

$$P_e = \frac{\pi n M_e}{30 \cdot 10^3} \quad (4.18)$$

eşitliği elde edilir. Gerekli sadeleştirmeler yapılırsa,

$$P_e = \frac{M_e n}{9549,3} \quad (4.19)$$

eşitliği elde edilir. Burada; P_e efektif motor gücü (kW), M_e efektif motor torku (Nm) ve n ise motor devrini (d/d) ifade etmektedir.

4.2.8.3.2. Efektif Özgül Yakıt Tüketimi

Efektif özgül yakıt tüketimi; ölçülen yakıt tüketimi ve efektif motor güç değerleri kullanılarak hesaplanan bir değer olmakla birlikte, birim zamanda birim güç elde

etmek için harcanan yakıt tüketimi miktarını ifade etmektedir. Efektif özgül yakıt tüketimi Eşitlik 4.20 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$b_e = \frac{B_e 3600}{P_e} \quad (4.20)$$

Burada; b_e efektif özgül yakıt tüketimini (g/kWh), B_e yakıt tüketimini (g/s) ve P_e ise efektif motor gücünü (kW) ifade etmektedir.

4.2.8.3.3. Efektif Termik Verim

Efektif termik verim; yakıtın yanması sonucu oluşan ısı enerjisine karşılık, motorun bu enerjiyi faydalı işe dönüştürme oranıdır ve Eşitlik 4.21 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\eta_t = \frac{3600 \times 10^3}{b_e H_u} \quad (4.21)$$

Burada; η_t efektif termik verim (%), b_e efektif özgül yakıt tüketimi (g/kWh) ve H_u yakıtın alt ısıl değerini (kJ/kg) ifade etmektedir.

Yanma sonunda oluşan ısı enerjisinin büyük bir kısmının soğutma ve yağlama sistemi ile yanmış egzoz gazları tarafından motordan uzaklaştırılmaktadır. Bu kayıplardan geriye kalan ısı motorlardan güce dönüşebilmektedir.

4.2.8.3.4. Ortalama Efektif Basınç

Ortalama efektif basınç, gerçek çevrim sırasında üretilen işe eşit işi veren ve tüm güç stroku süresince pistonu etki ettiği varsayılan ortalama bir basınç değeridir. Ortalama efektif basınç Eşitlik 4.22 kullanılarak elde edilmiştir.

$$P_{mep} = \frac{P_e f 60}{V_h Z n} \quad (4.22)$$

Burada; P_{mep} ortalama efektif basıncı (kPa), P_e efektif motor gücünü (kW), f çevrim katsayısını (dört zamanlı motorlar için $f=2$), V_h kurs hacmini (m^3), Z silindir sayısını ve n motor devrini (d/d) ifade etmektedir. Tez çalışmasında kullanılan motor için kurs hacmi Eşitlik 4.23 kullanılarak belirlenmektedir.

$$V_h = \pi D^2 L Z / 4 \quad (4.23)$$

Burada; D silindir çapı (cm) olup 10,8 cm, L strok (cm) olup 10 cm'dir. Buradan strok hacmi;

$$V_h = \pi(10,8)^2 * 10 * 1/4 = 916,08 \text{ cm}^3 = 0,916 \times (10)^{-3} \text{ m}^3$$

şeklinde elde edilir.



5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. Siyah Hardal Yağının Fizikokimyasal Özellikleri ve Yağ Asidi Kompozisyonu

Optimizasyon çalışmalarına başlamadan önce; SHY'nin fizikokimyasal özellikleri tespit edilmiş ve SHY ile ilgili yağ asidi kompozisyonu belirlenmiştir. SHY'nin su içeriğinin 600 ppm altında olması [213, 214] ve SYA değerinin %0,5'den düşük olması [215-218] hususlarından dolayı tek kademeli biyodizel üretimi uygun görülmüştür. SHY'nin fizikokimyasal özellikleri Tablo 5.1.'de ve yağ asidi kompozisyonu ise Tablo 5.2'de verilmiştir.

Tablo 5.1. SHY'nin Fizikokimyasal Özellikleri

Özellik	Birim	SHY
Ortalama moleküler ağırlığı	g/mol	978,51
Kinematik viskozite (40 °C'de)	mm ² /s	36,7745 ± 0,00309
Kinematik viskozite (100 °C'de)	mm ² /s	8,683 ± 0,0103
Viskozite indeksi		227
Yoğunluk (15 °C'de)	g/cm ³	0,91717 ± 0,000129
Isıl değer	MJ/kg	39,6123 ± 0,3762
Parlama noktası	°C	216
Su içeriği	mg/kg	570,93 ± 12,28
Asit sayısı	mg KOH/g	0,941± 0,076
Serbest yağ asitliği	%oleik	0,474± 0,038
Renk (ASTM D1500)	-	2,5
Sabunlaşma sayısı	mg KOH/g	180,13
İyot Sayısı	g I ₂ /100g	94,99
Setan sayısı	-	55,226
pH	-	7,53
Bulutlanma noktası	°C	-3
Akma noktası	°C	-12
SFTN	°C	-*
Donma noktası	°C	-25

*Tespit edilememiştir.

Tablo 5.2. SHY Yağ Asidi Kompozisyonu

No	Yağ asidi	Molekül ağırlığı	Yapı	Formül	SHY
1	Palmitik	256	16:0	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	2,14
2	Palmitoleik	254	16:1	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	0,03
3	Stearik	284	18:0	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	1,34
4	Oleik	282	18:1 9c	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	10,81
5	Elaidik	282	18:1 11c	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	0,08
5	Linoleik	280	18:2	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	20,84
6	Araşidik	312	20:0	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	1,35
7	Gadoleik	310	20:1 9c	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	0,14
8	Gondoik	310	20:1 11c	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	18,06
9	Behenik	340	22:0	C ₂₂ H ₄₄ O ₂	1,02
10	Erusik	339	22:1	C ₂₂ H ₄₂ O ₂	40,53
11	Lignoserik	368	24:0	C ₂₄ H ₄₈ O ₂	0,60
12	Nervonik	367	24:1	C ₂₄ H ₄₆ O ₂	3,07
	ΣDoymuş				6,45
	ΣTDYA				72,72
	ΣÇDYA				20,84

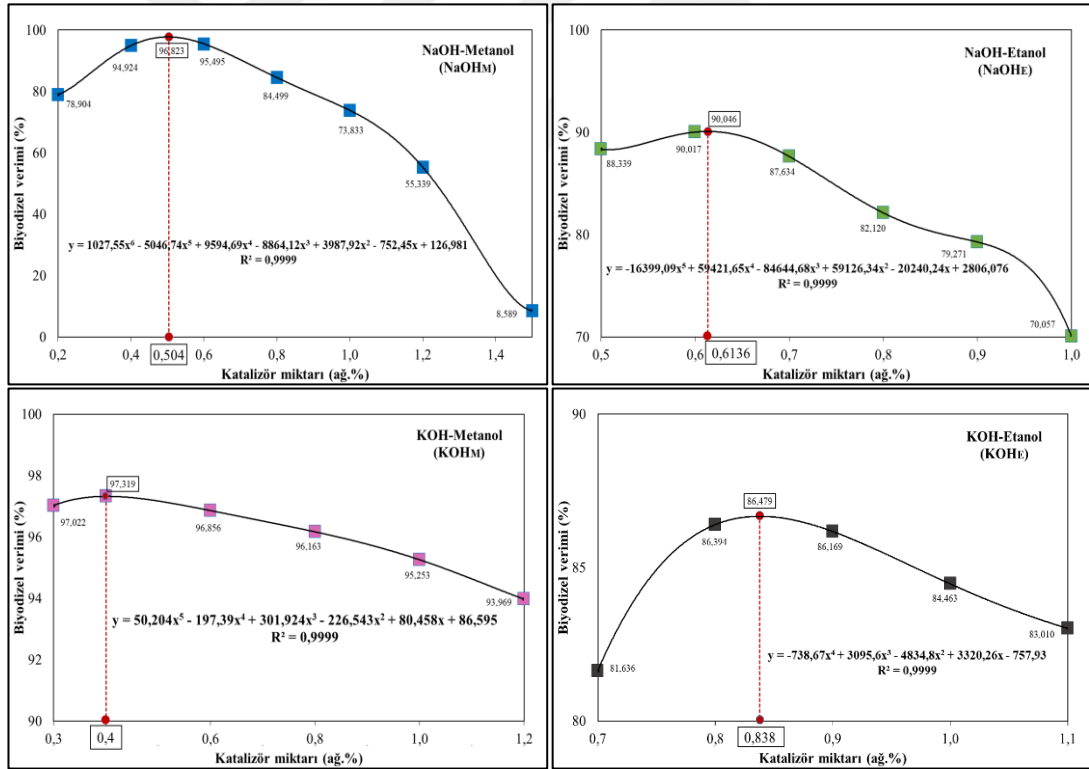
Tablo 5.2’de görüldüğü gibi, SHY yağ asidi kompozisyonunda en baskın doymuş yağların erusik asit (C22:1; %ağ. 40,53), linoleik asit (C18:2 ; %ağ. 20,84), gondoik asit (C20:1 11c; %ağ. 18,06), oleik asit (C18:1 9c; 10,81) olduğu analiz edilmiştir. 4. Bölüm 4.1.1. alt ana başlığında bahsedildiği gibi, erusik asit yönünden zengin yağların endüstriyel uygulamalarda sakıncası olmadığı ancak yağda bulunan yüksek erusik asit kalpte, damarlarda yağ birikmesiyle birlikte kardiyolojik problemlere yol açmaktadır [298, 299, 332]. Düşük miktarda bulunan yağ asitleri ise; nervonik (C24:1; %ağ. 3,07), palmitik (C16:0; %ağ. 2,14), araşidik (C20:0; %ağ.1,35), stearik (C18:0; %ağ.1,34), behenik (C22:0; %ağ.1,02) ve diğer asitler (%ağ.1’in altında) şeklindedir. Ayrıca, SHY’nin TDYA değeri (%ağ.72,72) oldukça yüksek çıkmıştır. Oğuz ve Öğüt çalışmalarında [333], uzun kimyasal yapıya sahip, tek çift bağlı ve dallanmış zincirli yağ asitleri içeren bitkisel yağların, alternatif bir yakıt olarak dizel motorlar için uygun olduğunu belirtmiştir. Doymuş yağ asitleri, TDYA ve ÇDYA’ya göre daha yüksek erime noktalarına sahiptir; dolayısıyla doymuş yağ asitleri baskın değerlerine sahip bitkisel yağlar daha yüksek akma ve bulutlanma noktaları sergileyecektir [334]. Buna ek olarak Eşitlik 4.3’de görüldüğü üzere, yağların yüksek miktarda doymuş yağ asitleri içermesi iyot değerinin düşmesine neden olmaktadır [335].

5.2. Siyah Hardal Yağı Biyodizeli Üretiminin Optimizasyonu

Bu tez çalışmasında, biyodizel üretimi gerçekleştirmeden önce en uygun parametre değerlerini tespit etmek için; siyah hardal yağından M, E, İ, B ve P alkollerini kullanarak, NaOH ve KOH katalizörleri varlığında, PRM destekli transesterifikasyon metodu ile SHYB üretiminin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Katalizör çeşidi ve miktarı, alkol çeşidi ve miktarı, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi gibi farklı optimizasyon parametrelerinin SHYB verimi üzerine etkileri araştırılmıştır. M ve E kullanıldığı, NaOH ve KOH katalizörleri varlığında yapılan testlerde SHYB elde edilirken, İ, B ve P’nin kullanıldığı NaOH katalizör eşliğinde yapılan testlerde ester ve gliserol ayrışmasının gerçekleşmediği gözlenmiştir. Sonuçların karşılaştırılması yapılacağından dolayı bu alkollerin KOH katalizörü ile ilgili test çalışmaları yapılmamıştır.

5.2.1. Katalizör Çeşidi ve Miktarının Etkisi

Katalizör, transesterifikasyon işlemi sırasında biyodizelin üretim verimliliğini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Farklı katalizör çeşitleri ve miktarlarının biyodizel verimi üzerindeki etkileri Şekil 5.1’de verilmiştir. Optimizasyon çalışmalarında NaOH ve KOH olmak üzere iki tip alkali katalizör kullanılmıştır. Kullanılan katalizörlerin miktar aralıkları Tablo 4.6’da verilmiştir. Katalizör miktarları değiştirilirken diğer optimizasyon parametreleri sabit tutulmuştur. Sabit tutulan parametrelerden alkol miktarları (ağırlıkça); NaOH_M ve NaOH_E testlerinde %20, NaOH_E için %30 ve KOH_E için %45 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, M ve E için başlangıç reaksiyon sıcaklıkları sırasıyla 60 °C ve 70 °C olarak alınmıştır. Başlangıçtaki bütün deneylerde, reaksiyon süresinin 60 dakika ve karıştırma hızı 600 d/d ’da yapılmıştır.



Şekil 5.1. Katalizör Çeşidi ve Miktarının Biyodizel Verimi Üzerine Etkisi

Metanol ile yapılan deneyler sonucunda; KOH (0,4 g) kullanıldığında %97,319, NaOH (0,6 g) kullanıldığında %95,495 ile en yüksek biyodizel verimleri elde edilmiştir. Her bir katalizör miktarına karşılık gelen biyodizel verimlerine PRM uygulandığında,

KOH ve NaOH için katalizör miktarları ve biyodizel verimleri sırasıyla 0,4 g-%97,319 ve 0,504 g-%96,823 olarak tespit edilmiştir. Rashid ve Anwar [248] yaptıkları çalışmada; NaOH, KOH, CH₃ONa ve CH₃OK kullanarak, transesterifikasyon metodu ile kolza yağından biyodizel üretimi için optimizasyon çalışmaları yapmışlardır. Çalışmalarında en iyi katalizörün yüksek verimde KOH olduğu sonucuna varmışlardır. Tomesevic ve Siler-Marinkovic [336], Singh ve ark. [337] ve Al-Sakkari ve ark. [338] NaOH ve KOH alkali katalizörleri ve metanol kullanarak biyodizel üretimine etkilerini araştırmışlardır. Çalışmaları neticesinde, KOH katalizörün NaOH katalizöründen daha verimli bir katalizör olduğunu belirtmişlerdir. Metanol içerisinde KOH'un çözünmesi NaOH'un çözünmesinden daha iyidir. Eğer çözülme tam olarak gerçekleşmezse, trigliseritin fazla miktarda NaOH katalizörü ile reaksiyona girmesi nedeniyle sabunlaşma gerçekleşebilmektedir [339, 340]. Bu durum ışığında, NaOH kullanımı ile biyodizel verimi KOH'a göre düşmüş olabilir.

Diğer taraftan etanol ile yapılan denemelerde; KOH (0,8 g) kullanıldığında %86,394, NaOH (0,6 g) kullanıldığında %90,017 ile en yüksek biyodizel verimleri elde edilmiştir. Her bir katalizör miktarına karşılık gelen biyodizel verimlerine PRM uygulandığında, KOH ve NaOH için katalizör miktarları ve biyodizel verimleri sırasıyla 0,838 g-%86,479 ve 0,6136 g-%90,045 olarak tespit edilmiştir. Metanol ile yapılan denemelerin aksine, etanol ile yapılan ve NaOH kullanıldığı testlerde en yüksek biyodizel veriminin elde edildiği gözlemlenmiştir. Kucek ve ark. [341], NaOH ve KOH (ağırlıkça %0,3 ve 1,0) katalizörleri ve etanol kullanarak elde etmiş oldukları soya yağı biyodizelini, 30 ila 70 °C arasındaki reaksiyon sıcaklıklarında 6:1 ve 12:1 alkol:yağ molar oranını kullanarak üretmişlerdir. Encinar ve ark. [342], *Cynara cardunculus* L. yağından etanol ile biyodizel üretmek için NaOH ve KOH (ağırlıkça % 0,2-1,5) kullanmışlardır. Her iki çalışmada da görülmektedir ki, en yüksek biyodizel verimi NaOH ile elde edilmiştir. KOH, etanol çözeltilisindeki sabunlaştırma işleminde NaOH'dan daha önemli bir etkiye sahiptir. Sabunlaşma etanol çözeltilerinde, metanol çözeltilerinden daha düşük asitliğe ve daha fazla miktarda etanol hidroksit iyonuna bağlı olarak gerçekleşebilmektedir [343].

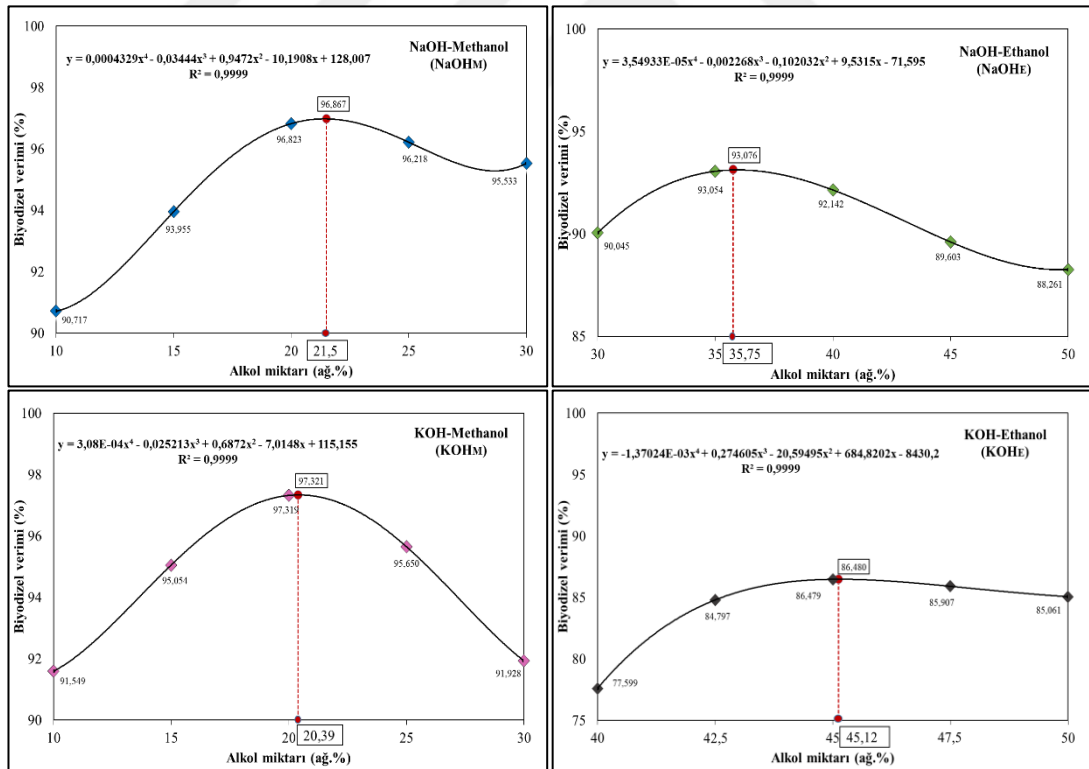
Hem yüksek oranlarda hem de düşük miktarlarda kullanılan katalizörler biyodizel verimini düşürmekte, ancak bu iki aralık arasında optimum bir nokta

belirlenebilmektedir. Yüksek miktarda katalizör kullanılırsa, yağdaki SYA'lar katalizörle reaksiyona girdiğinden sabunlaşma meydana gelmekte ve böylece reaktanların viskozitesi artarak ürün verimi düşmektedir. Düşük miktarlarda ise, reaksiyonun tamamlanamamakta ve ham biyodizel elde edilememektedir [181,182].

Optimum katalizör miktarları; NaOH_M, KOH_M, NaOH_E ve KOH_E için sırasıyla ağırlık %0,504, %0,4, %0,6136 ve %0,838 olarak elde edilmiştir. Optimizasyon sonucu elde edilen verimlere PRM uygulanmış ve verimlerin iyileştirildiği gözlemlenmiştir.

5.2.2. Alkol Çeşidi ve Miktarının Etkisi

Alkolün yağa oranı biyodizel verimi ve üretim maliyetini etkileyen önemli diğer parametrelerden biridir [344, 345]. Alkol çeşitleri ve miktarlarının biyodizel verimi üzerindeki etkisi Şekil 5.2'de gösterilmiştir. Şekil 5.2'de görüldüğü üzere, düşük alkol miktarlarında biyodizelin verimlerinin düşük değerlerde çıktığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.2. Alkol Çeşidi ve Miktarının Biyodizel Verimi Üzerine Etkisi

Transesterifikasyon reaksiyonlarında molar stokiyometrik alkolün yağa oranının 3:1 olduğu bilinmektedir, ancak trigliserit ve alkol molekülü arasındaki teması ve

kariştirilabilirliği arttırmak için daha fazla stokiyometrik orana ihtiyaç duyulmaktadır [204].

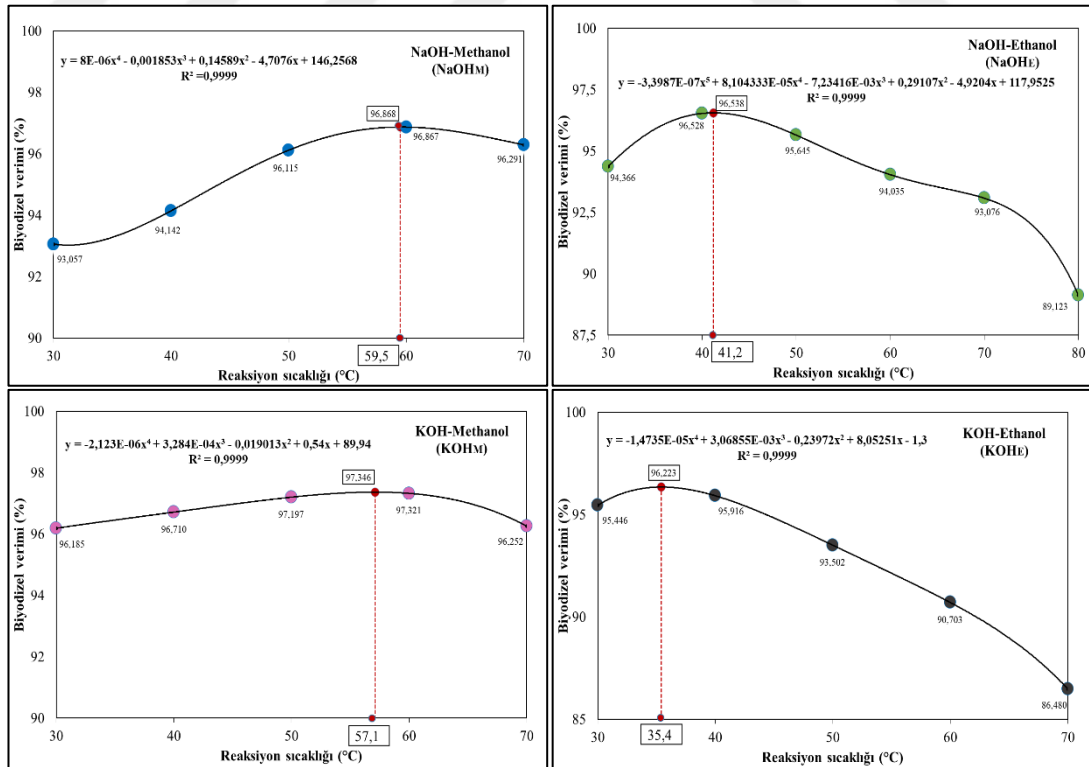
Yapılan birçok çalışma sonucunda 6:1'in en uygun alkol yağ molar oranı olduğu belirtilmiştir. Bu oran; yağın asitliğine, alkol tipine ve katalizöre bağlı olarak değişebilmektedir. Yüksek molar oranlarında biyodizel veriminin azaldığı tespit edilmiştir. Buna sebep olarak; gliserol ve ham biyodizelin bu koşullar altında ayrışması zor olduğundan, çözünürlükte bir miktar gliserol kaldığı ifade edilmektedir. Bu durum, reaksiyon yönünü girenlere doğru kaydırmakta ve reaksiyon verimini düşürmektedir [208, 209, 323]. Bir önceki kısımda (Bölüm 5.2.1) elde edilen optimum katalizör miktarları, reaksiyon sıcaklıkları (60 ve 70 °C) ve reaksiyon süresi (60 dk.) işlem parametreleri sabit olarak kabul edilmiştir. Siyah hardal yağ ağırlığına göre belirlenen alkol miktarları Tablo 4.6'da verilmiştir. Önceki süreçte olduğu gibi, en yüksek biyodizel verimi KOH_M (% 97,321) için görölmüştür. KOH ile yapılan deneyler sonucunda, metanol (20 g) kullanıldığında %97,319, etanol (45 g) kullanıldığında %86,479 ile en yüksek biyodizel verimleri elde edilmiştir. Her bir alkol miktarına karşılık gelen biyodizel verimlerine PRM uygulandığında, metanol ve etanol için alkol miktarı ve biyodizel verimi sırasıyla 20,39 g-%97,321 ve 45,12 g-%86,480 olarak tespit edilmiştir. KOH'un kullanıldığı metanoliz ve etanoliz karşılaştırılması yapıldığında, hem çalışmamızda hem de bazı çalışmalarda biyodizel veriminin metanol denemelerinde daha yüksek olduğu görölmüştür [208, 346].

NaOH tercih edilmesi durumunda, metanol deneylerinde elde edilen biyodizel verim değerlerinin etanol deneyleri biyodizel verim değerlerinden daha üstün olduğu tespit edilmiştir. NaOH ile yapılan deneyler sonucunda; metanol (20 g) kullanıldığında %96,823, etanol (35 g) kullanıldığında %93,054 ile en yüksek biyodizel verimleri elde edilmiştir. Her bir alkol miktarına karşılık gelen biyodizel verimlerine PRM uygulandığında, metanol ve etanol için alkol miktarları ve biyodizel verimleri sırasıyla 21,5 g-%96,867 ve 35,75 g-%93,076 olarak tespit edilmiştir. Meneghetti [347] çalışmasında; hint yağı için 60:10:2 molar alkol/yağ/katalizör oranı ve 60 °C reaksiyon sıcaklığı koşulları altında, metanol ve etanol için sırasıyla yaklaşık %70 ve %60 biyodizel verimleri elde etmiştir.

Optimum alkol miktarları; NaOH_M, KOH_M, NaOH_E ve KOH_E için sırasıyla ağ. %21,5, %20,39, %35,75 ve %45,12 olarak elde edilmiştir. Harcanan alkol miktarları göstermektedir ki etanol ile yapılan deneylerde metanole kıyasla yüksek miktarda alkol sarfedilmiştir. Bu sarfiyatın sebebi, etanolün molar hacminin (58,39 ml/mol (25 °C’de)) metanolün molar hacminden (40,45 ml/mol (25 °C’de)) daha yüksek olmasıdır [324]. Önceki bölümde olduğu gibi, optimizasyon sonucu çıkan biyodizel verim değerlerine PRM uygulanarak en yüksek biyodizel verimlerinde iyileştirme sağlanmıştır.

5.2.3. Reaksiyon Sıcaklığının Etkisi

Transesterifikasyon verimini ve hızını etkileyen parametrelerden biri reaksiyon sıcaklığıdır. Tablo 4.6’da her bir alkol ve katalizör çeşitleri için belirlenen reaksiyon sıcaklıklarının etkilerinin incelenmesi aşamasında; önceki transesterifikasyon işlemlerinden elde edilen optimum katalizör ve alkol miktarları ve reaksiyon süresi 60 dakika sabit olarak kabul edilmiştir. Reaksiyon sıcaklığının biyodizel verimi üzerindeki etkisi Şekil 5.3’de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Reaksiyon Sıcaklığının Biyodizel Verimi Üzerine Etkisi

Yüksek reaksiyon sıcaklıkları yağın viskozitesini azaltmaktadır, ancak kullanılan reaksiyon sıcaklığı alkolün buharlaşmasını önlemek için alkolün kaynama noktası sıcaklığından düşük olmalıdır. Belirlenen optimum sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda sabunlaşma meydana gelmekte, biyodizel verim azalmakta ve gereksiz enerji harcamasına neden olmaktadır [227, 348].

Metanol ile yapılan deneyler sonucunda, her iki katalizör kullanıldığında en yüksek biyodizel verimleri (NaOH-%96,867 ve KOH-%97,321) 60 °C reaksiyon sıcaklığında sağlanmıştır. Metanol ve her bir katalizör için reaksiyon sıcaklıklarına karşılık gelen biyodizel verimlerine PRM uygulandığında, NaOH ve KOH için reaksiyon sıcaklığı ve biyodizel verimi sırasıyla 59,5 °C-%96,868 ve 57,1 °C-%97,346 olarak tespit edilmiştir. Yüksek reaksiyon sıcaklıklarında, metanolün yağda çözünürlüğü artmakta ve reaksiyon hızını artırmaktadır. Araştırmacılar, metanol için uygun reaksiyon sıcaklığının metanolün kaynama noktasına (64,7 °C) yakın sıcaklıklar olduğunu belirtmişlerdir. Metanolün kaynama noktasının üzerindeki reaksiyon sıcaklığından kaçınılması gereklidir, çünkü bu sıcaklıklarda gliseritlerin sabunlaşma oranları düşük sıcaklıklara göre daha fazladır [208, 226-228]. Sonuç olarak, reaksiyon sıcaklıkları için optimum noktayı iyi belirlemek gerekmektedir.

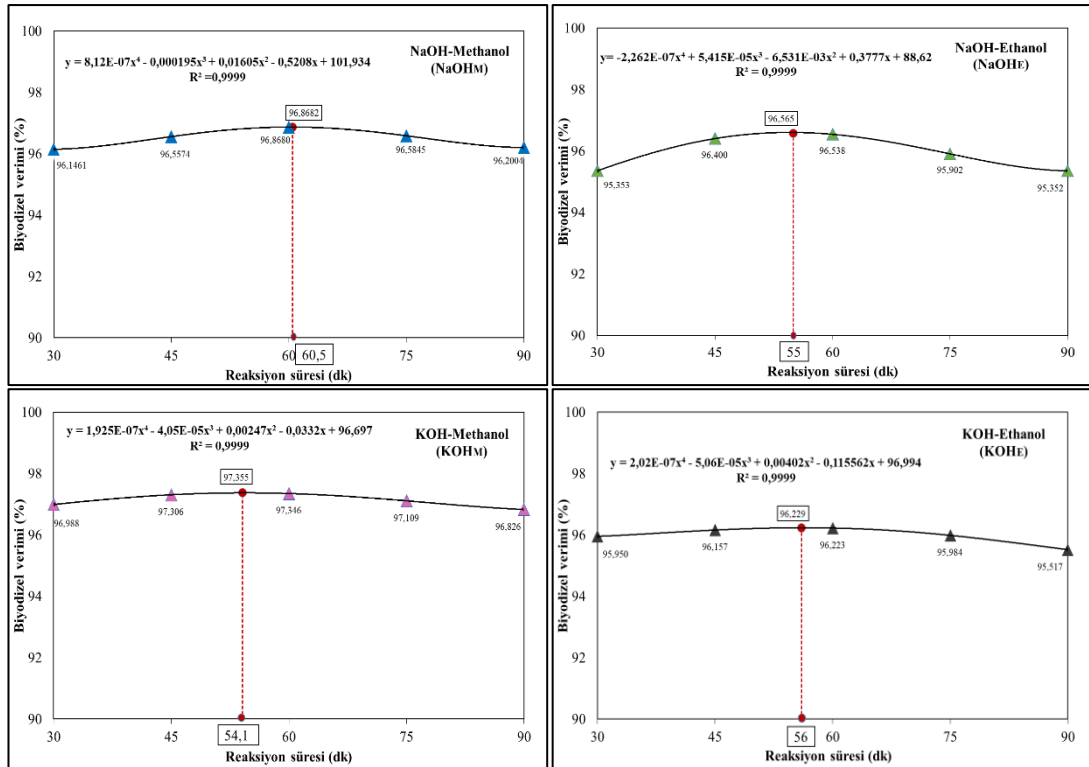
Etanol ile yapılan deneyler sonucunda, her iki katalizör kullanıldığında en yüksek biyodizel verimleri (NaOH-%96,528 ve KOH-%96,223) 40 °C reaksiyon sıcaklığında sağlanmıştır. Etanol ve her bir katalizör için reaksiyon sıcaklıklarına karşılık gelen biyodizel verimlerine PRM uygulandığında; NaOH ve KOH için reaksiyon sıcaklığı ve biyodizel verimi sırasıyla 41,2 °C-%96,538 ve 35,4 °C-%96,223 olarak tespit edilmiştir. Bouaid ve ark. [252], 20-32°C arasında değişen düşük sıcaklıklarda, etanol kullanarak *Brassica carinata* ve ayçiçeği yağlarından biyodizel üretmişlerdir. Yüksek erusik asit *Brassica carinata* yağları (YEBO) için maksimum verimi %91,31 olarak bulmuşlar ve sıcaklığın etkisinin YEBO işleminde yağın yağ asidi bileşimi ve sabun oluşumu nedeniyle olumsuz bir etkisi olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca, Filho ve ark. [230], *Sterculia striata* (Chicha) yağının 30 °C ve 70 °C reaksiyon sıcaklıklarında etanol ile transesterifikasyon çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. En yüksek biyodizel verimini 30 °C (%98,5) reaksiyon sıcaklığında belirlemişler ve 70 °C reaksiyon sıcaklığında alkolün buharlaşmaya başladığı kanısına varmışlardır. Bunların yanı sıra,

Valle ve ark. [231], *Raphanus sativus* L. var. *oleifera* Stokes yağında FFD (Fraksiyonel Faktöriyel Tasarım) kullanarak düşük ve yüksek sıcaklıklarda etanoliz denemeleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaları neticesinde, 30 °C reaksiyon sıcaklığında en iyi sonucu elde etmişler ve sıcaklığın yükselmesinin sabunlaşma nedeniyle biyodizel verimine olumsuz bir etkisi olduğunu iddia etmişlerdir.

Yaptığımız tez çalışmasında ise reaksiyon sıcaklığı için optimum noktalar; NaOH_M, KOH_M, NaOH_E ve KOH_E için sırasıyla 59,5 °C, 57,1 °C, 41,2 °C ve 35,4 °C olarak belirlenmiştir. PRM uygulandıktan sonra biyodizel verimleri incelendiğinde, önceki optimizasyon parametrelerine göre metanol ile yapılan deneylerde fazla bir artış gerçekleşmezken, etanol deneylerinde ise biyodizel verimleri NaOH_E ve KOH_E için sırasıyla %2,84 ve %11,26 oranlarında artış gerçekleşmiştir.

5.2.4. Reaksiyon Süresinin Etkisi

Reaksiyon süresinin biyodizel verimi üzerindeki etkisi Şekil 5.4'de incelenmiştir. Reaksiyon süresi, alkali katalizli transesterifikasyon işleminin tamamlanması ile yakından ilgilidir. Transesterifikasyon işleminin ilk birkaç dakikasında, alkolün yağ



Şekil 5.4. Reaksiyon Süresinin Biyodizel Verimi Üzerine Etkisi

ile reaksiyonu yavaştır, 5 dakika sonrasında hızlandığı ifade edilmektedir. İlk yarım saatte, reaksiyon dönüşümünün %80'i tamamlanmaktadır ve 1 saat sonra önemli bir artış olmadığı tespit edilmiştir [163, 232, 322]. Ayrıca aşırı reaksiyon süresi, transesterifikasyon işleminin ters reaksiyonundan dolayı ürün veriminde bir kayba neden olmakta ve esterlerin azalması ile birlikte sabun üreten yağ asitleri meydana getirmektedir. Genellikle ester dönüşümü için 1 saatin optimum süreye uygun olduğu belirtilmektedir [232, 233, 349].

Reaksiyon süresinin etkisi, önceki bölümlerde belirtildiği gibi diğer transesterifikasyon işlemlerinden (katalizör tipi ve miktarı, alkol tipi ve miktarı, reaksiyon sıcaklığı) elde edilen optimum parametreler kullanılarak incelenmiştir. Çalışmadaki her bir katalizör ve alkol tipi için süreler; 30, 45, 60, 75 ve 90 dakika olarak değiştirilmiştir.

Metanol ve etanol ile yapılan deneyler sonucunda; her iki katalizör kullanıldığında en yüksek biyodizel verimleri (NaOH_M -%96,8680, NaOH_E -%96,538, KOH_M -%97,355 ve KOH_E -%96,229) 60 dk. reaksiyon süresinde sağlanmıştır. Biyodizel veriminin en yüksek değeri, KOH_M için (önceki transesterifikasyon işlemlerinde olduğu gibi) % 97,3551 olarak hesaplanmıştır. Metanol ve her bir katalizör için reaksiyon sürelerine karşılık gelen biyodizel verimlerine PRM uygulandığında; NaOH ve KOH için reaksiyon süresi ve biyodizel verimi sırasıyla 60,5 dk.-%96,8682 ve 54,1 dk. %97,355 olarak tespit edilmiştir. Etanol ve her bir katalizör için reaksiyon sürelerine karşılık gelen biyodizel verimlerine PRM uygulandığında ise; NaOH ve KOH için reaksiyon süresi ve biyodizel verimi sırasıyla 55 dk.-%96,565 ve 56 dk.-%96,229 olarak belirlenmiştir.

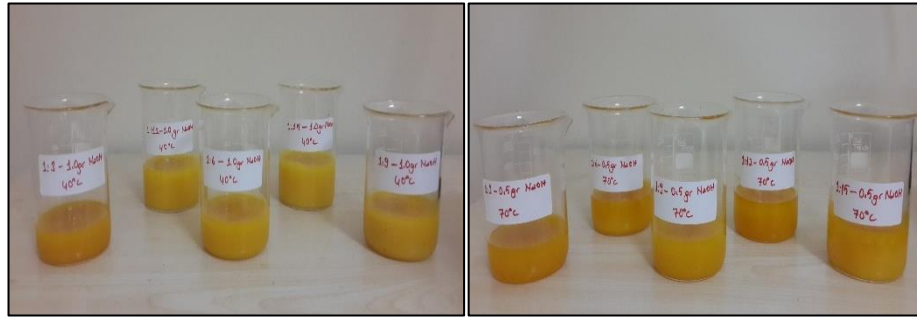
Sonuçlar doğrultusunda, reaksiyon süresi için optimum noktalar; NaOH_M , KOH_M , NaOH_E ve KOH_E için sırasıyla 60,5, 54,1, 55 ve 56 dk. olarak elde edilmiştir. Optimizasyon işleminin bir sonucu olarak, NaOH_M , KOH_M , NaOH_E ve KOH_E için dört farklı biyodizel elde edilmiştir. Motor performans ve egzoz-emisyon testleri ve yakıt özelliklerinin belirlenmesi için hazırlanan numuneler optimum şartlar altında üretilmiştir. Bu optimum koşullar Tablo 5.3'de verilmiştir.

Tablo 5.3. NaOH_{MB}, KOH_{MB}, NaOH_{EB} ve KOH_{EB} İçin Optimum Reaksiyon Şartları

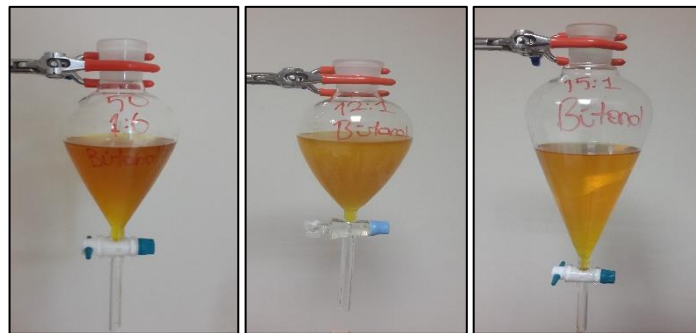
Biyodizel	Optimum reaksiyon şartları				Verim (%)
	Alkol miktarı (ağ,%)	Katalizör miktarı (ağ,%)	Reaksiyon sıcaklığı (°C)	Reaksiyon süresi (dk.)	
NaOH _{MB}	21,5	0,504	59,5	60,5	96,8682
NaOH _{EB}	35,75	0,6136	42,0	55,0	96,565
KOH _{MB}	20,39	0,4	57,1	54,1	97,335
KOH _{EB}	45,12	0,838	35,4	56,0	96,229

5.2.5. İzo-Propanol, Bütanol ve Pentanol ile Yapılan Optimizasyon Çalışmaları

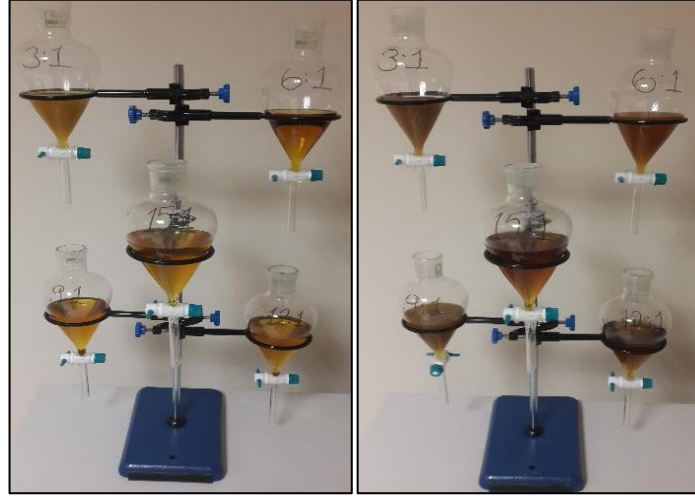
İzo-propanol, bütanol ve pentanol alkollerini kullanarak, NaOH varlığında, siyah hardal yağı ile optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. Bu alkoller ile ilgili yapılan optimizasyon işlemlerinde kullanılan parametreler ve sayısal değerler Tablo 4.7’de verilmiştir. İ, B ve P alkollerinin NaOH eşliğinde yapılan testlerinde, ester ve gliserol ayrışmasının gerçekleşmediği gözlenmiştir. Sonuçların karşılaştırılması yapılacağından dolayı bu alkollerin KOH katalizörü ile ilgili test çalışmaları yapılmamıştır. İ, B ve P alkollerini ile yapılan optimizasyon çalışmalarına ait örnek görüntüler Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7’de verilmiştir.



Şekil 5.5. İzo-Propanol ile Yapılan Optimizasyon Sonucuna Ait Örnekler



Şekil 5.6. Bütanol ile Yapılan Optimizasyon Sonucuna Ait Örnekler



Şekil 5.7. Propanol ile Yapılan Optimizasyon Sonucuna Ait Örnekler

Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'deki örneklerde de görüldüğü üzere, İ, B ve P ile yapılan optimizasyon çalışmalarında ester elde edilememiştir. İ ile yapılan deneylerin her bir parametresinde çamurlaşma meydana gelmiştir. B ve P ile yapılan testlerde ise yüksek katalizör ile yapılan çalışmalarda çamurlaşmalar meydana gelirken, diğer çalışmalarda ise gliserol ester ayrışması izlenmemiştir. Her bir alkolün NaOH katalizörü ile karıştırılması normal oda sıcaklığında zor olduğundan, alkol ve katalizörün karıştırılması ısıtıcılı manyetik karıştırıcıda az miktar ısıtılıp, içine atılan manyetik balıkların karıştırılması ile gerçekleştirilmiştir. M ve E ile yapılan testlerin alkol yağ molar oranları 3:1 ve 11:1 oranında değiştiğinden, İ, B ve P ile yapılan optimizasyon çalışmalarında alkol yağ molar oranları 3:1-15:1 aralığında değiştirilmiştir. Daha yüksek oranlarda yapılan denemeler olumlu sonuçlar verebilir, ancak yüksek oranlarda yapılan denemelerde İ (76,46 ml/mol), B (91,50 ml/mol) ve P (108,15 ml/mol) molar hacimleri yüksek olduğundan üretim maliyetinde ciddi bir artış gerçekleşmektedir.

5.3. Siyah Hardal Yağı Biyodizellerinin Yakıt Özellikleri

PRM destekli yapılan optimizasyon çalışmaları neticesinde; NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} ve KOH_{EB} olmak üzere 4 adet B100 biyodizel yakıt üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu yakıtların yakıt özellikleri Tablo 5.4'de, yağ asidi kompozisyonları Tablo 5.5'de verilmiştir. Biyodizellerin yakıt özellikleri standartlar ile karşılaştırıldığında, bütün yakıtların kinematik viskozite değerlerinin TS EN 14214

standardı üst sınır değerinden bir miktar yüksek çıktığı, ancak ASTM D6751 standardını sağladığı, NaOH_{MB} ve KOH_{EB} yakıtlarının Grup II (Ca+Mg) metaller değerlerinin standartları sağlamadığı, diğer özelliklerin ise standartlara uygun olduğu görülmektedir.

Tablo 5.4. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB} ve KOH_{EB}'nin Yakıt Özellikleri

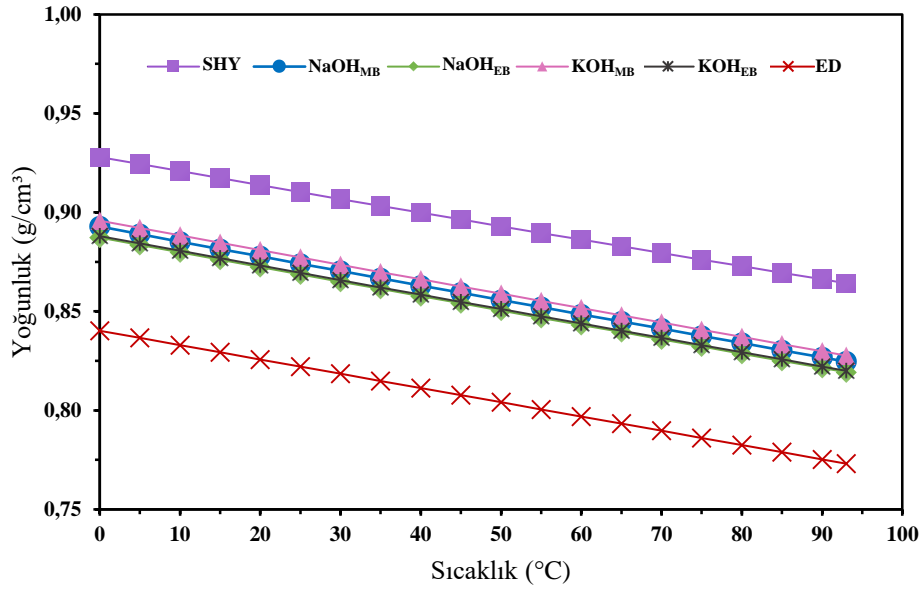
EN 14214								
No	Özellik	Birim	Min,	Maks,	NaOH _{MB}	NaOH _{EB}	KOH _{MB}	KOH _{EB}
1	Yoğunluk, 15 °C'ta	kg/m ³	860	900	881,48	876,11	884,61	876,87
2	Kinematik viskozite, 40 °C'ta	mm ² /s	3,5	5,0	5,12	5,39	5,85	5,48
	Su içeriği	mg/kg	-	500	221	149	183	161
4	Parlama noktası	°C	101	-	172	170	172	170
5	Asit sayısı	mg KOH/g	-	0,50	0,464	0,351	0,436	0,444
6	Sabunlaşma sayısı	mg KOH/g	-	-	183,76	179,69	188,04	184,34
7	İyot sayısı	g I ₂ /100 g	-	120	100,13	90,41	109,91	96,04
8	Setan sayısı	-	51	-	53,46	56,32	50,59	54,29
9	Linolenik asit metil esterleri	% (m/m)	-	12	0	-	0	-
10	Çoklu doymamış (>=4 çift bağ) metil esterleri	% (m/m)	-	1	0	-	0	-
11	Grup I (Na+K) metaller	mg/kg	-	5,0	1,13	0,48	0,40	1,11
12	Grup II (Ca+Mg) metaller	mg/kg	-	5,0	7,10	3,57	4,34	6,22
12	Fosfor içeriği	mg/kg	-	4,0	0,39	0,61	0,91	0,43
13	Oksidasyon kararlılığı, COX	h	8	-	3,36	2,60	3,94	3,00
14	Bulutlanma noktası, BN	°C	Bölgesel		-3	-1	-4	-2
15	Soğuk filtre tıkanma noktası, SFTN	°C	Bölgesel		-8	-6	-9	-7
16	Isıl değer	MJ/kg	-	-	40,356	40,659	40,313	40,531
17	Doymamışlık derecesi, DU	-	-	-	118,7	109,4	127,5	114,2
18	Akma noktası, AN	°C	-	-	-13	-10	-14	-12
19	Donma noktası, DN	°C	-	-	-18	-17	-20	-18
20	Renk	-	-	-	2,0	2,0	2,2	2,1
21	pH	-	-	-	7,81	9,31	8,88	8,32

Tablo 5.5. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB} ve KOH_{EB}'nin Yağ Asidi Kompozisyonları

No	Yağ asidi	Molekül ağırlığı	Yapı	Formül	NaOH _{MB}	NaOH _{EB}	KOH _{MB}	KOH _{EB}
1	Kaprilik	144	8:0	C ₈ H ₁₆ O ₂	0,08	0,03	0,02	0,02
2	Kaprik	172	10:0	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	-	-	-	0,01
3	Laurik	200	12:0	C ₁₂ H ₂₄ O ₂	-	-	-	0,01
4	Miristik	228	14:0	C ₁₄ H ₂₈ O ₂	0,04	0,06	-	0,09
5	Pentadekanoik	242	15:0	C ₁₅ H ₃₀ O ₂	-	-	-	0,02
6	Palmitik	256	16:0	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	3,58	3,17	3,01	4,94
7	Palmitoleik	254	16:1	C ₁₆ H ₃₀ O ₂	-	-	0,07	0,26
8	Heptadekanoik	270	17:1	C ₁₇ H ₃₄ O ₂	-	-	-	0,06
9	Stearik	284	18:0	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	1,80	1,92	1,67	2,96
10	Oleik	282	18:1	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	11,76	8,31	22,78	13,87
11	Linoleik	280	18:2	C ₁₈ H ₃₂ O ₂	26,2	17,6	32,15	22,31
12	Linolenik	278	18:3	C ₁₈ H ₃₀ O ₂	-	0,28	-	-
13	Araşidik	312	20:0	C ₂₀ H ₄₀ O ₂	1,41	1,87	-	-
14	Gondoik	310	20:1	C ₂₀ H ₃₈ O ₂	17,80	18,7	13,15	19,23
15	Behenik	340	22:0	C ₂₂ H ₄₄ O ₂	0,61	1,4	-	-
16	Erusik	339	22:1	C ₂₂ H ₄₂ O ₂	36,72	46,66	27,15	36,22
	ΣDoymuş				7,52	8,45	4,7	8,11
	ΣTDYA				66,28	73,67	63,15	69,58
	ΣÇDYA				26,20	17,88	32,15	22,31

5.3.1. Yoğunluk

Motor performansı özelliklerinde etkin rol oynayan setan sayısı, ısı değer gibi özelliklerin çoğu yoğunluğa bağlıdır [350]. SHY, NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED yakıtlarının her 5°C 'de ölçüm yapıldığı, $0-93^\circ\text{C}$ sıcaklık aralığındaki yoğunluk değerleri Şekil 5.8'de verilmiştir. En düşük yoğunluk değerlerinin 0°C 'de olduğu gözlemlenirken, sıcaklık artışı ile yoğunluk değerlerinin lineer bir şekilde düştüğü görülmektedir. Genel olarak bakıldığında, biyodizel yakıtlarının yoğunluk değerleri ED yakıtından daha yüksek olduğu, biyodizellerin kendi aralarındaki yoğunluk değerlerinde ise $\text{NaOH}_{\text{EB}} < \text{KOH}_{\text{EB}} < \text{NaOH}_{\text{MB}} < \text{KOH}_{\text{MB}}$ sıralamasının olduğu gözlemlenmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere, doymamışlık derecesi (DU) artışı ile yoğunluk artışı gerçekleşmiştir [351].

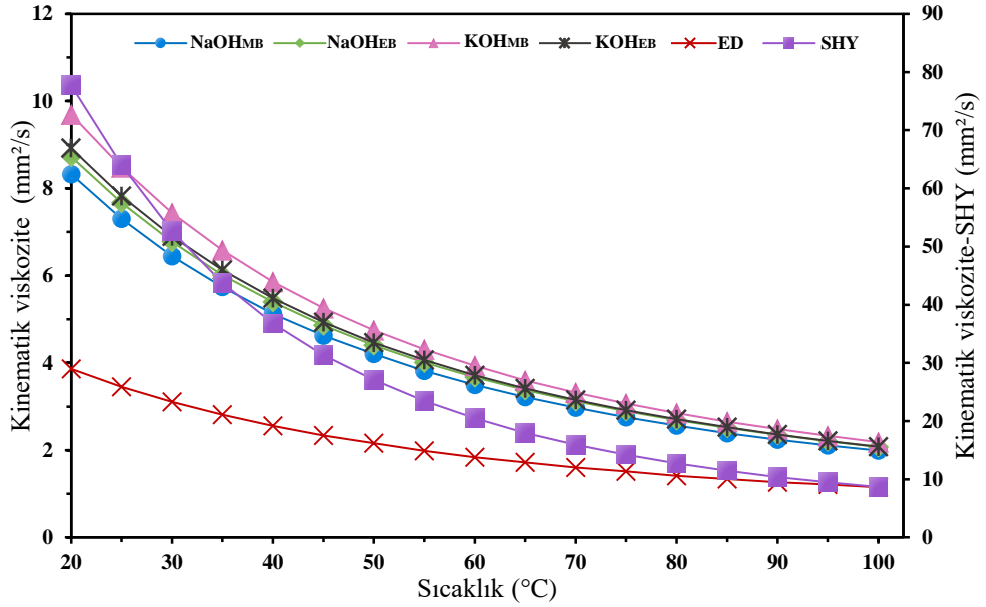


Şekil 5.8. SHY, NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Yoğunluk Değerleri

Yakıtların yoğunlukları 15°C sıcaklık değerinde analiz edildiğinde; NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} ve KOH_{EB} biyodizel yakıtların yoğunluk değerleri sırasıyla 0,881, 0,876, 0,884 ve 0,876 g/cm^3 olarak belirlenmiş ve ED yakıtına göre sırasıyla %6,29, 5,64, 6,66 ve 5,73 oranlarında yüksek çıkmıştır. NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED yakıtlarının $0-93^\circ\text{C}$ sıcaklık aralığındaki yoğunluk sayısal değerleri EK-1'de verilmiştir.

5.3.2. Kinematik Viskozite

Yakıt akışı, püskürtme ve atomizasyon özelliklerini doğrudan ilgilendiren ve biyodizelin önemli yakıt özelliklerinden biri olan kinematik viskozitede uluslararası standartların kriterlerinin karşılanması gerekmektedir [352, 353]. SHY, NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtlarının her 5 °C’de ölçüm yapıldığı, 20-100 °C sıcaklık aralığındaki kinematik viskozite değerleri Şekil 5.9’da verilmiştir. SHY’nin 40 °C’deki kinematik viskozite değeri 36.77 mm²/s’den ortalama 6,73 kat azaltılarak NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB} ve KOH_{EB} için sırasıyla 5,13, 5,39, 5,86 ve 5,48 mm²/s değerlerine düşürülmüştür. Bu değerler ile TS EN 14214 standardını sağlamazken, ASTM D6751 standardı sınır değer aralıklarında olduğu söylenebilmektedir.



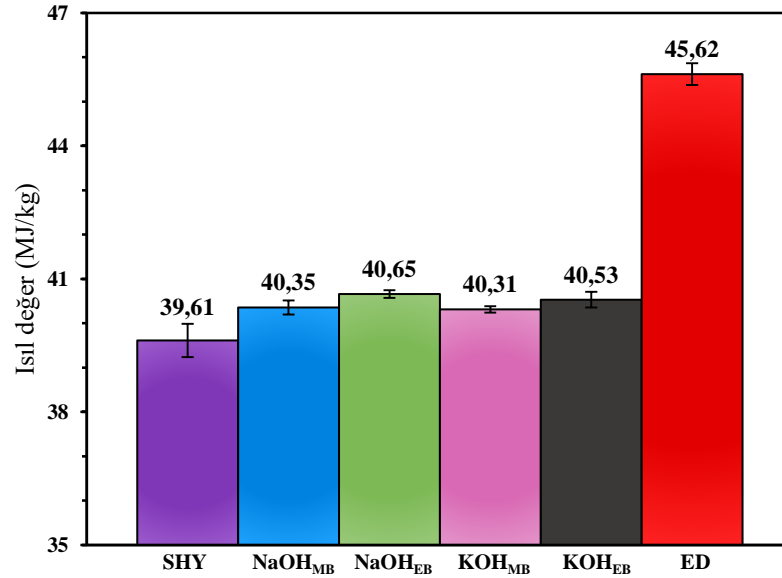
Şekil 5.9. SHY, NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Kinematik Viskozite Değerleri

Yakıtların kinematik viskozite değerleri zincir uzunluğu, konumu, sayısı, çift bağların yapısı vb. bileşik yapının önemli ölçüde etkilendiği 40 °C sıcaklık değerinde analiz edildiğinde; NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB} ve KOH_{EB} biyodizel yakıtların kinematik viskozite değerleri ED yakıtına göre sırasıyla %200,39, 210,54, 228,90 ve 214,06 oranlarında yüksek çıkmıştır. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtlarının 20-100 °C sıcaklık aralığındaki kinematik viskozite sayısal değerleri EK-2’de verilmiştir.

5.3.3. Isıl Değer

Isıl değer, motorun hem güç hem de yanma karakteristikleri etkilemesi bakımından önemli bir yakıt parametresidir. Aynı zamanda bu özellik; EN 14214 ve ASTM D6751 biyodizel standartları tarafından belirlenmemekte, ancak EN 14213'te biyodizel için ısıl değer en az 35 MJ/kg olması önerilmektedir [354]. SHY, NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtlarının ısıl değerleri Şekil 5.10'da verilmiştir. Yakıtlar arasında en yüksek ortalama ısıl değer 45,62 MJ/kg ile ED yakıtında tespit edilirken, NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB} ve KOH_{EB} biyodizel yakıtlar bu değerden ortalama olarak sırasıyla %11,53, 10,87, 11,63 ve 11,15 oranlarında düşük çıkmıştır.

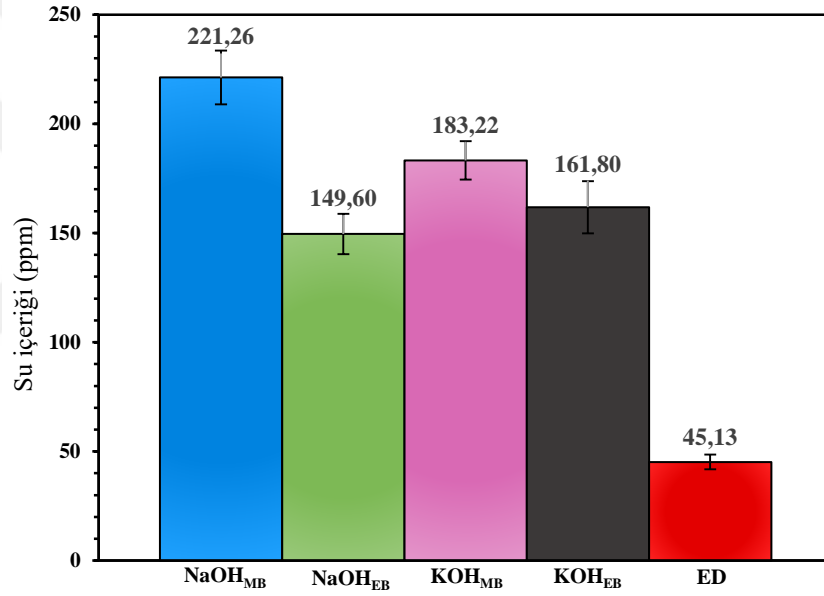
Biyodizel yakıtların ısıl değerlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Aralarındaki sıralamanın ise yakıtların doymamışlık derecelerinden kaynaklandığı söylenebilir. Aynı zamanda sabunlaşma sayısı ve iyot sayısının artışı ısıl değer düşmesine sebep olmaktadır [350]. Etanol ile yapılan yakıtların, metanol ile yapılan yakıtlara göre ısıl değerlerinin yüksek çıkması; etanolün ısıl değerinin (28,6 MJ/kg) metanolün ısıl değerinden (19,8 MJ/kg) fazla olmasından kaynaklanmaktadır [355].



Şekil 5.10. SHY, NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Isıl Değerleri

5.3.4. Su İçeriği

Biyodizelde su içeriğinin fazla olması oksit oluşumuna ve korozyona neden olabildiği gibi, biyodizel ve serbest su arasındaki ara yüzeyde meydana gelebilecek mikrobik büyümeye yardımcı olmaktadır [350]. NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED yakıtlarının su içeriği değerleri Şekil 5.11’de verilmiştir. Şekil 5.11 incelendiğinde, en yüksek su içeriğine 221,26 ppm ile NaOH_{MB} , en düşük su içeriğine ise 45,13 ppm ile ED yakıtında olduğu görülmüştür. NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} ve KOH_{EB} biyodizel yakıtları ED yakıtından ortalama olarak sırasıyla 4,9, 3,31, 4,05 ve 3,58 kat yüksek çıkmıştır.



Şekil 5.11. NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Su İçeriği Değerleri

5.3.5. Parlama Noktası

Parlama noktası; bir yakıtın tutuşabilirliğini ifade etmesi, taşıma, depolama ve nakliye için yakıt güvenliği göstermesi bakımından dikkat edilmesi gereken yakıt özelliklerinden biridir. Tüm biyodizel yakıtlar petrodizel yakıttan daha yüksek bir parlama noktasına sahiptir [354]. NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED yakıtlarının parlama noktaları Tablo 5.6’da verilmiştir. Tablo 5.6’daki biyodizel yakıtlarına ait parlama noktası değerleri incelendiğinde değerlerin birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu duruma sebep olarak, biyodizel yakıtların karbon sayısı

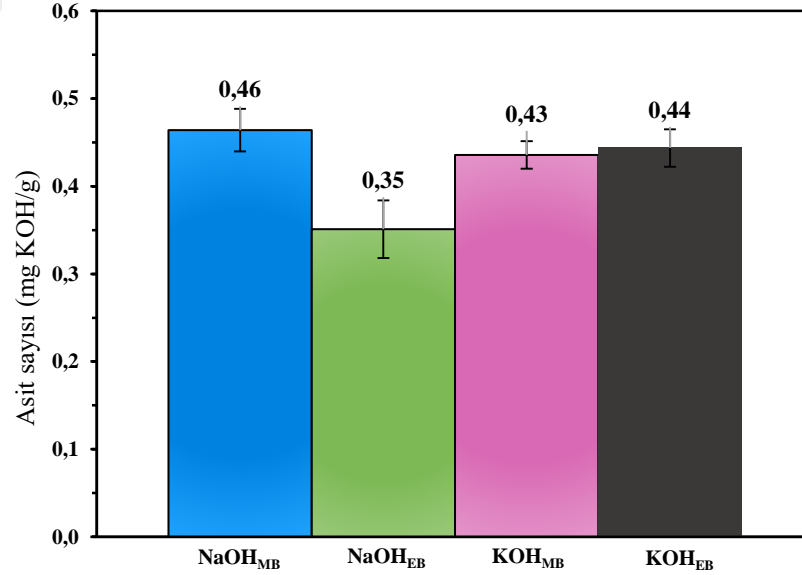
12 ve/veya düşük olan hafif bileşen değerlerinin birbirine yakın olması gösterilebilir [356].

Tablo 5.6. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Parlama Noktası Değerleri

Yakıt	Parlama noktası (°C)
NaOH _{MB}	172
NaOH _{EB}	172
KOH _{MB}	170
KOH _{EB}	170
ED	61

5.3.6. Asit Sayısı

Asit sayısı, SYA konsantrasyonunun bir ölçümüdür ve biyodizel yakıtta kalan reaksiyona girmemiş asit miktarını ölçmektedir. Ayrıca, oksitlenmiş yakıtın bir göstergesi olarak da ifade edilebilmektedir [350, 357]. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB} ve KOH_{EB} yakıtlarının asit değerleri Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.12. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB} ve KOH_{EB} Yakıtlarının Asit Sayısı Değerleri

En yüksek asitlik değerinin ortalama olarak 0,464 mg KOH/g değeri ile NaOH_{MB} yakıtında olduğu, NaOH_{EB}, KOH_{MB} ve KOH_{EB} yakıtlarının ortalama asit değerleri ise sırasıyla 0,351, 0,436 ve 0,444 mg KOH/g olarak tespit edilmiştir.

5.3.7. Sabunlaşma Sayısı

Sabunlaşma sayısı (SV), 1 g yağ veya biyodizel numunesini sabunlaştırmak için gereken mg KOH olarak ifade edilmektedir. Bu değer ortalama moleküler ağırlığı ile alakalı olduğundan ilgili numunenin moleküler ağırlığının artmasıyla azalmaktadır. TS EN 14214 ve ASTM D6751 standartlarında SV ile ilgili herhangi bir aralık verilmemektedir [350], ancak SV değerinin yüksek olması setan sayısını olumsuz etkilemesinden dolayı dikkat edilmesi gerekli bir parametredir. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB} ve KOH_{EB} yakıtlarının SV değerleri sırasıyla 183,76, 179,69, 188,04 ve 184,34 mg KOH/g olarak hesaplanmıştır.

5.3.8. İyot Sayısı

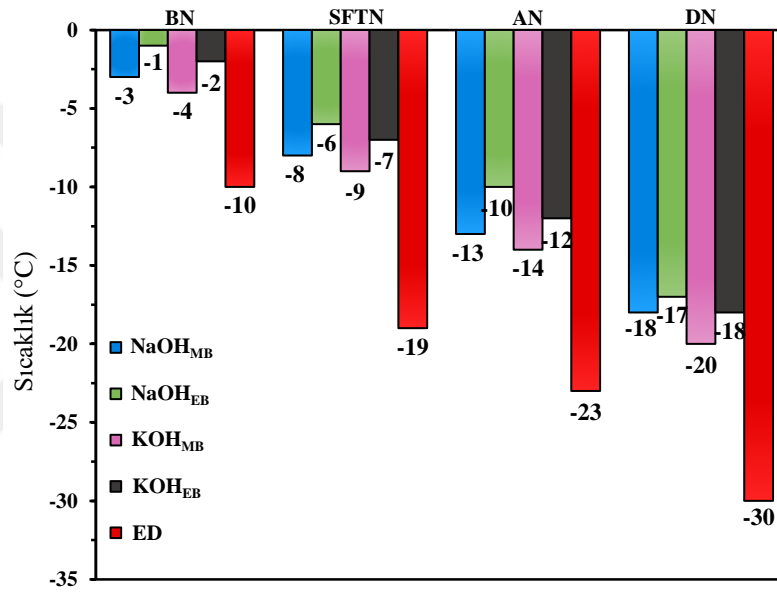
İyot sayısı (IV), yakıtın doymamışlık derecesini ölçmekte ve numune kütlesi tarafından emilen iyot kütlesinin yüzdesi olarak ifade edilmektedir. Doymamışlık derecesinin artışında etken rol oynayan çift bağ sayısı arttıkça IV artmaktadır [350]. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB} ve KOH_{EB} yakıtlarının IV'leri sırasıyla 100,13, 90,41, 109,91 ve 96,04 g I₂/100 g olarak hesaplanmış ve yakıtların IV değerleri sıralamasının çift bağ sayı değerleri ile paralel olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen bütün yakıtların IV değerleri TS EN 14241 standardında verilen üst sınır olan 120 g I₂/100 g değerinden aşağıda oldukları belirlenmiştir.

5.3.9. Setan Sayısı

Setan sayısı (CN), bir yakıtın kendiliğinden tutuşma kalitesinin en temel göstergesidir. CN; zincir uzunluğu ile artış sergilerken, DU artışı ile azalış göstermektedir [358]. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB} ve KOH_{EB} yakıtlarının CN'leri sırasıyla 53,46, 56,32, 50,59 ve 54,29 olarak hesaplanmış ve yakıtların CN değerleri ile DU değerleri sıralaması arasında ters ilişki olduğu tespit edilmiştir. KOH_{MB} yakıtı CN değeri ile TS EN 14214 standardı sağlanmazken, ASTM D6751 standardı sınır değer üstünde olduğu belirlenmiştir. Düşük setan sayısı uygun görülmediği gibi yüksek setan sayısı da enjektörde tıkanmaya neden olmasından dolayı sakıncalı görülmektedir. Uygun setan sayısı üst sınırın 65 olduğu ifade edilmektedir ki [359] bu çalışmadaki biyodizel yakıtları CN değerlerinin uygun olduğu söylenebilir.

5.3.10. Soğuk Akış Özellikleri

Mevcut biyodizel standartlarında (TS EN 14214 ve ASTM D6751) soğuk akış özellikleri ile ilgili gereksinimler bölgesel olarak belirtilmektedir. Tedarikçilerin yakıtın soğuk akış özelliklerinin vermesi, özellikle soğuk yerlerde kullanıcının motorlarda yakıt filtrelerinin ve enjektörlerinin tıkanmasını engellemesi için önlem alabilmesini sağlamaktadır. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB} ve KOH_{EB} yakıtlarının soğuk akış özelliklerinin (BN, SFTN, AN, DN) sıcaklık değerleri Şekil 5.13’de verilmiştir.



Şekil 5.13. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının BN, SFTN, AN ve DN değerleri

NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtları için sırasıyla BN; -3, -1, -4, -2 ve -10 °C, SFTN; -8, -6, -9, -7 ve -19 °C, AN; -13, -10, -14, -12 ve -23 °C ve DN; -18, -17, -20, -18 ve -30 °C şeklinde tespit edilmiştir. Biyodizeller ED’ye göre daha fazla bulutlanma ve akma noktasına sahiptir. Biyodizellerin kendi aralarındaki soğuk akış özellikleri noktalarında ise NaOH_{EB}<KOH_{EB}<NaOH_{MB}<KOH_{MB} sıralamasının olduğu gözlemlenmektedir. Biyodizel yakıtın donma noktası, karbon zincirindeki karbon atomları arttıkça artmakta, çift bağ sayısı arttıkça azalmaktadır. Yağlarda SYA miktarının fazla olması daha yüksek bulutlanma noktası ve akma noktasına sahip olduğunu göstermektedir [359].

5.3.11. Renk

Renk değeri ASTM D1500 standardına göre belirlenmiş ve NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtları için sırasıyla 2,0, 2,0, 2,2, 2,1 ve 1,4 olarak tespit edilmiştir.

5.3.12. Element Tayini

NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtlarının element tayini Tablo 5.7'de verilmiştir.

Tablo 5.7. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Element İçerikleri

No	Element adı (mg/kg)	Atom no.	NaOH _{MB}	NaOH _{EB}	KOH _{MB}	KOH _{EB}	ED	
1	Lityum	Li	3	1,85E-04	1,76E-04	1,66E-04	3,68E-04	2,3E-04
2	Berilyum	Be	9	*	*	*	*	*
3	Bor	B	5	*	*	*	*	*
4	Sodyum	Na	11	1,090	0,486	0,355	0,981	0,153
5	Magnezyum	Mg	12	1,639	0,670	0,642	1,667	0,363
6	Alüminyum	Al	13	0,103	0,015	0,049	0,138	0,080
7	Silisyum	Si	14	*	*	*	*	*
8	Fosfor	P	15	0,397	0,614	0,914	0,439	0,397
9	Potasyum	K	19	3,67E-04	*	0,048	0,134	*
10	Kalsiyum	Ca	20	5,468	2,908	3,701	4,562	2,338
11	Titanyum	Ti	22	24,064	22,732	24,210	24,863	23,561
12	Vanadyum	V	23	0,092	0,082	0,090	0,088	0,093
13	Krom	Cr	24	0,086	0,034	0,052	1,247	0,070
14	Mangan	Mn	25	0,011	0,006	0,009	0,112	0,001
15	Demir	Fe	26	0,920	0,635	0,726	6,545	0,881
16	Kobalt	Co	27	0,003	0,001	0,002	0,014	0,002
17	Nikel	Ni	28	*	*	*	0,569	*
18	Bakır	Cu	29	0,005	0,001	4,16E-04	0,042	0,001
19	Çinko	Zn	30	0,700	0,621	0,734	0,692	0,675
20	Galyum	Ga	31	0,010	0,007	0,009	0,007	0,009
21	Germanyum	Ge	32	0,034	0,029	0,032	0,028	0,036
22	Arsenik	As	33	0,021	0,023	0,024	0,051	0,027
23	Selenyum	Se	34	0,307	0,267	0,311	0,259	0,312
24	Niobyum	Nb	41	*	*	*	4,44E-04	*
25	Molibden	Mo	42	0,007	0,005	0,007	0,020	0,007
26	Gümüş	Ag	47	9,28E-04	0,001	0,001	0,003	7,77E-04
27	Kadmiyum	Cd	48	0,009	0,007	0,008	0,007	0,009
28	İndiyum	In	49	0,79E-04	0,46E-04	0,61E-04	0,57E-04	0,84E-04
29	Kalay	Sn	50	0,001	2,99E-04	4,15E-04	5,43E-04	4,55E-04
30	Antimon	Sb	51	0,76E-04	*	*	0,53E-04	*
31	Tellür	Te	52	0,028	0,021	0,026	0,021	0,027
32	Baryum	Ba	56	0,004	0,002	0,002	0,006	0,001
33	Altın	Au	79	7,02E-04	0,001	0,98E-04	0,001	7,56E-04
34	Kurşun	Pb	82	5,38E-04	*	*	6,91E-04	*
35	Bizmut	Bi	83	*	*	*	0,17E-04	*
36	Uranyum	U	92	*	*	*	*	*
37	Grup I metalller	Na+K	-	1,09	0,48	0,40	1,11	0,15
38	Grup II metalller	Ca+Mg	-	7,10	3,57	4,34	6,22	2,70

* Eser miktarda

5.3.13. pH

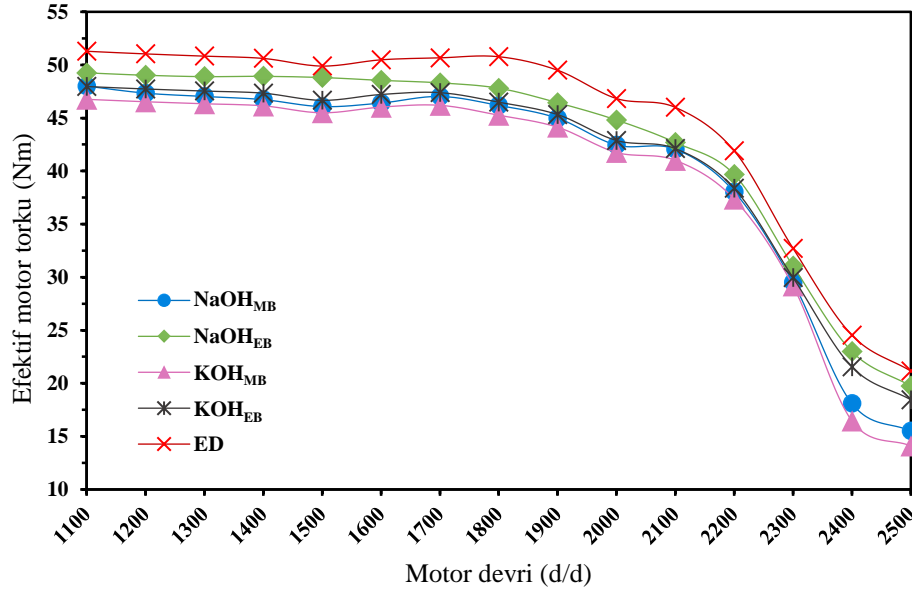
NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtlarının pH değerleri sırasıyla 7,81, 9,31, 8,88, 8,32 ve 6,8 olarak tespit edilmiştir.

5.4. Motor Performans Test Sonuçları

Optimizasyon sonucunda 8 litrelik yakıtlar halinde hazırlanan NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} biyodizel yakıtları ve ED dizel yakıtını dizel bir motorda tam gaz açıklığı durumunda denenmesiyle belirlenen efektif motor torku, efektif motor gücü, efektif özgül yakıt tüketimi, efektif termik verim ve ortalama efektif basınç motor performans değerleri motor devir sayısına bağlı olarak grafikler halinde sunulmuştur.

5.4.1. Efektif Motor Torku

NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED ile farklı motor devirlerinde yapılan testler sonucunda, motor devrine bağlı olarak elde edilen efektif motor torku değerlerinin değişimi şekil 5.14’de verilmiştir.



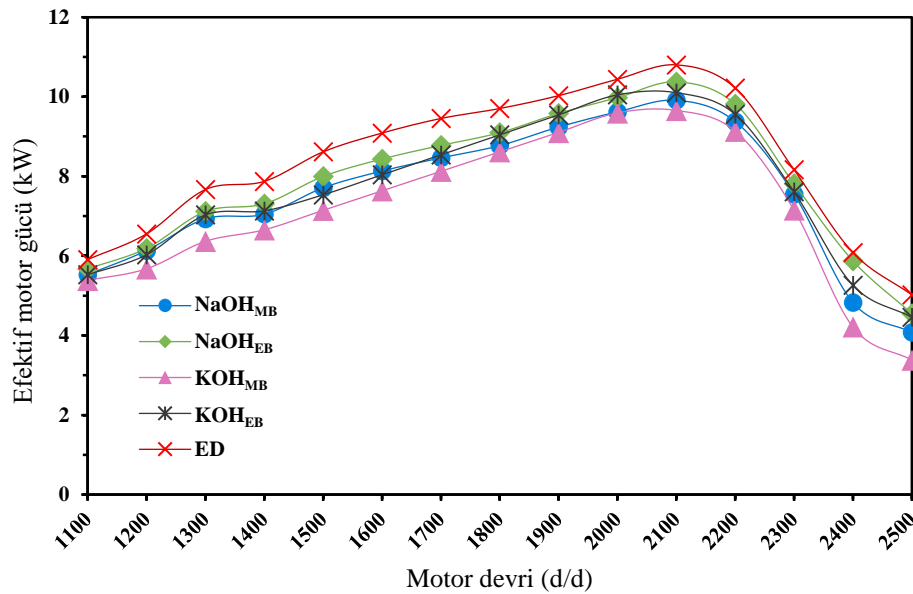
Şekil 5.14. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Efektif Motor Tork Değerleri

Şekil 5.14. incelendiğinde, en yüksek efektif tork değerinin 1100 d/d’da gerçekleştiği, ED yakıtının efektif tork değerlerinin biyodizel yakıtlarına göre yüksek olduğu ve biyodizel yakıtlarının tork değerlerinin kendi aralarında çok farklılık göstermediği görülmektedir. Yakıtlar içerisinde maksimum tork değerinin 1100 d/d motor devrinde

ortalama 51,28 Nm değeri ile ED yakıtında, bunu sırasıyla 48,00, 49,25, 46,75 ve 47,96 Nm değerleri ile NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} ve KOH_{EB} yakıtları izlemiştir. Yakıtların ortalama tork değerleri belirlendiğinde, NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} ve KOH_{EB} biyodizel yakıtlarının ortalama tork değerleri ED'ye göre sırasıyla %9,39, 4,67, 11,30 ve 7,67 oranlarında düşüş göstermiştir. Bu düşüşlerin sebebi biyodizel yakıtların ısıl değerlerinin dizel yakıtına göre düşük olmasından dolayı gerçekleştiği söylenebilir. Ayrıca biyodizel yakıtların viskozite ve yoğunluk değerleri ED'ye göre fazla olmasından kaynaklı B100 yakıtlarının püskürtme karakteristikleri kötüleşmektedir. Bu durum, yakıtın hava içerisine iyi nüfuz edememesine ve yakıtın buharlaşma süresinin uzamasına sebebiyet vererek biyodizel yakıtların efektif motor tork değerlerini düşürmüştür. [268, 360, 361]. Çıkan sonuçların literatürdeki bazı çalışmalarla uyumlu olduğu belirlenmiştir [268, 270, 361-368]. NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED yakıtlarının her bir motor devri için tespit edilen efektif motor tork değerleri EK-3'de verilmiştir.

5.4.2. Efektif Motor Gücü

NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED yakıtları için tam gaz açıklığında motor devrine bağlı olarak efektif motor gücü değerlerinin değişimi şekil 5.15'de verilmiştir.



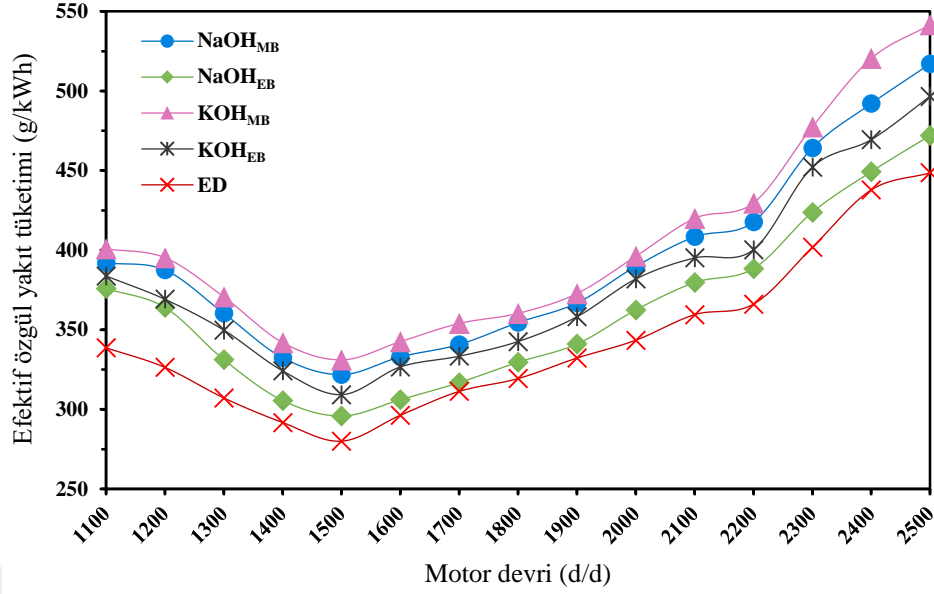
Şekil 5.15. NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Efektif Motor Güç Değerleri

En yüksek efektif motor güç değerleri 2100 d/d'da tespit edilmiş ve maksimum efektif motor gücü 10,80 kW ile ED yakıtında belirlenmiştir. Aynı motor devrinde NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB} ve KOH_{EB} yakıtlarının ortalama efektif motor güç değerleri sırasıyla 9,91, 10,37, 9,65, 10,10 kW olarak gerçekleşmiştir. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB} ve KOH_{EB} biyodizel yakıtlarının bu devirde ED yakıtına göre efektif motor güç değerleri sırasıyla %8,17, %3,96, %10,60 ve %6,47 oranlarında düşük çıkmıştır. Benzer şekilde, en düşük efektif motor güç değerleri 2500 d/d'da belirlenmiş ve minimum efektif motor gücü 3,38 kW ile KOH_{MB} yakıtında tespit edilmiştir. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB} ve KOH_{EB} biyodizel yakıtların bu devirde ED yakıtına göre efektif motor güç değerleri sırasıyla %18,83, %9,39, %32,67 ve %11,24 oranlarında azalış meydana gelmiştir. Biyodizel yakıtların düşük ısıl değerlere sahip olması, oksijen muhtevasının fazla olması sonucu birim zamanda silindir içerisine alınan yakıt miktarının azalması ve yüksek viskoziteye sahip olmalarından dolayı atomizasyonun kötüleşmesi ve böylece yanma veriminin düşmesi biyodizel yakıtların güç değerlerinin ED yakıtına göre düşük çıkmasına neden olduğu söylenebilir [360, 361, 365]. Elde edilen efektif motor güç değerlerinin ve ED ile karşılaştırılmasının literatürde yapılan bazı çalışmalarla büyük oranda benzerlik gösterdiği görülmüştür [268, 270, 361-369]. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtlarının her bir motor devri için tespit edilen efektif güç değerleri EK-4'de verilmiştir.

5.4.3. Efektif Özgül Yakıt Tüketimi

Efektif özgül yakıt tüketimi, kütleli yakıt tüketimi ile efektif güç arasındaki oranı gösteren ve termik verim ile ters orantılı olan motor performans özelliğidir. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtları için motor devrine bağlı olarak efektif özgül yakıt tüketimi değerlerinin değişimi şekil 5.16'da verilmiştir.

Düşük motor devirlerinde silindir içi türbülansın yetersiz olması ve motorun hareketli parçalarındaki atalet kuvvetinin fazla olması, yüksek motor devirlerinde ise sürtünme ve pompa kayıplarındaki artış, yakıt ve havanın homojen karışımı ve tam yanma için gerekli reaksiyon süresinin olmamasından dolayı efektif özgül yakıt tüketim değerleri yüksek çıkmıştır. Orta motor devirlerinde ise silindir içi türbülansın iyileşmesi, homojen karışım ve tam yanma için gerekli sürenin sağlanması ile yanma verimi artış göstererek efektif özgül yakıt tüketimi azalmaktadır [361].



Şekil 5.16. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Efektif Özgül Yakıt Tüketim Değerleri

Her bir yakıt için en düşük özgül yakıt tüketimi 1500 d/d'da gerçekleşirken, bu devirde en düşük efektif özgül yakıt tüketimi ED yakıtı ile 279,99 g/kWh olarak belirlenmiştir. En yüksek efektif özgül yakıt tüketimi ise 2500 d/d'da gerçekleşmiş ve bu devirde en yüksek efektif özgül yakıt tüketimi KOH_{MB} yakıtı ile 541,59 g/kWh olarak tespit edilmiştir. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB} ve KOH_{EB} biyodizeli yakıtlarının, 1500 d/d'da ED yakıtına göre efektif özgül yakıt tüketimleri sırasıyla %14,94, %5,65, %18,24 ve %10,43, 2500 d/d'da ED yakıtına göre efektif özgül yakıt tüketimleri sırasıyla %15,26, %5,22, %20,73 ve %10,70 oranlarında artış meydana gelmiştir.

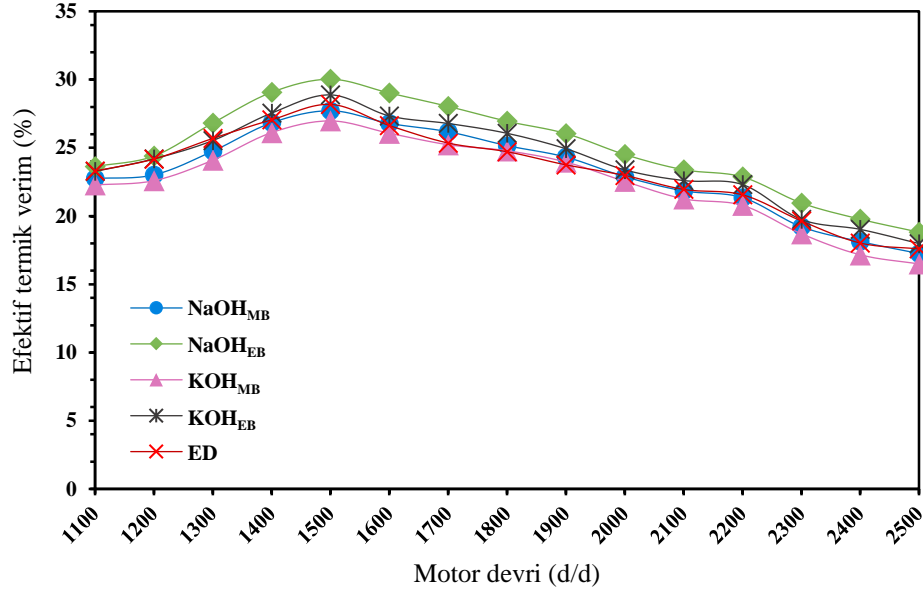
Biyodizel yakıt kullanıldığında özgül yakıt tüketiminin petrodizel yakıtına göre ortalama %14 civarında artış göstermesinin nedenleri; biyodizel yakıtlarının petrodizele göre ısı değerlerinin düşük, yoğunluk ve kinematik viskozite değerlerinin yüksek olmasından kaynaklı olduğu söylenebilir. Başka bir ifadeyle, düşük ısı değere sahip biyodizel, ED ile aynı efektif motor gücünü üretebilmek için daha fazla yakıt harcaması gerekmektedir. Ayrıca kötü atomizasyona sahip biyodizel yakıtların yanma bölgelerinde reaksiyon etkileri azalarak yanma kalitesi ve verimi düşmektedir. Bu bölgelerdeki etkiyi arttırmak için daha çok yakıt tüketimi gerçekleştirilmektedir [370, 371]. Bunlarla birlikte, biyodizelin yoğunluk ve kinematik viskozitesinin yüksek olması yakıtın püskürtme sonrası zerrelere ayrılması, buharlaşması ve kimyasal olarak

tutuşabilmesi için daha fazla zamana ihtiyaç duyulmaktadır. Püskürtme zamanında yapılan bu değişiklik yakıt tüketimini arttırmaktadır [368]. B100 ve petrodizel efektif özgül yakıt tüketimleri karşılaştırmalarının yapıldığı çalışmalar incelendiğinde, nerdeyse tamamında yaptığımız çalışmaya benzer sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir [361-366, 368, 370, 372, 373]. NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED yakıtlarının her bir motor devri için tespit edilen efektif özgül yakıt tüketim değerleri EK-5’de verilmiştir.

5.4.4. Efektif Termik Verim

Efektif termik verim, motor çıkışında ölçülen efektif gücün yakıtın tamamen yanması sonucu elde edilecek olan güce oranıdır. Başka bir ifadeyle; yakıtın ne kadarının yanma sürecinde ve gücün geliştirilmesinde aktif rol aldığı bir göstergesidir [373, 374]. NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED yakıtları için motor devrine bağlı olarak efektif termik verim değerlerinin değişimi Şekil 5.17’de verilmiştir. Şekil 5.17. incelendiğinde, en yüksek efektif termik verim değerlerinin 1500 d/d’da en düşük efektif termik verim değerlerinin ise 2500 d/d’da gerçekleştiği gözlenmiştir. Efektif termik verimin, efektif özgül yakıt tüketiminin tersi şeklinde düşünülduğünde bu durumun çıkması normaldir.

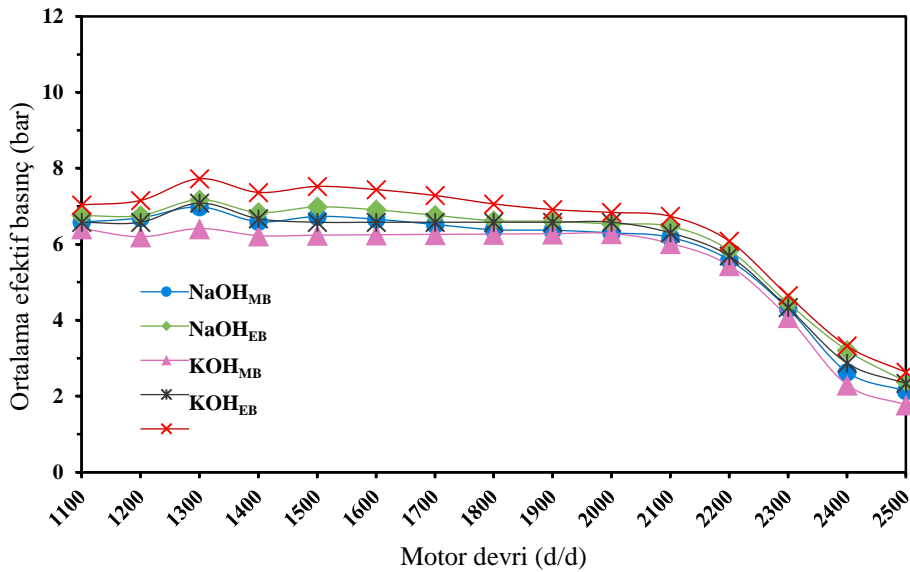
ED yakıtının ortalama termik verimi %23,37 olarak hesaplanmıştır. Biyodizel yakıtların ortalama efektif termik verim değerleri ED ile karşılaştırıldığında; NaOH_{MB} ve KOH_{MB} için sırasıyla %0,67 ve 3,29 azalmalar, NaOH_{EB} ve KOH_{EB} için ise sırasıyla %6,76 ve 2,56 artışlar olduğu sonucuna varılmıştır. Bu artışlara ve azalmalara sebep olarak; yakıtların yoğunlukları, ısıl değerleri, oksijen içerikleri, özgül ağırlıkları, setan sayıları ve viskozitelerine bağlı olarak gerçekleşen eksik yanma, tam yanma, yüksek ateşleme vb. gerekçeler gösterilebilir. Bunların yanı sıra; motor yükü koşulları, motor tipi, motor çalışma sıcaklığı vb. durumlarda bu değişimlerde etkin rol oynamaktadır [360, 370, 376]. Literatür taraması sonucunda, efektif termik verim değerlerinde hem artışların hem de azalmaların gerçekleştiği çalışmalara rastlanmıştır [224, 267, 370, 376-382]. NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED yakıtlarının her bir motor devri için tespit edilen efektif termik verim değerleri EK-6’da verilmiştir.



Şekil 5.17. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Efektif Termik Verim Değerleri

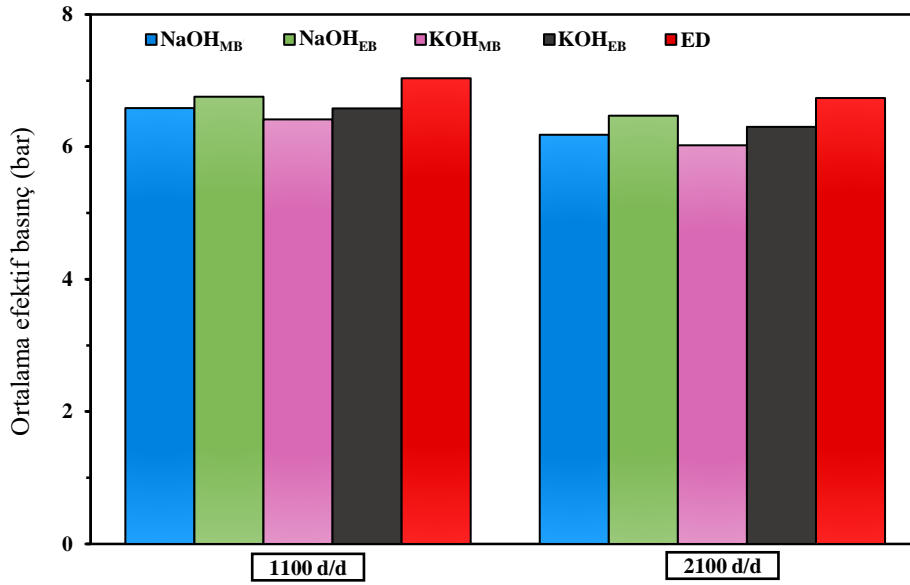
5.4.5. Ortalama Efektif Basınç

Ortalama efektif basınç; efektif motor gücü, çevrim katsayısı, kurs hacmi, silindir sayısı ve motor devri gibi parametrelerine bağlı, farklı büyüklükteki benzer motorların performanslarının karşılaştırılması bakımından önemli bir özelliktir. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtlarının ölçüm yapılan devirlerde hesaplanan ortalama efektif basınç değerleri 5.18’de verilmiştir.



Şekil 5.18. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Ölçüm Yapılan Devirlerde Ortalama Efektif Basınç Değerleri

En yüksek tork değerinin elde edildiği 1100 d/d ve en yüksek güç değerinin sağlandığı 2100 d/d motor devirlerinde hesaplanan ortalama efektif basınç değerleri Şekil 5.19’da verilmiştir. NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED yakıtlarının ortalama efektif basınç değerleri; 1100 d/d motor devrinde sırasıyla 6,585, 6,757, 6,415, 6,580 ve 7,036 bar, 2100 d/d motor devrinde sırasıyla 6,182, 6,471, 6,023, 6,301 ve 6,737 bar olarak hesaplanmıştır. NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED yakıtlarının her bir motor devri için tespit edilen ortalama efektif basınç değerleri EK-7’de verilmiştir.



Şekil 5.19. NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının 1100 d/d ve 2100 d/d Devirleri için Ortalama Efektif Basınç Değerleri

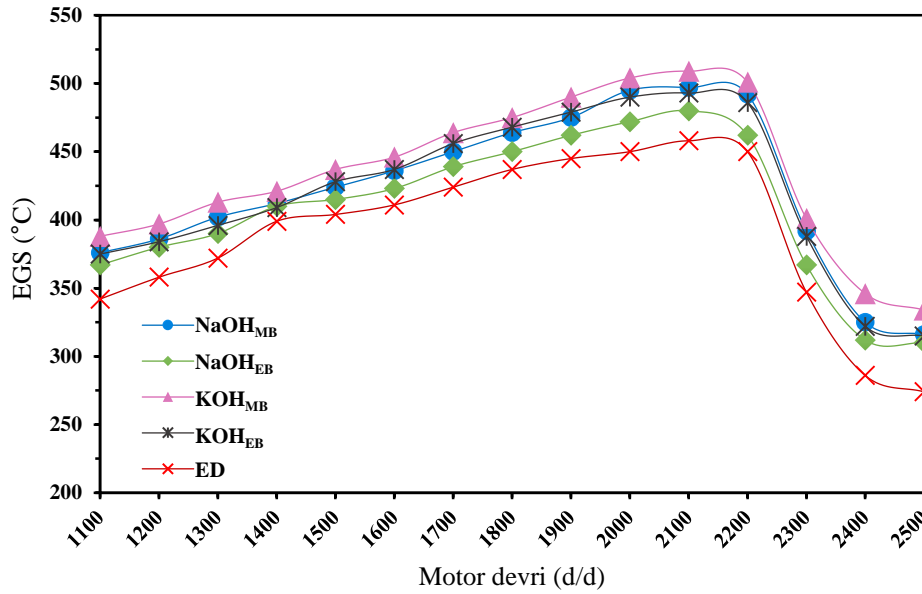
5.5. Egzoz Gazı Sıcaklığı ve Emisyon Değerleri

NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} biyodizel yakıtları ve ED dizel yakıtını bir dizel motorda tam gaz açıklığı durumunda denenmesiyle tespit edilen egzoz gazı sıcaklığı (EGS) ve CO, CO_2 , HC, SO_2 ve NO_x emisyon değerleri motor devir sayısına bağlı olarak grafikler halinde sunulmuştur.

5.5.1. Egzoz Gazı Sıcaklığı (EGS)

Egzoz gazı sıcaklığı (EGS); yoğunluk, viskozite, setan sayısı, ısıl değer vb. yakıt özellikleri ve enjektör basıncı, püskürtme avansı, sıkıştırma oranı vb. motor işletme parametrelerine bağlı olarak değişen egzoz emisyonlarını etkileyen önemli parametrelerden biridir [383, 384]. Ayrıca, motorun performansı, hava-yakıt oranı,

difüzyon yanması sırasında ortaya çıkan ısı ve mevcut O₂ içeriği hakkında net bir fikir edinilmesi bakımından incelenmesi gerekli bir parametredir [384]. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtlarının farklı motor devirlerinde elde edilen EGS değerleri Şekil 5.20’de verilmiştir.



Şekil 5.20. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının EGS Değerleri

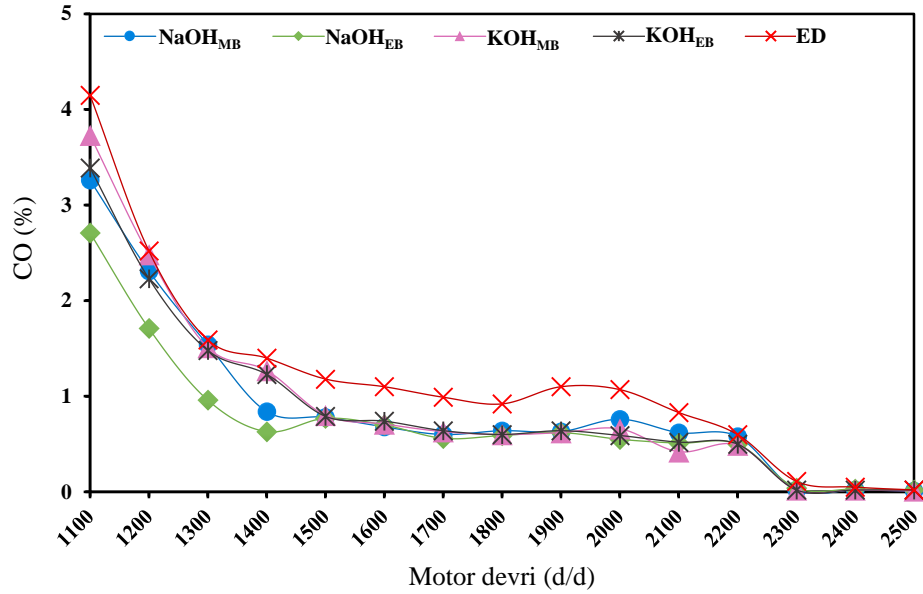
En yüksek EGS değerleri 2100 d/d’da elde edilirken, NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtlarının bu devirde EGS değerleri sırasıyla 497, 480, 509, 493 ve 458 °C olarak tespit edilmiştir. Belirlenen en düşük EGS değerleri ise ölçülen son motor devri olan 2500 d/d’da gerçekleşmiştir. 2500 d/d motor devrinde; NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtlarının EGS değerleri sırasıyla 316, 310, 334, 315 ve 274 °C olarak tespit edilmiştir. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} biyodizel yakıtların ortalama EGS değerleri ED’ye göre sırasıyla %8,28, %4,81, %11,42 ve %8,00 oranlarında düşüş göstermiştir. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtlarının her bir motor devri için tespit edilen EGS değerleri EK-8’de verilmiştir.

Şekil 5.20 göstermektedir ki biyodizel yakıtların EGS değerleri ED’ye göre yüksek çıkmıştır. Biyodizel içerisinde petrodizel’e göre daha fazla oksijen içeriğinin bulunması, biyodizel yakıtların yüksek setan sayılarından dolayı tutuşma gecikmesinin kısılması ve biyodizelin yapısındaki yüksek kaynama noktasına sahip bileşenlerin etkisi ile yanma olayının iş zamanında da devam etmesi yanma işlemini iyileştirmekte

ve daha yüksek egzoz gazı sıcaklığıyla sonuçlanmaktadır [278, 293,361, 365]. Elde edilen sonuçlar diğer araştırmacıların yaptığı çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir [274, 278, 293, 365, 368, 378].

5.5.2. Karbonmonoksit (CO) Emisyonu

NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtları için motor devrine bağlı olarak CO emisyon değerlerinin değişimi Şekil 5.21’de verilmiştir. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtları için en yüksek CO emisyon değerleri 1100 d/d’da sırasıyla %2,71, %3,26, %3,73, %3,39 ve %4,15 olarak ölçülmüştür. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} biyodizel yakıtların ortalama CO emisyon değerleri ED ortalamasına göre sırasıyla %38,17, %26,31, %20,76 ve %23,93 oranlarında düşük çıkmıştır.



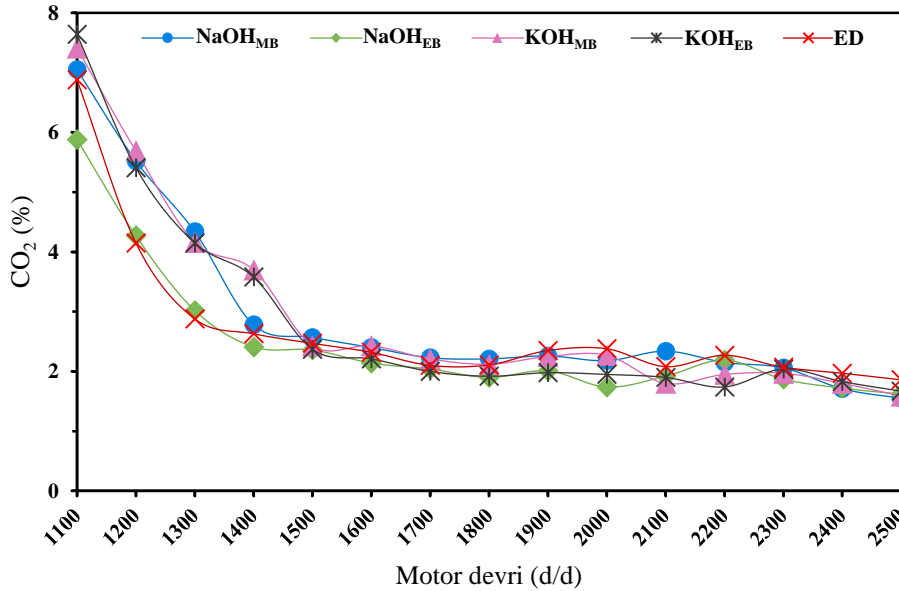
Şekil 5.21. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının CO Emisyon Değerleri

Biyodizel yakıtları için CO emisyonunun azalması, daha fazla yanma sağlayan petrodizelden daha fazla oksijen içeriğinin bulunmasından kaynaklandığı söylenebilir [386]. Elde edilen CO emisyon değerlerinin ve ED ile karşılaştırılmasının, literatürde yapılan bazı çalışmalarla büyük oranda benzerlik gösterdiği görülmüştür [275, 276, 278, 289, 290, 293, 387-390]. Biyodizel yakıtların CO emisyon değerleri kendi aralarında değerlendirildiğinde, orta ve yüksek devirlerde birbirlerine yakın sonuçlar elde edilmiş, düşük devirlerde KOH_{MB} yakıtı bir miktar daha fazla CO emisyon

değerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu duruma neden olarak, KOH_{MB} yakıtının kinematik viskozite değerinin diğer biyodizel yakıtlara göre yüksek olması ve bu durumun düşük devirlerde kötü atomizasyona sebep olarak yeterli yanmanın gerçekleşmediğinden kaynaklı olduğu söylenebilir. NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED yakıtlarının her bir motor devri için tespit edilen CO değerleri EK-9'da verilmiştir.

5.5.3. Karbondioksit (CO_2) Emisyonu

NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED yakıtları için motor devrine bağlı olarak CO_2 emisyon değerlerinin değişimi Şekil 5.22'de verilmiştir. NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED yakıtlarının CO_2 emisyon değerleri motor devri arttıkça azaldığı, orta ve yüksek devirlerde birbirlerine yakın değerlerde olduğu belirlenmiştir. En yüksek CO_2 emisyon değerleri 1100 d/d'da sırasıyla %7,05, %5,88, %7,41, %7,64 ve %6,88 oranlarında ölçülmüştür. NaOH_{MB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} biyodizel yakıtların ortalama CO_2 emisyon değerleri ED ortalamasına göre sırasıyla %6,98, %8,04 ve %4,61 oranlarında yüksek çıkarken, NaOH_{EB} biyodizel yakıtının ortalama CO_2 emisyon değeri ED ortalamasına göre %8,46 oranında düşük çıkmıştır.



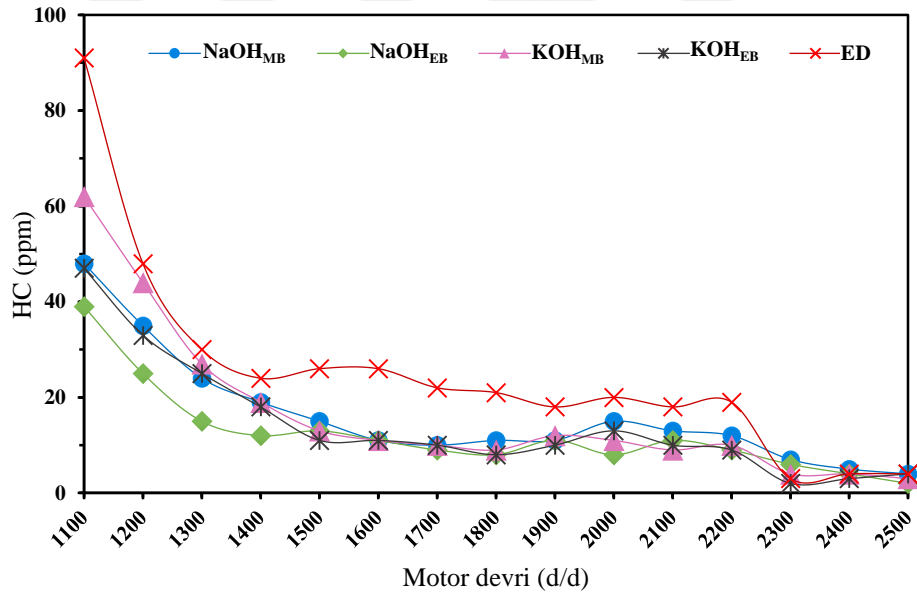
Şekil 5.22. NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının CO_2 Emisyon Değerleri

Biyodizel yakıtların ED'ye göre CO_2 emisyonunun yüksek çıkması, biyodizelde oksijenin (%11-13) bulunması ve hava fazlalık katsayılarının petrodizel'e göre daha

yüksek olması ile daha fazla yanma sonucu daha fazla CO'in CO₂'e dönüştürülmesinden kaynaklandığı söylenebilir [360]. Ayrıca, bitkilerin fotosentezi ile CO₂ absorbe edilerek, CO₂ seviyeleri dengede tutulmakta ve böylece sera etkisini arttırıcı etki görülmemektedir [391]. Elde edilen CO₂ emisyon değerlerinin ve ED ile karşılaştırılmasının, literatürde yapılan bazı çalışmalarla büyük oranda benzerlik gösterdiği görülmüştür [378, 380, 391-393]. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtlarının her bir motor devri için tespit edilen CO₂ değerleri EK-10'da verilmiştir.

5.5.4. Hidrokarbon (HC) Emisyonu

Hidrokarbon (HC) oluşumu silindirler içerisindeki bir miktar yakıtın tam yanmaması veya hiç yanmamasından dolayı oluşmaktadır. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtları için motor devrine bağlı olarak HC emisyon değerlerinin değişimi Şekil 5.23'de verilmiştir.



Şekil 5.23. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının HC Emisyon Değerleri

Her bir yakıtın HC emisyon değerleri motor devri arttıkça azaldığı, biyodizel yakıtların orta ve yüksek devirlerde birbirlerine yakın değerlerde olduğu ve ED yakıtına göre HC emisyon değerlerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtları için en yüksek HC emisyon değerleri 1100 d/d'da sırasıyla 48, 39, 62, 47 ve 91 ppm olarak ölçülmüştür. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB}

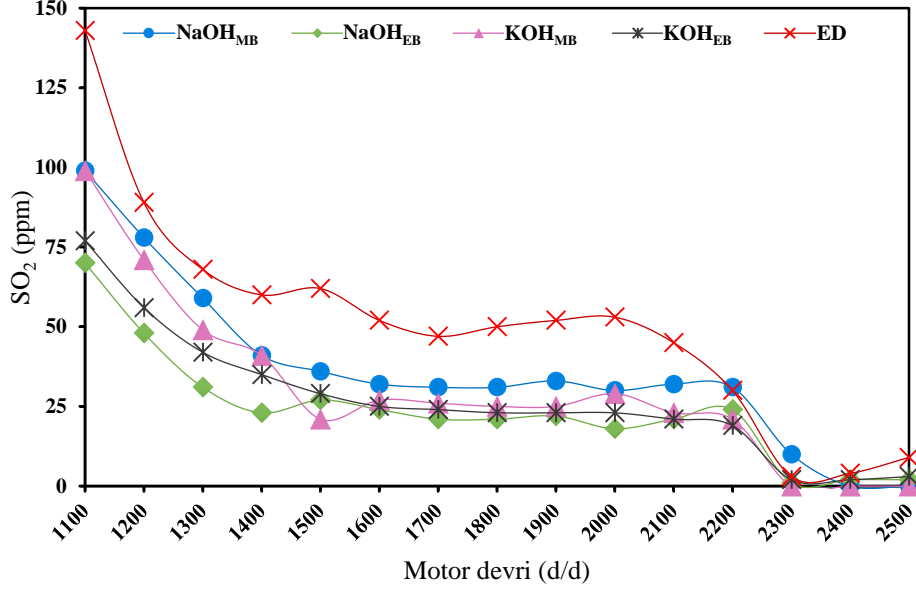
biyodizel yakıtların ortalama HC emisyon değerleri ED ortalamasına göre sırasıyla %35,82, %51,06, %33,68 ve %42,78 oranlarında azalmalar meydana gelmiştir. Bu azalmalar biyodizel yakıtların oksijen içeriğinin ED yakıtına göre daha yüksek olmasından kaynaklı tam yanmanın olduğu ve dolayısıyla HC emisyon seviyesinin önemli ölçüde düştüğünü göstermektedir [394, 395]. Elde edilen HC emisyon değerlerinin ve ED ile karşılaştırılmasının, literatürde yapılan bazı çalışmalarla büyük oranda benzerlik gösterdiği grlmştir [267, 278, 293, 380, 391, 394-401]. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtlarının her bir motor devri için tespit edilen HC değerleri EK-11’de verilmiştir.

5.5.5. Kükürtdioksit (SO₂)Emisyonu

Yakıt içerisindeki kükürtün yanmasıyla meydana gelen kükürtdioksit (SO₂), evre ve insan sağlığı için tehlikeli emisyonların biri olarak kabul edilmektedir. Yanma işlemi sonrasında egzoz gazından atmosfere yayılan kükürt, oksijenle reaksiyonu neticesinde oksidasyona uğramakta ve oksidasyon sonucu SO₂ oluşmaktadır. SO₂ emisyonlarına uzun süreli maruz kalınması; akciğer ve karaciğer hastalıklarını harekete geçirmekte ve mevcut kalp rahatsızlıklarını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu koşullar altında etkilenebilecekler arasında kalp hastaları ve/veya kronik akciğer hastaları dışında çocuklar ve yaşlılar da bulunmaktadır [402-405]. İnsan sağlığına tehlikelerinin yanı sıra; bina, boya, beton ve taşlara hasar vermesi, kirli ve puslu bir hava oluşturması, azalan bitki büyümesi, yaprakların zarar görmesi gibi diğer canlılara ve yapılara da zararı bulunmaktadır [406].

NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtları için motor devrine bağlı olarak SO₂ emisyon değerlerinin değişimi Şekil 5.24’de verilmiştir. Her bir yakıtın SO₂ emisyon değerleri motor devri arttıkça azaldığı, biyodizel yakıtların orta ve yüksek devirlerde birbirlerine yakın değerlerde olduğu ve ED yakıtına göre SO₂ emisyon değerlerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtları için en yüksek SO₂ emisyon değerleri 1100 d/d’da sırasıyla 99, 70, 99, 77 ve 143 ppm olarak llmştir. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} biyodizel yakıtların ortalama SO₂ emisyon değerleri ED ortalamasına göre sırasıyla %30,38, %54,48, %41,41 ve %48,20 oranlarında düşük çıkmıştır. B100 ve ED yakıtlarının SO₂ emisyon değerlerinin karşılaştırılması ile ilgili literatür taraması yapıldığında, bazı

çalışmalarla büyük oranda benzerlik gösterdiği görülmüştür [365, 407-410]. NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED yakıtlarının her bir motor devri için tespit edilen SO_2 değerleri EK-12’de verilmiştir.

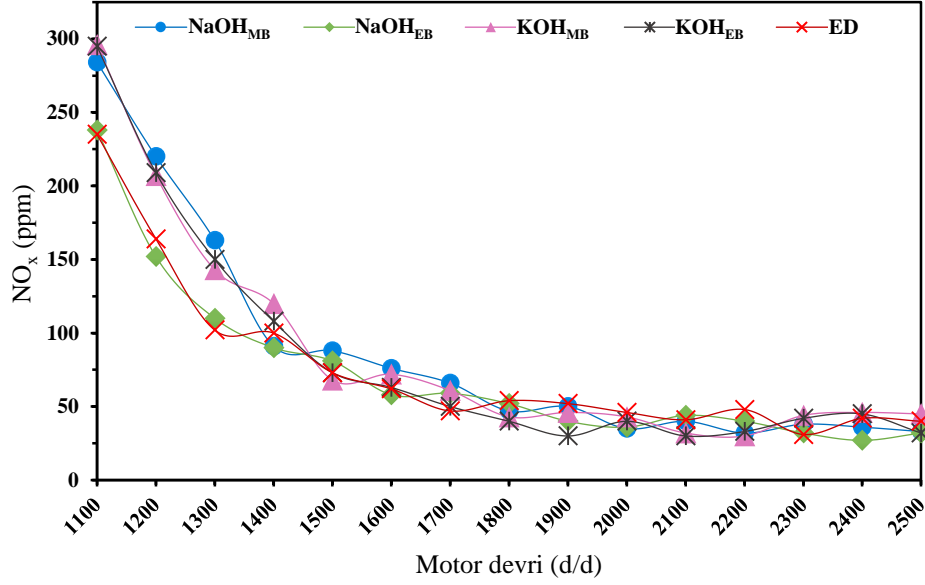


Şekil 5.24. NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının SO_2 Emisyon Değerleri

5.5.6. Azotoksit (NO_x) Emisyonu

Azotoksitler (NO_x); azotdioksit (NO_2) ve nitrikoksit (NO) içeren yüksek oranda reaktif gaz grubudur. Yanma gerçekleşirken havanın içindeki tüm gazlar oksijen ile tepkimeye girme eğilimi göstermekte, yanma odası sıcaklığı $1800\text{ }^\circ\text{C}$ üzerine çıktığında hava içerisinde bulunan azot ve oksijen atomları tepkimeye girerek NO_x 'i meydana getirmektedir. NO_x 'in atmosfere bırakılmasıyla; nefes darlığı, göz, burun ve akciğerlerde tahriş, bulantı, görme ve koku bozukluğu, azalmış oksijen alımı, astım, akciğer ödemi, ölüm gibi insan sağlığı için tehlike arz eden etkiler bulunmaktadır. Bunların yanı sıra su kalitesinde bozulma, artan azot yüklemesi, ozon ve asit yağmuru gibi canlıların sağlığını tehdit eden çevresel faktörler ortaya çıkmaktadır [406, 411, 412]. NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED yakıtları için motor devrine bağlı olarak NO_x emisyon değerlerinin değişimi Şekil 5.25’de verilmiştir. NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} ve ED yakıtları için en yüksek NO_x emisyon değerleri 1100 d/d’da sırasıyla 284, 238, 296, 295 ve 235 ppm olarak ölçülmüştür. ED ortalama NO_x emisyon değerine göre, NaOH_{MB} , KOH_{MB} , KOH_{EB} biyodizel yakıtların ortalama NO_x

emisyona değerleri sırasıyla %14,24, %13,98 ve %9,05 oranlarında artış gösterirken, NaOH_{EB}'nin ortalama NO_x emisyon değeri %4,04 oranında azalma meydana gelmiştir.



Şekil 5.25. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının NO_x Emisyon Değerleri

Biyodizel yakıtların petrodizele göre ortamda bulunan havadaki azot bileşenleriyle reaksiyona girecek daha yüksek oksijen içeriğine sahip olmasından dolayı B100 yakıtların tam yanma bölge sayıları fazlalaşmaktadır. Böylece ortam sıcaklığının yüksek olduğu bölge sayısı da artarak daha büyük miktarda NO_x oluşmaktadır. Ayrıca, biyodizelde daha uzun zincir uzunluğu ve daha yüksek miktarda doymamış yağ asidi NO_x emisyonlarındaki artışlarla ilişkili olduğu ifade edilmektedir [371, 407, 413, 414]. Biyodizelin petrodizele göre alt ısıl değerinin düşük olması, setan sayısının yüksek olması tutuşma gecikme süresi, yanma sıcaklık ve basıncının düşmesine neden olarak NO_x emisyonunun düşmesine neden olabilmektedir [270]. B100 ve petrodizel yakıtlarının NO_x emisyon değerlerinin karşılaştırılması ile ilgili literatür taraması yapıldığında, hem artış hem de azalmaların gerçekleştiği çalışmalara rastlanmıştır [267, 377, 379, 381, 387, 389, 392, 393, 399, 415, 416]. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED yakıtlarının her bir motor devri için tespit edilen NO_x değerleri EK-13'de verilmiştir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Biyodizel ile ilgili yapılan birçok çalışmada biyodizelin üretildiği hammaddenin önemi vurgulanmış, yakıtın kalitesi ve maliyeti açısından önemli olduğu ifade edilmiştir. Ülkemizde özellikle gıda niteliği olmayan yağlardan biyodizel üretilmesi gıda güvenliği açısından uygun görülmektedir. Bu amaçla, tez kapsamında yapılan çalışmada öncelikli olarak, gıda niteliği olmayan siyah hardal (*Brassica nigra* L.) tohumlarından vidalı yağ çıkarma presinden (soğuk sıkım) elde edilen siyah hardal yağı, M, E, İ, B, P alkoller ve NaOH, KOH katalizörlerini kullanarak PRM destekli transesterifikasyon metodu ile farklı optimizasyon parametreleri (katalizör çeşidi ve miktarı, alkol çeşidi ve miktarı, reaksiyon sıcaklığı ve reaksiyon süresi) ışığında SHYB üretimin optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen biyodizel yakıtlar (NaOH_{MB} , NaOH_{EB} , KOH_{MB} , KOH_{EB}) ve petrodizel (ED) yakıtının yakıt özellikleri tespit edilerek, 4 zamanlı, tek silindirli, su soğutmalı, direkt enjeksiyonlu, 17:1 sıkıştırma oranlı, 920 cm³ silindir hacmine sahip, 15 BG bir dizel motorda farklı motor devirlerinde tam gaz açıklığında denenerek biyodizel yakıtların motor performans ve egzoz emisyon değerleri ED ile karşılaştırılmış ve sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur.

Optimizasyon çalışmaları, en iyi üretim veriminde biyodizel elde etmek amacıyla PRM ile birlikte gerçekleştirilmiştir. Alkol olarak M ve E kullanıldığı, NaOH ve KOH katalizörleri varlığında yapılan üretimde SHYB elde edilmiş, İ, B ve P'nin kullanıldığı NaOH katalizör eşliğinde yapılan testlerde ester ve gliserol ayrışmasının gerçekleşmediği gözlenmiş ve sonuçların karşılaştırmalı değerlendirileceğinden dolayı bu alkollerin KOH katalizörü ile ilgili optimizasyon çalışmaları yapılmamıştır. M ve E alkoller ve NaOH ve KOH katalizörlerinin kullanıldığı deneylerde en yüksek biyodizel üretim verimi; %20,39 metanol ve %0,4 KOH ağırlıklarında, 57,1°C reaksiyon sıcaklığı ve 54,1 dk. reaksiyon süresinde % 97,335 olarak elde edilirken, en düşük biyodizel üretim verimi; %45,12 etanol ve %0,838 KOH ağırlıklarında, 35,4°C reaksiyon sıcaklığı ve 56,0 dk. reaksiyon süresinde % 96,229 olarak elde edilmiştir. Optimizasyon çalışmasına PRM uygulanması ile biyodizel verimleri içerisinde en yüksek artış %1,438 oranında NaOH_{MB} ile gerçekleşmiş, en düşük artış ise %0,0548 oranında KOH_{MB} ile belirlenmiştir.

Biyodizellere ait yakıt özellikleri incelendiğinde; NaOH_{EB} yakıtın dışında diğer yakıtların oksidasyon kararlılığı ASTM D 6751 standart değerine uygun olduğu, kinematik viskozite değerlerinin TS EN 14214 standardını sağlamadığı ve NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB} ve KOH_{EB} kinematik viskozite değerlerinin TS EN 14214 standardı üst sınırdan sırasıyla % 2,4, %7,8, %17 ve %9,6 oranlarından yüksek olduğu tespit edilmiş ancak ASTM D 6751 standardına uygun olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan setan sayılarından sadece KOH_{MB} yakıtının TS EN 14214 standart değerinin %0,8 aşımında olurken ASTM D 6751 standartına uygun olduğu, Grup II (Ca+Mg) metaller yakıt özelliği ile ilgili NaOH_{MB} ve KOH_{EB} yakıtlarının her iki standart değerleri sağlamadığı ve bu değerlerin standart değerinin sırasıyla %42 ve %24,4 üstünde olduğu, geriye kalan özelliklere ait edinilen değerler ile ilgili standart aralıkları dışında bir değere rastlanmadığı tespit edilmiştir. NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} biyodizel yakıtların ED'ye göre; kinematik viskozite, yoğunluk, su içeriği, parlama noktaları, soğuk akış özellikleri (BN, SFTN, AN, DN) ve pH özelliklerinin yüksek çıktığı, ısı değerinin düşük çıktığı belirlenmiştir.

Motor performansları incelendiğinde; ED yakıtının NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} biyodizel yakıtlarına göre ortalama efektif motor tork ve ortalama efektif motor güç değerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Biyodizel yakıtlar arasında en yüksek efektif motor torku 1100 d/d'de NaOH_{EB} yakıtında 49,25 Nm, en yüksek efektif motor gücü 2100 d/d'de NaOH_{EB} yakıtında 10,83 kW olarak ölçülmüştür. Minimum özgül yakıt tüketimi 1500 d/d'de ED yakıtında 279,99 kW, bu devirde NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} biyodizel yakıtların özgül yakıt tüketimlerinde ED'ye göre % 14,94, %5,65, %18,24 ve %10,43 oranında artış görülmüştür. Biyodizel yakıtlarının petrodizel göre ısı değerlerinin düşük, yoğunluk ve kinematik viskozite değerlerinin yüksek olması bu artışlara sebep olmaktadır. ED'ye göre, NaOH_{MB} ve KOH_{MB} yakıtlarının ortalama termik verimleri düşük çıkmış, NaOH_{EB} ve KOH_{EB} yakıtlarının ortalama termik verimleri yüksek çıkmıştır. Bu artış ve düşüşler yakıt özelliklerinden kaynaklı eksik ve tam yanma, yüksek ateşleme vb. durumlardan olabileceği gibi motora çalışma koşulları ve karakteristiklerinden kaynaklı sebeplerden dolayı gerçekleşmiş olabilir. ED yakıtının ortalama efektif basınç değeri biyodizel yakıtların ortalama efektif basınç değerlerinden yüksek çıkmıştır.

Tam gaz açıklığı durumunda, motor devri artışına bağlı olarak EGS ve emisyon değerleri incelendiğinde; biyodizel yakıtların ED'ye göre EGS değerlerinin yüksek, CO, HC ve SO₂ ortalama emisyon değerlerinin düşük olduğu tespit edilmiş, CO₂ ve NO_x ortalama emisyon değerlerinin NaOH_{EB} yakıtı dışında yüksek çıktığı belirlenmiştir. NaOH_{EB} yakıtının karbon/hidrojen oranının ED'ye göre düşük olması, ortalama CO₂ emisyon değerinin düşük çıkmasına, benzer şekilde NaOH_{EB} yakıtının setan sayısının ED'ye göre düşük olması ortalama NO_x emisyon değerinin düşük çıkmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Üretilen biyodizel yakıtları çerçevesinde genel olarak değerlendirildiğinde; biyodizel yakıtları içerisinde en yüksek biyodizel verimi KOH_{MB} yakıtı ile elde edilirken, motor performans ve egzoz-emisyon değerleri bakımından en iyi sonuçlar NaOH_{EB} yakıtı ile sağlanmıştır.

Bu sonuçlar doğrultusunda araştırmacılar için yeni fikirlere ışık tutmasında yardımcı olacak öneriler aşağıda verilmiştir:

- SHY'nin biyodizel üretimi için uygun bir yakıt olmasından dolayı, siyah hardal tohumunun ithalatından ziyade ülkemizde yetiştirilmesi için ilgili kurum ve kuruluşlar tarafından gerekli destek ve katkılar verilmelidir.
- Gıda niteliği taşımayan diğer yağlar, hayvansal ve bitkisel atık yağlar ve atıl bitkilerden elde edilen yağlar kullanılarak farklı çalışmalar yapılabilir.
- Biyodizel üretim prosesi ve özellikle en yüksek efektif motor torku, en yüksek efektif motor gücünün elde edildiği motor performans aşamalarında enerji, ekserji analizleri yapıp, maliyet analiz değerlendirmesi gerçekleştirilebilir.
- SHYB'nin uzun süreli testler sonucunda motor yağlama yağına olan etkileri araştırılıp, aşınma elementlerinin tayini yapılabilir.
- SHYB petrodizel, farklı alkoller yada biyodizeller ile karıştırılıp karışım yakıtlar elde edilerek yakıt özellikleri, motor performans ve egzoz-emisyon testleri yapıp ilgili grafikler ortaya koyulabilir.
- Farklı optimizasyon teknikleri (merkezi kompozit tasarım, Box-Behnken, Taguchi, yapay sinir ağları vb.) ile SHYB üretimleri gerçekleştirilebilir ve kullandığımız teknik olan PRM destekli optimizasyon tekniği ile karşılaştırmalı analizler yapılabilir. Aynı zamanda, PRM destekli optimizasyon

tekniki farklı yağların optimizasyonunda kullanılıp, yukarıda ifade edilen optimizasyon teknikleri ile biyodizel verimi ve maliyet değerlendirmeleri gerçekleştirilebilir.

- Yapılan tez çalışmasında elde edilen sonuçlar, diğer *Brassica* ailesindeki yağlarla yapılan yada yapılacak olan çalışmalarda yakıt özellikleri, motor performans ve egzoz-emisyon sonuçlarıyla karşılaştırmaları sağlanarak tartışmalar gerçekleştirilebilir.
- SHYB'ni elde etmek için mikroemülsiyon, seyreltme ve piroliz gibi farklı üretim metotları kullanarak üretimi sağlanabilir.
- Sıkıştırma oranı, püskürtme basıncı, püskürtme avansı vb. motor performansını etkileyecek motor özellikleri değiştirilebilir ve yanma karakteristikleri incelenebilir.
- NaOH katalizörü kullanılarak SHYB üretimi gerçekleştirilemeyen I, B ve P alkollerinin farklı alkali, asit ve enzim katalizörler kullanılarak biyodizel üretimi elde edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Cengel, Y. A., Boles, M. A., Thermodynamcis: An Engineering Approach, McGraw-Hill, 2007.
2. Demirel, Y., Energy, Green Energy and Technology. Energy: Production, Conversion, Storage, Conservation and Coupling, s.27-45, 2012.
3. Koç, E., Şenel, M. C., Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu: Genel Değerlendirme, Mühendis ve Makina, 54(639), 32–44, 2013.
4. Safi, H. M., Türkiye’de Enerji Kaynaklı ve İthal Kömürün Yeri, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2007.
5. Adaçay, F. R., The Perspectives on Energy and Development for Turkey, Aksaray Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilim. Fakültesi Derg., 6 (2), 87–103, 2014.
6. Grozdev, M., Alternatif Enerji Kaynakları: Güneş Enerjisi ve Güneş Pilleri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2010.
7. Üçgül, İ., Elibüyük, U., Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Enerji Jeopolitiği, Süleyman Demirel Üniversitesi: Anka E-Dergi, 2(1), 2016.
8. Koç, E., Kaya, K., Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu, Mühendis ve Makina, 56(668), 36-47, 2015.
9. Bayraç, H. N., Küresel Enerji Politikaları ve Türkiye: Petrol ve Doğal Gaz Kaynakları Açısından Bir Karşılaştırma, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 10(1), 115-142, 2009.
10. International Energy Agency (IEA), Key world energy statistics, Paris, 2018.
11. <https://www.iea.org/statistics/resources/unitconverter/>, (31.12.2018).
12. <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/excel/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-all-data.xlsx>, (31.12.2018).
13. <https://data.oecd.org/energy/crude-oil-production.htm>, (27.12.2018).
14. Erdoğan, S., Enerji Arz Güvenliği Bağlamında Türkiye’de Enerji Politikaları, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2015.
15. BP Statistical Review of World Energy, London, 2018.

16. Arslan, E., Solak, A., Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Tüketiminin İthalat Üzerindeki Etkisi. OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi, 10(17), 1380-1407, 2019.
17. Cihan, K. A., Türkiye’de Alternatif Enerji Kaynaklarının İrdelenmesi: Pestle Analizi. Uluslararası Ekonomi, İşletme ve Politika Dergisi, 1(2), 149-164, 2017.
18. Gökçe, C., Avrupa Birliği ve Türkiye’de Enerji Arz Açığı ve Enerji Kırılganlığı, Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, 2013.
19. Atış, A. G., Kaya, A. A., Bölgesel Sürdürülebilir Kalkınmanın Faktörü Olarak Eko-Enerji ve Enerji Verimliliği: Ülke Karşılaştırmaları. MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi, 5(2), 1-20, 2016.
20. Acaravcı, A., Yıldız, T., Türkiye’nin Enerji Bağımlılığı, Uluslararası Ekonomi ve Yenilik Dergisi, 4(2), 137-152, 2018.
21. EPDK, Doğal Gaz Piyasası Sektör Raporu, 2017.
22. EPDK, Petrol Piyasası Sektör Raporu, 2017.
23. <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/2017Yili-Ulusal-Enerji-Denge-Tablolari>, (30.12.2018).
24. Çalışkan, Ş., Türkiye’nin Enerjide Dışa Bağımlılık Ve Enerji Arz Güvenliği Sorunu, Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 25, 297-310, 2009.
25. Hakman, S., Türkiye’nin Enerji Arz Politikaları. Türkiye-AB Karma İstişare Komitesi 26. Toplantısı, 2009.
26. Erdal, L., Enerji Arz Güvenliğini Etkileyen Faktörler ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Alternatifi, Doktora Tezi, Aydın Menderes Üniversitesi, Aydın, 2011.
27. <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Denge-Tablolari/Denge-Tablolari>, (01.01.2019).
28. Tuncer, G., Eskibalıcı, M. F., Türkiye enerji hammaddeleri potansiyelinin değerlendirilebilirliği. İstanbul Yerbilimleri Dergisi, 16(2), 2003.
29. Gençoğlu, M. T., Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Açısından Önemi, Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilim. Derg., 14, 57–64, 2002.
30. Demir, M., Enerji İthalatı Cari Açık İlişkisi, VAR Analizi ile Türkiye Üzerine Bir İnceleme, Akad. Araştırmalar ve Çalışmalar Derg., 5, 2–27, 2013.

31. Selam, A. A., Özel, S., Akan, Ö. A. Yenilenebilir Enerji Kullanımı Açısından Türkiye'nin OECD Ülkeleri Arasındaki Yeri, *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 317-334.
32. Kaya, F., Göral, E., Türkiye'nin Nükleer Enerji Politikası. Akademik Bakış Uluslararası Hakemli Sosyal Bilimler Dergisi, (57), 421-438, 2016.
33. Berksoy, T., Akdoğan, D. A., Yenilenebilir Enerjide Kamu Politikaları ve Türkiye, *Journal of Life Economics*, 5(3), 19-42, 2018.
34. Doğan, H., Yılankirkan, N., Türkiye'nin Enerji Verimliliği Potansiyeli ve Projeksiyonu, *Gazi Üniversitesi Fen Bilim. Derg.*, 3, 375-383, 2015.
35. Uçan, O., Kaçar, E., Enerji Tüketimi, Ekonomik Büyüme ve Nüfus İlişkisi: Türkiye Örneği, *Verimlilik Dergisi*, (2), 109-120, 2017.
36. Ballı, E., Sigeze, Ç., Manga, M., Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişki: Bdt Ülkeleri Örneği, *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, 18, 773-788, 2018.
37. Bond, K., *Carbon Tracker, 2020 Vision: Why You Should See the Fossil Fuel Peak Coming*, 2018.
38. Lowry, J., *Avoiding Carbon Apocalypse Through Alternative Energy: Life After Fossil Fuels*. Springer, 2017.
39. Kumbur, H., Özer, Z., Özsoy, H. D., Avcı, E. D., Türkiye'de Geleneksel Ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli Ve Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması. *Yeksem 2005, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, 19-21, 2005.
40. Keçebaş, A., Gedik, E., Kayfeci, M., Fosil Yakıtların Kullanımından Kaynaklanan Hava Kirliliği Üzerine Jeotermal Enerji ve Doğalgaz Kullanımının Etkisi: Afyon Örneği, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(3), 23-30, 2010.
41. Kant, C., Kızıloğlu, T., Asit Yağmurlarının Canlılar Üzerine Etkileri. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 34(2), 217-221, 2003.
42. Ertürk, F., Akkoyunlu, A., Varınca, K. B., (2006). Enerji Üretimi ve Çevresel Etkileri. *Türkasya Stratejik Araştırmalar Merkezi*, 14, 7-8, 2006.
43. Ursavaş, N., Yıldırım, E., Enerji Arz Güvenliği Riskinin Türkiye'nin Makroekonomik Dengelerine Etkisi, *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 17(4), 55-83, 2017.

44. Yılmaz, O., Hotunluoğlu, H., Yenilenebilir Enerjiye Yönelik Teşvikler ve Türkiye. Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2(2), 74-97, 2015.
45. Çanka Kılıç, F., Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri, Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 671, s. 28-40, 2015.
46. Çıtak, E., Kılınç Pala, P. B., Yenilenebilir Enerjinin Enerji Güvenliğine Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (25), 79-102, 2016.
47. Tilki, F., Çiçek, E., Biyokütle Enerjisi ve Enerji Ormancılığı, Kafkas Üniversitesi Artvin Orman Fakültesi Dergisi,1-2 (33-40), 2003.
48. Özdemir, Z. Ö., Mutlubaş, H., Biyodizel Üretim Yöntemleri ve Çevresel Etkileri, Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2(2), 129-143, 2016.
49. Hossain, M.S., Madlool, N.A., Rahim, N.A., Selvaraj, J., Pandey, A. K., Khan, A.F., Role of Smart Grid in Renewable Energy: An Overview, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 60, 1168-1184, 2016.
50. Banswar, A., Sharma, N. K., Sood, Y. R., Shrivastava, R., Renewable Energy Sources as a New Participant in Ancillary Service Markets, Energy Strateg. Rev., 18, 106–120, 2017.
51. Zakhidov, R. A., Central Asian Countries Energy System And Role Of Renewable Energy Sources, Appl. Sol. Energy., 44, 218–223, 2008.
52. Önder, S., Ocak, R. Ö., Sürdürülebilir Enerji Kaynaklarının Avantajları, Uluslararası Yeşil Başkentler Kongresi, Konya, 8-11 Mayıs, 2018.
53. Jin, T., Kim, J., What is Better for Mitigating Carbon Emissions – Renewable Energy or Nuclear Energy? A Panel Data Analysis, Renew. Sustain. Energy Rev., 91, 464–471, 2018.
54. Bozlağan, R., Sürdürülebilir Gelişme Düşüncesinin Tarihsel Arka Planı, Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi, (50), 1011-1028, 2005.
55. Panwar, N. L., Kaushik, S. C., Kothari, S., Role of Renewable Energy Sources in Environmental Protection: A Review, Renew. Sustain. Energy Rev., 15, 1513–1524, 2011.
56. Luther, W., Eickenbusch, H., Kaiser, O. S., Brand, L., Application of Nanotechnologies in the Energy Sector. Hessen Trade & Invest GmbH, 2015.

57. Ellabban, O., Abu-Rub, H., Blaabjerg, F., Current Status, Future Prospects And Their Anabling Technology, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 39, 748–764, 2014.
58. Muhammad, F., Waleed Raza, M., Khan, S., Khan, F., Different Solar Potential Co-Ordinates of Pakistan, *Innov. Energy Res.*, 06, 1–8, 2018.
59. Sommariva, C., *Sustainability: A Way to Abundance*, s. 33, CRC Press, 2018.
60. Gönül, B.R., *Yenilenebilir Enerji Kullanımı ve Karbondioksit Emisyonu, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2012.*
61. REN21., *Renewables 2018 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat), 2018.*
62. Magagna, D., Uihlein, A., *Ocean Energy Development in Europe: Current Status and Future Perspectives, Int. J. Mar. Energy.*, 11, 84–104, 2015.
63. REN21., *Renewables 2017 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat), 2017.*
64. <https://www.powerengineeringint.com/renewables.html>, (09.01.2019).
65. IRENA, *Renewable capacity statistics 2017, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi, 2017.*
66. IRENA, *Renewable capacity statistics 2018, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi, 2018.*
67. Yılmaz, M., *Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi, Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Derg.*, 4, 33–54, 2012.
68. Benli, H., *Potential of Renewable Energy in Electrical Energy Production and Sustainable Energy Development of Turkey: Performance and Policies, Renew. Energy.*, 50, 33–46, 2013.
69. Bulut, U., Muratoglu, G., *Renewable energy in Turkey: Great Potential, Low But Increasing Utilization, and An Empirical Analysis on Renewable Energy-Growth Nexus, Energy Policy.*, 123, 240–250, 2018.
70. Karagöl, E. T., Kavaz, İ., *Dünyada ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji. Analiz. Seta*, 197, 18-28, 2017.
71. T. C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, *Türkiye Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı, 2014.*

72. <https://www.teias.gov.tr/tr/i-kurulu-guc-0>, (13.01.2019).
73. Smil, V., Biomass Energies: Resources, Links, Constraints. Springer Science & Business Media, New York & London, 2013.
74. Karayılmazlar, S., Saraçoğlu, N., Çabuk, Y., Rıfat, K., Biyokütlenin Türkiye’de Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 13(19), 63-75, 2011.
75. Yalkı, C., Toplam Enerji Arzı İçerisinde Yenilenebilir Enerjinin Payı ve OECD Ülkeleri Üzerine Bir Uygulama, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2014
76. Gent, S., Twedt, M., Gerometta, C., Almberg, E., Theoretical and Applied Aspects of Biomass Torrefaction: For Biofuels and Value-added Products, Butterworth-Heinemann, United States, 2017.
77. Panwar, N. L., Kothari, R., Tyagi, V. V., Thermo Chemical Conversion of Biomass - Eco Friendly Energy Routes, Renew. Sustain. Energy Rev., 16, 1801–1816, 2012.
78. Soudham, V. P., Biochemical Conversion of Biomass to Biofuels Pretreatment–Detoxification–Hydrolysis–Fermentation, 2015.
79. Sikarwar, V. S., Zhao, M., Fennell, P. S., Shah, N., Anthony, E. J., Progress in Biofuel Production From Gasification, Prog. Energy Combust. Sci., 61, 189–248, 2017.
80. Kapluhan, E., Enerji Coğrafyası Açısından Bir İnceleme: Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki Ve Türkiye’deki Kullanım Durumu, 2014.
81. <https://www.ieabioenergy.com/iea-publications/country-reports/2018-country-reports/>, (18.01.2019).
82. Bayraç, H. N., Özarslan, B., Biyokütle Enerjisi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin Ampirik Bir Analizi: Türkiye Örneği, 8 (17), 1-17, 2018.
83. <http://bepa.yegm.gov.tr/>, (24.01.2019).
84. Ar, F., Sosyo Ekonomik Kalkınmada Göz Ardı Edilemeyecek Potansiyel: Planlı Enerji Tarımına Başlanmalı, TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, 2014.
85. Aksoy, E., Dede, İ., Biyokütle Kaynağı Enerji Bitkileri Üretiminin İngiltere Modeli ile Türkiye’de Değerlendirilmesi, Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı, Samsun, 139-147, 28-29 Mayıs, 2014.

86. Narin, M., Dünyada ve Türkiye’de Enerji Tarımı, 2. Ulusal İktisat Kongresi, İzmir, 1-18, 20-22 Şubat, 2008.
87. Jezierska-Thöle, A., Rudnicki, R., Kluba, M., Development of Energy Crops Cultivation For Biomass Production in Poland, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 62, 534–545, 2016.
88. Tangüner, B., Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Kullanım Hacimleri, *Social Sciences Studies Journal (SSSJJournal)*, 4 (16), 1396-1408, 2018.
89. Taşyürek, M., Acaroğlu, M., Biyoyakıtlarda (Biyomotorinde) Emisyon Azaltımı ve Küresel Isınmaya Etkisi, Uluslararası Küresel İklim Değişikliği ve Çevresel Etkileri Konferansı, Konya, 2007.
90. Kılıç, F.Ç. Türkiye'deki Yenilenebilir Enerjilerde Mevcut Durum ve Teşviklerindeki Son Gelişmeler, *Mühendis ve Makina*, 52(614), 103–115, 2011.
91. Horuz, A., Korkmaz, A., Akınoğlu, G., Biyoyakıt Bitkileri ve Teknolojisi. *Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi*, 3(2), 69-81, 2015.
92. Ar, F. F., Biyoyakıtlar Tehdit mi - Fırsat mı?!, *Mühendis ve Makine.*, 49 (581), 3–9, 2008.
93. FAO, Forest and Energy, Food and Agriculture Organization of The United Nations, Rome, 2008.
94. Howell, S. A., Weber, J. A., US biodiesel overview (No. NREL/CP-200-8098; CONF-9508104-), National Renewable Energy Lab., Golden, CO (United States), 1995.
95. Okant, M., Şanlıurfa İlinin Biyodizel Üretim Potansiyeli, *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 16(4), 11-17, 2012.
96. <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyodizel.aspx>, (27.01.2019).
97. Hassan, M. H., Kalam, M. A., An Overview of Biofuel As A Renewable Energy Source: Development and Challenges, *Procedia Eng.*, 56, 39–53, 2013.
98. Manahan, S., *Environmental Chemistry*, Ninth Edition, CRC press, Boca Raton, 2010.
99. Sabancı, A., Atal, M., Yaşar, A., Türkiye'de Biyodizel Kullanım Olanakları, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 2(1), 33-39, 2006.

100. Ulaş, E., Gerçek Köye Dönüş Projesi:Kenevir, Hiperlink Yayınları, İstanbul, 2018.
101. Soccol, C. R., Brar, S. K., Faulds, C., Ramos, L. P. (Eds.), Green Fuels Technology: Biofuels, Springer, Switzerland, 2016.
102. El Banna, S., El Deen, O. N., Biodiesel An Alternative Vehicles Fuel; Analytical View, 30 (2), 495-521, 2004.
103. Sabancı, A., Ören, M.N., Yaşar, B., Öztürk, H.H., Atal, M., Türkiye’de Biyodizel ve Biyoetanol Üretiminin Tarım Sektörü Açısından Değerlendirilmesi, Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi, 11-15, 2010.
104. Kiper, M., Biyoteknoloji Sektörel İnovasyon Sistemi: Kavramlar, Dünyadan Örnekler, Türkiye’de Durum ve Çıkarımlar, Ankara: TTGV Yayınları, 2018.
105. Çelebi, A., Uğur, A., Biyoyakıtlara Yönelik Mali Teşvikler: Türkiye Açısından Bir Değerlendirme, Hacettepe Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 33(2), 24-45, 2015.
106. Motorin Türlerine Biodizel Harmanlanması Hakkında Tebliğ: Harmanlama Yükümlülüğü (2017, 16, Haziran), Resmi Gazete (Sayı:30098), <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/06/20170616-8.htm>.
107. Çengelci, E., Bayrakçeken, H., Aksoy, F., Hayvansal ve Bitkisel Yağlardan Elde Edilen Biyodizelin Dizel Yakıtı İle Karşılaştırılması. Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi (TATED), 3(1), 41-53, 2011.
108. ZMO Araştırması I, Biyodizel: “Kurtuluş Reçetesi” Dışa Bağımlılık Aracı Mı Oluyor?, Tarım ve Mühendislik, 24–26, 2005.
109. Karaca, Ç., Türkiye’de Sürdürülebilir Tarım Politikaları: Tarım Sektöründe Atıl ve Yenilenebilir Enerji Kaynakların Değerlendirilmesi, Tarım Ekonomisi Dergisi, 19(1), 1-11, 2013.
110. Akgül, E., Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (EİGM), Aylık Enerji İstatistikleri Raporu-10, Ekim 2018, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/EIGM-Raporlari>.
111. Gizlenci, Ş., Acar, M., Şahin, M., Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının (Biyodizel, Biyoetanol ve Biyokütle) Projeksiyonu, Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 8(3), 337-344, 2012.
112. EPDK, Petrol Piyasası Sektör Raporu, 2016.
113. Manzanera, M., Molina-Munoz, M., Gonzalez-Lopez, J., Biodiesel: An Alternative Fuel, Recent Pat. Biotechnol., 2, 25–34, 2008.

114. Saraçoğlu, S., Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Biyokütle Üretiminin Dünyada ve Türkiye’de Durumu, *Fiscaoeconomia*, 1(3), 126-155, 2017.
115. Budak, N., Bayındır, H., Yücel, H.L., Dizel Motorlarda Biyodizel Kullanımının Performans ve Egzoz Emisyonları Açısından Değerlendirilmesi, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Diyarbakır, 19-21, 2009.
116. Oğuz, H., Öğüt, H., Gökdoğan, O., Türkiye Tarım Havzaları Üretim ve Destekleme Modelinin Biyodizel Sektörüne Etkisinin İncelenmesi, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(2 Sp: A), 77-84, 2012.
117. Durmuş, B., Koçer, N.N., Türkiye’de Yetişen Yağlı Tohumlardan Biodizel Üretim Potansiyelinin İncelenmesi, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 7(2/2), 45-49, 2017.
118. Alptekin, E., Çanakçı, M. Biyodizel ve Türkiye’deki Durumu, *Mühendis ve Makine*, 47(561), 57-64, 2006.
119. Reşitoğlu, İ.A., Atık Yağlardan Üretilmiş Biyodizelin Dizel Motor Performans ve Emisyonuna Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin, 2010.
120. Knothe, G., Razon, L.F., Biodiesel Fuels, *Prog. Energy Combust. Sci.*, 58, 36–59, 2017.
121. Knothe, G., Krahl, J., Van Gerpen, J., *The Biodiesel Handbook: Second Edition*, AOCS Press, Champaign-Illinois, 2005.
122. Hoque, M. E., Singh, A., Chuan, Y. L., Biodiesel From Low Cost Feedstocks: The Effects of Process Parameters on The Biodiesel Yield, *Biomass and Bioenergy*, 35, 1582–1587, 2011.
123. <http://palmoil-cpo.blogspot.com/2015/06/biodiesel-production.html>, (02.02.2019).
124. Union zur Förderung von Oel- und Proteinpflanzen e. V., *UFOP Report on Global Market Supply 2017/2018 (UFOP)*, Claire-Waldoff-Straße, ss. 51, Berlin.
125. Demirbas, A., Bafail, A., Ahmad, W., Sheikh, M., Biodiesel Production From Non-Edible Plant Oils, *Energy Explor. Exploit.*, 34, 290–318, 2016.
126. Demir, V.G., İlten, N., Soyhan, H.S., Mikrodalga Destekli Reaktörde Pilot Ölçekli Rafine ve Atık Ayçiçek Yağından Biyodizel Üretimi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg.*, 20, 1–17, 2018.

127. Ahmia, A.C., Danane, F., Bessah, R., Boumesbah, I., Raw Material For Biodiesel Production. Valorization of Used Edible Oil, *Rev. des Energies Renouvelables*, 17(2), 335–343, 2014.
128. Negm, N.A., Abou Kana, M.T.H., Youssif, M.A., Mohamed, M.Y., Biofuels From Vegetable Oils as Alternative Fuels: Advantages and Disadvantages (Chapter 13), 2017.
129. Banković-Ilić, I.B., Stamenković, O.S., Veljković, V.B., Biodiesel Production From Non-Edible Plant Oils, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 16, 3621–3647, 2012.
130. Shikha, K., Rita, C.Y., Biodiesel Production From Non Edible-Oils: A Review, *J. Chem. Pharm. Res.*, 4, 4219–4230, 2012.
131. Kim, D.S., Hanifzadeh, M., Kumar, A., Trend of Biodiesel Feedstock and Its Impact On Biodiesel Emission Characteristics, *Environ. Prog. Sustain. Energy.*, 37, 7–19, 2018.
132. Behçet, R., Aydın, S., Çakmak, A., Bitkisel ve Hayvansal Atık Yağlardan Üretilen Biyodizellerin Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Yakıt Olarak Kullanılması, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2(4), 55-62, 2012.
133. Öztürk, M., Bitkisel ve Hayvansal Atık Yağlardan Biyodizel Üretimi, *Müsteşar Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara, 2018.
134. Yıldız, M., Atık Yağlardan Biyodizel Üretimi ve Karakterizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, 2008.
135. Borugadda, V.B., Goud, V.V., Biodiesel Production From Renewable Feedstocks: Status and Opportunities, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 16, 4763–4784, 2012.
136. Elcik, H., Çakmakçı, M., Mikroalg Üretimi ve Mikroalglerden Biyoyakıt Eldesi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32(3), 795, 2017.
137. Gurr, M.I., Harwood, J.L., Frayn, K.N. *Lipid Biochemistry* (5th ed.), Oxford: Blackwell Science, 2002.
138. Karaca, E., Aytaç, S., Yağ Bitkilerinde Yağ Asitleri Kompozisyonu Üzerine Etki Eden Faktörler, *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 22(1), 123-131, 2007.

139. Rarokar, N.R., Menghani, S., Kerzare, D., Khedekar, P.B., Progress in Synthesis of Monoglycerides for Use in Food and Pharmaceuticals, *J. Exp. Food Chem.*, 03, 1–6, 2017.
140. Alptekin, E, Atık Ağartma Toprağı Yağının Enzimatik Hidrolizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008.
141. Haynes, W.M., Lide, D.R., Bruno, T.J., *CRC Handbook of Chemistry and Physics* 97 th Edition, CRC Press, s. 2643, 2016.
142. <http://www.chemspider.com/>, (28.02.2019).
143. https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/66527/mod_resource/content/0/3.Hafta.pdf, (28.02.2019).
144. Mohammady, N.G.E., Characterization of The Fatty Acid Composition of *Nannochloropsis Salina* as A Determinant of Biodiesel Properties, *Zeitschrift Für Naturforschung C*, 66(7-8), 328-332, 2011.
145. Çakmakçı, S., Tahmas-Kahyaoğlu, D., Yağ Asitlerinin Sağlık ve Beslenme Üzerine Etkilerine Genel Bir Bakış, *Academic Food Journal/Akademik GIDA*, 2012.
146. Gunstone, F.D., *Fatty Acid and Lipid Chemistry*, Springer, 1996.
147. Cao, Y., Liu, W., Xu, X., Zhang, H., Wang, J., Xian, M., Production of Free Monounsaturated Fatty Acids By Metabolically Engineered *Escherichia Coli*, *Biotechnology for Biofuels*, 7(1), 59, 2014.
148. Uzun, G., Yağ Asidi Katkılı Kolza Yağından Biyodizel Üretimi Ve Üretilen Biyodizellerin Karakteristik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2018.
149. Ferrari, R.A., Pighinelli, A.L.M.T., Park, K.J., Biodiesel Production and Quality. In *Biofuel's Engineering Process Technology*, 221-240, IntechOpen, 2011.
150. Ramos, M.J., Fernández, C.M., Casas, A., Rodríguez, L., Pérez, Á., Influence of Fatty Acid Composition of Raw Materials on Biodiesel Properties, *Bioresour. Technol.*, 100, 261–268, 2009.
151. Bondioli, P., Folegatti, L., Lazzeri, L., Palmieri, S., Native *Crambe Abyssinica* Oil and Its Derivatives As Renewable Lubricants: An Approach to Improve Its Quality By Chemical and Biotechnological Processes, *Ind. Crops Prod.*, 7, 231–238, 1998.

152. Aranda Moraes, M.S., Krause, L.C., da Cunha, M.E., Faccini, C.S., de Menezes, E.W., Veses, R.C., Alves Rodrigues, M.R., Caramão, E.B., Tallow Biodiesel: Properties Evaluation and Consumption Tests in A Diesel Engine, *Energy and Fuels.*, 22, 1949–1954, 2008.
153. Leung, D.Y.C., Guo, Y., Transesterification Of Neat and Used Frying Oil: Optimization For Biodiesel Production, *Fuel Process. Technol.*, 87, 883–890, 2006.
154. Makareviciene, V., Skorupskaite, V., Levisauskas, D., Andruleviciute, V., Kazancev, K., The Optimization Of Biodiesel Fuel Production From Microalgae Oil Using Response Surface Methodology, *Int. J. Green Energy.*, 11, 527–541, 2014.
155. Nimcevic, D., Puntigam, R., Wörgetten, M., Gapes, J. R., Preparation of Rapeseed Oil Esters Of Lower Aliphatic Alcohols, *JAOCS, J. Am. Oil Chem. Soc.*, 77, 275–280, 2000.
156. Sanli, H., Canakci, M., Effects of different alcohol and Catalyst Usage On Biodiesel Production From Different Vegetable Oils, *Energy and Fuels.*, 22, 2713–2719, 2008.
157. Bynes, A.N., Eide, I., Jørgensen, K.B., Optimization Of Acid Catalyzed Transesterification Of Jatropha and Rapeseed Oil With 1-Butanol, *Fuel.*, 137, 94–99, 2014.
158. Haşimoğlu, C., İcingür, Y., Özsert, İ., Turbo Şarjlı Bir Dizel Motorda Yakıt Olarak Biyodizel Kullanılmasının Motor Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 23(1), 207-213, 2008.
159. Akgün, G., Bayındır, H., Aydın, H., Düz, Z., Hayvansal Yağlardan Biodizel Üretimi ve Teknik Değerlerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma, V. Yenilenebilir enerji kaynakları sempozyumu, Diyarbakır, 2009.
160. Çıldır, O., Çanakçı, M., Çeşitli Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretiminde Katalizör ve Alkol Miktarının Yakıt Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 21(2), 367-372, 2006.
161. Andronesco, E., Grumezescu, A.M., Nanostructures in Therapeutic Medicine Series Nanostructures for Drug Delivery, 1024, 2017.
162. Rajalingam, A., Jani, S.P., Kumar, A.S., Khan, M.A., Review Article: Production methods of biodiesel, *J. Chem. Pharm. Res.*, 8, 170–173, 2016.
163. Ma, F., Hanna, M.A., Biodiesel Production: A review, *Bioresource technology*, 70(1), 1-15, 1999.

164. Fukuda, H., Kondo, A., Noda, H., Biodiesel Fuel Production By Transesterification Of Oils, *J. Biosci. Bioeng.*, 92 (5), 405–416, 2001.
165. Srivastava, A., Prasad, R., Triglycerides-Based Diesel Fuels, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4(2), 111-133, 2000.
166. Singh, P., Singh, R.I., Kundu, K., Combustion of Biodiesel from Vegetable Oil in Engines — A Review, *Conference Paper*, October, 122-129, 2010.
167. Şahin, T., Aydın, F., The Investigation of Biodiesel Production Techniques, *Uluslararası Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*, 1(3), 222-227, 2018.
168. Lokanatham, R., Prof.Ravindranath, K., Extraction and Use of Non-Edible Oils in Bio-Diesel Preparation with Performance and Emission Analysis on C.I. Engine, *Int. J. Eng. Res. Dev.*, 6, 35–45, 2013.
169. Özdemir, Z.Ö., Mutlubaş, H., Biyodizel Üretim Yöntemleri ve Çevresel Etkileri, *Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2(2), 129-143, 2016.
170. Ambat, I., Srivastava, V., Sillanpää, M., Recent Advancement in Biodiesel Production Methodologies Using Various Feedstock: A Review, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 90, 356–369, 2018.
171. Yusuf, N.N.A.N., Kamarudin, S. K., Yaakub, Z., Overview on The Current Trends in Biodiesel Production, *Energy Convers. Manag.*, 52, 2741–2751, 2011.
172. Gebremariam, S.N., Marchetti, J.M., Biodiesel Production Technologies: A Review, *AIMS Energy*, 5(3), 425-457, 2017.
173. Zahan, K., Kano, M., Biodiesel Production From Palm Oil, Its By-Products, and Mill Effluent: A Review, *Energies*, 11(8), 2132, 1-25, 2018.
174. Singh, S.P., Singh, D., Biodiesel Production Through The Use of Different Sources and Characterization of Oils and Their Esters As The Substitute of Diesel: A Review, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 14, 200–216, 2010.
175. Mishra, V.K., Goswami, R., A Review of Production, Properties and Advantages of Biodiesel, *Biofuels*, 9, 273–289, 2018.
176. Hymavathi, D., Prabhakar, G., Sarath, B.B., Biodiesel production from vegetable oils: An Optimization Process. *Int J Chem Petrochem Technol*, 4(2), 21-30, 2014.

177. Hanh, H.D., Dong, N.T., Okitsu, K., Nishimura, R., Maeda, Y., Biodiesel Production Through Transesterification of Triolein With Various Alcohols in An Ultrasonic Field, *Renew. Energy.*, 34, 766–768, 2009.
178. Černoč, M., Hájek, M., Skopal, F., Study of Effects of Some Reaction Conditions On Ethanolysis of Rapeseed Oil With Dispergation, *Bioresour. Technol.*, 101, 1213–1219, 2010.
179. Nomanbhay, S., Ong, M., A Review of Microwave-Assisted Reactions For Biodiesel Production, *Bioengineering*, 4(2), 57, 2017.
180. Aksoy, L., Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel ve Üretim Prosesleri, *Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(3), 45-52, 2010.
181. Elango, R.K., Sathiasivan, K., Muthukumar, C., Thangavelu, V., Rajesh, M., Tamilarasan, K., Transesterification of Castor Oil For Biodiesel Production: Process Optimization and Characterization, *Microchem. J.*, 145, 1162–1168, 2019.
182. Abbah, E.C., Nwakuba, N.R., Obasi, S.N., Enem, J.I., Effect of Reaction Temperature on the Yield of Biodiesel From Neem Seed Oil, *Am. J. Energy Sci.*, 4, 5–9, 2017.
183. Miao, X., Li, R., Yao, H., Effective Acid-Catalyzed Transesterification for Biodiesel Production, *Energy Convers. Manag.*, 50, 2680–2684, 2009.
184. Sultana, S., Khalid, A., Ahmad, M., Zuhairi, A.A., Teong, L.K., Zafar, M., Hassan, F.U., The Production, Optimization, and Characterization of Biodiesel From A Novel Source: *Sinapis Alba L*, *Int. J. Green Energy.*, 11, 280–291, 2014.
185. Sharma, Y.C., Singh, B., Korstad, J., High Yield and Conversion of Biodiesel From A Nonedible Feedstock (*Pongamia pinnata*), *J. Agric. Food Chem.*, 58, 242–247, 2010.
186. Borges, K. A., Squissato, A.L., Santos, D.Q., Neto, W.B., Batista, A.C.F., Silva, T.A., Vieira, A.T., De Oliveira, M.F., Hernández-Terrones, M.G., Homogeneous Catalysis of Soybean Oil Transesterification Via Methylic and Ethylic Routes: Multivariate Comparison, *Energy*, 67, 569–574, 2014.
187. Değirmenbaşı, N., Boz, N., Soya Yağı Metil Esterlerin Üretimi İçin Bazik Heterojen Katalizör Tasarımı, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 3(1), 401-406, 2015.
188. Sivasamy, A., Cheah, K.Y., Fornasiero, P., Kemausuor, F., Zinoviev, S., Miertus, S., Catalytic applications in the production of Biodiesel From Vegetable Oils, *ChemSusChem.*, 2, 278–300, 2009.

189. Ruwwe, J., Metal Alkoxides as Catalysts for The Biodiesel Production, *Chim. Oggi.*, 26 (1), 26–28, 2008.
190. Verma, P., Sharma, M.P., Dwivedi, G., Impact of Alcohol on Biodiesel Production and Properties, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 56, 319–333, 2016.
191. Talha, N.S., Sulaiman, S., Overview of Catalysts in Biodiesel Production, *ARNP J. Eng. Appl. Sci.*, 11, 439–442, 2016.
192. Atadashi, I.M., Aroua, M.K., Abdul Aziz, A.R., Sulaiman, N.M.N., The Effects of Catalysts in Biodiesel Production: A Review, *J. Ind. Eng. Chem.*, 19, 14–26, 2013.
193. Lam, M.K., Lee, K.T., Mohamed, A.R., Homogeneous, Heterogeneous and Enzymatic Catalysis for transesterification of High Free Fatty Acid Oil (Waste Cooking Oil) to Biodiesel: A Review, *Biotechnol. Adv.*, 28, 500–518, 2010.
194. Bajaj, A., Lohan, P., Jha, P.N., Mehrotra, R., Biodiesel Production Through Lipase Catalyzed Transesterification: An Overview, *J. Mol. Catal. B Enzym.*, 62, 9–14, 2010.
195. Silva, G. F., Camargo, F.L., Ferreira, A.L.O., Application of Response Surface Methodology for Optimization of Biodiesel Production by Transesterification of Soybean Oil with Ethanol, *Fuel Process. Technol.*, 92, 407–413, 2011.
196. Silitonga, A.S., Ong, H.C., Mahlia, T.M.I., Masjuki, H.H., Chong, W.T., Biodiesel Conversion From High FFA Crude *Jatropha Curcas*, *Calophyllum Inophyllum* and *Ceiba Pentandra* Oil, *Energy Procedia*, 61, 480–483, 2014.
197. Dawodu, F.A., Ayodele, O.O., Bolanle-Ojo, T., Biodiesel Production from *Sesamum Indicum* L. Seed Oil: An Optimization Study, *Egypt. J. Pet.*, 23, 191–199, 2014.
198. Sagiroglu, A., Isbilir, S.Ş., Ozcan, M.H., Paluzar, H., Toprakkiran, N.M., Comparison of Biodiesel Productivities of Different Vegetable Oils by Acidic Catalysis. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly/CICEQ*, 17(1), 53-58, 2015.
199. Cao, H., Zhang, Z., Wu, X., Miao, X., Direct Biodiesel Production from Wet Microalgae Biomass of *Chlorella pyrenoidosa* through in Situ Transesterification, 2013, 2013.
200. Viriya-empikul, N., Krasae, P., Nualpaeng, W., Yoosuk, B., Faungnawakij, K., Biodiesel Production over Ca-Based Solid Catalysts Derived from Industrial Wastes, *Fuel.*, 92, 239–244, 2012.

201. Muthu, H., SathyaSelvabala, V., Varathachary, T.K., Kirupha Selvaraj, D., Nandagopal, J., Subramanian, S., Synthesis of Biodiesel from Neem Oil Using Sulfated Zirconia Via Transesterification. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 27(4), 601-608, 2010.
202. Brucato, A., Busciglio, A., Stefano, F.Di, Grisafi, F., Micale, G., Scargiali, F., High Temperature Solid-Catalized Transesterification for Biodiesel Production, 2006.
203. Simões, A.S., Ramos, L., Freitas, L., Santos, J.C., Zanin, G.M., Castro, H.F. De., Performance of An Enzymatic Packed Bed Reactor Running on Babassu Oil to Yield Fatty Ethyl Esters (FAEE) in A Solvent-Free System, 6, 242–247, 2015.
204. Atadhasi, I.M., The Effects Of Alcohol to Oil Molar Ratios and The Type of Alcohol on Biodiesel Production Using Transesterification Process, *Egypt. J. Pet.*, 25, 21–31, 2016.
205. Uğur, F., Hilmioglu, N.D., Biyoyakıt Saflaştırılmasında Çevre Dostu Membran Prosesinin Uygulanabilirliğinin Araştırılması, 1-5.
206. Stamenković, O.S., Veličković, A.V., Veljković, V.B., The Production of Biodiesel from Vegetable Oils by Ethanolysis: Current State and Perspectives, *Fuel.*, 90, 3141–3155, 2011.
207. Rashid, U., Anwar, F., Yunus, R., Al-Muhtaseb, A.H., Transesterification for Biodiesel Production Using *Thespesia Populnea* Seed Oil: An Optimization Study, *Int. J. Green Energy.*, 12, 479–484, 2015.
208. Verma, P., Dwivedi, G., Sharma, M.P., Comprehensive Analysis on Potential Factors of Ethanol in Karanja Biodiesel Production and Its Kinetic Studies, *Fuel.*, 188, 586–594, 2017.
209. Meher, L.C., Vidya Sagar, D., Naik, S.N., Technical Aspects of Biodiesel Production by transesterification - A Review, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 10, 248–268, 2006.
210. Issariyakul, T., Dalai, A.K., Biodiesel from Vegetable Oils, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 31, 446–471, 2014.
211. Leung, D.Y.C., Wu, X., Leung, M.K.H., A Review on Biodiesel Production Using Catalyzed Transesterification, *Appl. Energy.*, 87, 1083–1095, 2010.
212. Young, T., Jung, M., Simultaneous Protein and Biodiesel Production from Yellow Mustard Seed with Isopropyl Alcohol Extraction by, 2011.

213. Helwani, Z., Othman, M.R., Aziz, N., Fernando, W.J.N., Kim, J., Technologies for Production of Biodiesel Focusing on Green Catalytic Techniques: A Review, *Fuel Process. Technol.*, 90, 1502–1514, 2009.
214. Zullaikah, S., Lai, C., Vali, S.R., Ju, Y., A Two-Step Acid-Catalyzed Process for The Production of Biodiesel from Rice Bran Oil, 96, 1889–1896, 2005.
215. Sharma, Y.C., Singh, B., An Ideal Feedstock, kusum (*Schleichera Triguga*) for Preparation of Biodiesel: Optimization of Parameters, *Fuel.*, 89, 1470–1474, 2010.
216. Zhang, Y., Dubé, M.A., McLean, D.D., Kates, M., Biodiesel Production from Waste Cooking Oil: 2. Economic Assessment and Sensitivity Analysis, *Bioresour. Technol.*, 90, 229–240, 2003.
217. Di Serio, M., Tesser, R., Pengmei, L., Santacesaria, E., Heterogeneous Catalysts for Biodiesel Production, *Energy & Fuels*, 22(1), 207-217, 2007.
218. Antczak, M.S., Kubiak, A., Antczak, T., Bielecki, S., Enzymatic Biodiesel Synthesis - Key Factors Affecting Efficiency of The Process, *Renew. Energy.*, 34, 1185–1194, 2009.
219. Kumar Tiwari, A., Kumar, A., Raheman, H., Biodiesel Production From *Jatropha* Oil (*Jatropha Curcas*) with High Free Fatty Acids: An Optimized Process, *Biomass and Bioenergy.*, 31, 569–575, 2007.
220. Demirbas, A., Progress and Recent Trends in Biodiesel Fuels, *Energy Convers. Manag.*, 50, 14–34, 2009.
221. Chongkhong, S., Tongurai, C., Chetpattananondh, P., Continuous Esterification for Biodiesel Production from Palm Fatty Acid Distillate Using Economical Process, *Renew. Energy.*, 34, 1059–1063, 2009.
222. Marchetti, J.M., Miguel, V.U., Errazu, A.F., Possible Methods for Biodiesel Production, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 11, 1300–1311, 2007.
223. Mat, R., Ling, O.S., Johari, A., Mohamed, M., In situ Biodiesel Production From Residual Oil Recovered from Spent Bleaching Earth, *Bull. Chem. React. Eng. Catal.*, 6, 53–57, 2011.
224. Sahoo, P.K., Das, L.M., Babu, M.K.G., Naik, S.N., Biodiesel Development from High Acid Value Polanga Seed Oil and Performance Evaluation in A CI Engine, *Fuel*, 86, 448–454, 2007.
225. Ramadhas, A.S., Jayaraj, S., Muraleedharan, C., Biodiesel Production from High FFA Rubber Seed Oil, *Fuel*, 84, 335–340, 2005.

226. Mathiarasi, R., Mugesh kanna, C., Partha, N., Transesterification of Soap Nut Oil Using Novel Catalyst, *J. Saudi Chem. Soc.*, 21, 11–17, 2017.
227. Fahed Banihani, F., Transesterification and Production of Biodiesel from Waste Cooking Oil: Effect of Operation Variables on Fuel Properties, *Am. J. Chem. Eng.*, 4, 154, 2017.
228. Aksoy, L., Opium Poppy (*Papaver somniferum* L.) Oil for Preparation of Biodiesel: Optimization of Conditions, *Appl. Energy.*, 88, 4713–4718, 2011.
229. De Lima Da Silva, N., Batistella, C.B., Filho, R.M., Maciel, M.R.W., Biodiesel Production from Castor Oil: Optimization of Alkaline Ethanolysis, *Energy and Fuels*, 23, 5636–5642, 2009.
230. Gomes Filho, J.C., Peiter, A.S., Pimentel, W.R.O., Soletti, J.I., Carvalho, S.H.V, Meili, L., Biodiesel production from *Sterculia Striata* Oil by Ethyl Transesterification Method, *Ind. Crops Prod.*, 74, 767–772, 2015.
231. Valle, P.W.P.A., Rezende, T.F., Souza, R.A.A., Fortes, I.C.P., Pasa, V.M.D., Combination of Fractional Factorial and Doehlert Experimental Designs in Biodiesel Production: Ethanolysis of *Raphanus Sativus* L. var. *Oleiferus Stokes* Oil Catalyzed by Sodium Ethoxide, *Energy and Fuels*, 23, 5219–5227, 2009.
232. Dağdelen, A., Yüksel, Y., Yağlı Tohum Çeşidi ve Transesterifikasyon Yöntemlerinin Biyoyakıt Üretimine ve Kalitesine Etkileri, *Nevşehir Bilim ve Teknol. Derg.*, 5, 107–107, 2016.
233. Eevera, T., Rajendran, K., Saradha, S., Biodiesel Production Process Optimization and Characterization to Assess The Suitability of The Product for Varied Environmental Conditions, *Renew. Energy.*, 34, 762–765, 2009.
234. Gashaw, A., Getachew, T., Teshita, A., A Review on Biodiesel Production as Alternative Fuel. *J. For Prod. Ind.*, 4(2), 80-85, 2015.
235. Barnwal, B. K., Sharma, M. P., Prospects of Biodiesel Production from Vegetable Oils in India, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 9, 363–378, 2005.
236. Barabás, I., Todoruț, I.A., Biodiesel-Quality, Emissions and By-Products : Biodiesel Quality, Standards and Properties, 3-28, 2011.
237. Luque, R., Melero, J.A.(Eds.), *Advances in Biodiesel Production: Processes and Technologies- Advances in Biodiesel Quality Control, Characterisation and Standards Development*, Woodhead Publishing Series in Energy: Number 39, Elsevier.

238. TS EN 14214+A1, Sıvı petrol ürünleri-Yağ asidi metil esterleri (YAME/Biyodizel)-Dizel motorlarda ve ısıtma uygulamalarında kullanılan-Özellikler ve deney Yöntemleri, Ankara, 2014.
239. Biodiesel handling and use guide (Fifth Edition), US Department of Energy, DOE/GO-102016-4875, November, 2016.
240. TS EN 590, Otomotiv yakıtları-Dizel (Motorin)-Gerekler ve Deney Yöntemleri, Ankara, 2014.
241. Fadhil, A.B., Abdulahad, W.S., Transesterification of Mustard (*Brassica nigra*) Seed Oil with Ethanol: Purification of The Crude Ethyl Ester with Activated Carbon Produced From De-Oiled Cake, *Energy Convers. Manag.*, 77, 495–503, 2014.
242. Yesilyurt, M.K., Arslan, M., Eryilmaz, T., Application of Response Surface Methodology for The Optimization of Biodiesel Production from Yellow Mustard (*Sinapis alba* L.) Seed Oil, *Int. J. Green Energy.*, 16, 60–71, 2019.
243. Kostić, M.D., Djalović, I.G., Stamenković, O.S., Mitrović, P.M., Adamović, D.S., Kulina, M.K., Veljković, V.B. Kinetic Modeling and Optimization of Biodiesel Production from White Mustard (*Sinapis alba* L.) Seed Oil by Quicklime-Catalyzed Transesterification, *Fuel*, 223, 125-139, 2018.
244. Al-dobouni, I.A., Fadhil, A.B., Saeed, I.K., Optimized Alkali-Catalyzed Transesterification of Wild Mustard (*Brassica juncea* L.) Seed Oil, *Energy Sources: Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, 38, 2319–2325, 2016.
245. Jham, G.N., Moser, B.R., Shah, S.N., Holser, R.A., Dhingra, O.D., Vaughn, S.F., ...Walter, E.L., Wild Brazilian Mustard (*Brassica juncea* L.) Seed Oil Methyl Esters as Biodiesel Fuel, *JAOCs, J. Am. Oil Chem. Soc.*, 86, 917–926, 2009.
246. Eryilmaz, T., Hardal Yağı Biyodizelinde Farklı Karışım Oranlarının Dizel Motorlarda Performansa Etkisi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2009.
247. Černoč, M., Hájek, M., Skopal, F., Ethanolysis of Rapeseed Oil - Distribution of Ethyl Esters, Glycerides and Glycerol Between Ester and Glycerol Phases, *Bioresour. Technol.*, 101, 2071–2075, 2010.
248. Rashid, U., Anwar, F., Production of Biodiesel through Optimized Alkaline-Catalyzed Transesterification of rapeseed Oil, *Fuel*, 87, 265–273, 2008.
249. Fillières, R., Benjelloun-Mlayah, B., Delmas, M., Ethanolysis of Rapeseed Oil: Quantitation of Ethyl Esters, Mono-, Di-, and Triglycerides and Glycerol by High-Performance Size-Exclusion Chromatography, *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 72, 427–432, 1995.

250. Issariyakul, T., Kulkarni, M.G., Meher, L.C., Dalai, A.K., Bakhshi, N.N., Biodiesel Production from Mixtures of Canola Oil and Used Cooking Oil, *Chem. Eng. J.*, 140, 77–85, 2008.
251. Karabaş, H., Investigation of Biodiesel Fuel from Canola Oil Using Various Reaction Parameters, *Int. J. Automot. Eng. Technol.*, 2, 85 – 91, 2013.
252. Bouaid, A., Martinez, M., Aracil, J., A Comparative Study of The Production of Ethyl Esters From Vegetable Oils as A Biodiesel Fuel Optimization by Factorial Design, *Chem. Eng. J.*, 134, 93–99, 2007.
253. Vicente, G., Martínez, M., Aracil, J., Optimization of *Brassica carinata* Oil Methanolysis for Biodiesel Production, *JAOCs, J. Am. Oil Chem. Soc.*, 82, 899–904, 2005.
254. Bouaid, A., Martinez, M., Aracil, J., Production of Biodiesel from Bioethanol and *Brassica Carinata* Oil: Oxidation Stability Study, *Bioresour. Technol.*, 100, 2234–2239, 2009.
255. Alkabbashi, A.N., Alam, M.Z., Mirghani, M.E.S., Al-Fusaid, A.M.A. Biodiesel Production from Crude Palm Oil by Transesterification Process, *Journal of Applied Sciences*, 9(17), 3166-3170, 2009.
256. Goyal, P., Sharma, M.P., Jain, S., Optimization of Transesterification of Nigerian *Jatropha Curcas* oil Using Response Surface Methodology, *J. Mater. Environ. Sci.*, 4, 277–284, 2013.
257. Moser, B.R., Evangelista, R.L., Jham, G., Fuel Properties of *Brassica Juncea* Oil Methyl Esters Blended with Ultra-Low Sulfur Diesel Fuel, *Renew. Energy.*, 78, 82–88, 2015.
258. Nisar, N., Mehmood, S., Nisar, H., Jamil, S., Ahmad, Z., Ghani, N., ... Iqbal, M., *Brassicaceae* Family Oil Methyl Esters Blended with Ultra-Low Sulphur Diesel Fuel (ULSD): Comparison of Fuel Properties with Fuel Standards, *Renew. Energy.*, 117, 393–403, 2018.
259. Atabani, A.E., Silitonga, A.S., Badruddin, I.A., Mahlia, T.M.I., Masjuki, H. H., Mekhilef, S., A Comprehensive Review on Biodiesel as An Alternative Energy Resource and Its Characteristics, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 16, 2070–2093, 2012.
260. Anbumani, K., Singh, A.P., Performance of Mustard and Neem Oil Blends with Diesel Fuel in C.I. Engine, *ARNP J. Eng. Appl. Sci.*, 5, 14–20, 2010.
261. Singh, B., Kaur, J., Singh, K., Production of Biodiesel From Used Mustard Oil and Its Performance Analysis in Internal Combustion Engine, *J. Energy Resour. Technol.*, 132, 031001, 2010.

262. Sugozi, L., Oner, C., Altun, S., The Performance and Emissions Characteristics of a Diesel Engine Fueled with Biodiesel and Diesel Fuel, *Int. J. Eng. Res. Dev.*, 2, 2010.
263. Leevijit, T., Prateepchaikul, G., Comparative Performance and Emissions of IDI-Turbo Automobile Diesel Engine Operated Using Degummed, Deacidified Mixed Crude Palm Oil-Diesel Blends, *Fuel*, 90, 1487–1491, 2011.
264. Anand, K., Sharma, R.P., Mehta, P.S., Experimental Investigations on Combustion, Performance and Emissions Characteristics of Neat Karanji Biodiesel and Its Methanol Blend in A Diesel Engine, *Biomass and Bioenergy*, 35, 533–541, 2011.
265. Hasib, Z.M., Hossain, J., Biswas, S., Islam, A., Bio-Diesel from Mustard Oil: A Renewable Alternative Fuel for Small Diesel Engines, *Mod. Mech. Eng.*, 01, 77–83, 2011.
266. Bannikov, M.G., Combustion and Emissions Characteristics of Mustard Biodiesel, 16–18, 2011.
267. Ndayishimiye, P., Tazerout, M., Use of Palm Oil-Based Biofuel in The Internal Combustion Engines: Performance and Emissions Characteristics, *Energy*, 36, 1790–1796, 2011.
268. Yusaf, T.F., Yousif, B.F., Elawad, M.M., Crude Palm Oil Fuel for Diesel-Engines: Experimental and ANN Simulation Approaches, *Energy*, 36, 4871–4878, 2011.
269. Chauhan, B.S., Kumar, N., Cho, H.M., A Study on The Performance and Emission of A Diesel Engine Fueled with Jatropha Biodiesel Oil and Its Blends, *Energy*, 37, 616–622, 2012.
270. Aysal, F.E., Aksoy, F., Şahin, A., Aksoy, L., Yıldırım, H., Hardal Yağından Biyodizel Üretiminin Optimizasyonu ve Motor Performans Testleri, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(2), 1-9, 2014.
271. Sanjid, A., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Abedin, M.J., Rahman, S.M.A., Experimental Investigation of Mustard Biodiesel Blend Properties, Performance, Exhaust Emission and Noise in an Unmodified Diesel Engine, *APCBEE Procedia*, 10, 149–153, 2014.
272. Basavaraju, K., Jamunarani, G., Performance and Emission Characteristics of A Variable Compression Ratio Diesel Engine Using Methyl Esters of Mustard Biodiesel Blends, 4, 20–28, 2014.
273. Ahmed, S., Hassan, M.H., Kalam, M.A., Ashrafur Rahman, S.M., Abedin, M. J., Shahir, A., An Experimental Investigation of Biodiesel Production,

Characterization, Engine Performance, Emission and Noise of *Brassica Juncea* Methyl Ester and Its Blends, *J. Clean. Prod.*, 79, 74–81, 2014.

274. De, B., Panua, R.S., An Experimental Study on Performance and Emission Characteristics of Vegetable Oil Blends with Diesel in A Direct Injection Variable Compression Ignition Engine, *Procedia Eng.*, 90, 431–438, 2014.
275. Kolhe, A.V., Shelke, R.E., Khandare, S.S., Performance, Emission and Combustion Characteristics of A Variable Compression Ratio Diesel Engine Fueled with Karanja Biodiesel and Its Blends, *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 8(4), 806-813, 2014.
276. Özener, O., Yüksek, L., Ergenç, A.T., Özkan, M., Effects of Soybean Biodiesel on A DI Diesel Engine Performance, Emission and Combustion Characteristics, *Fuel*, 115, 875–883, 2014.
277. Nayak, S.K., Pattanaik, B.P., Experimental Investigation on Performance and Emission Characteristics of A Diesel Engine Fuelled with Mahua Biodiesel Using Additive, *Energy Procedia*, 54, 569–579, 2014.
278. Sanjid, A., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Rahman, S.M.A., Abedin, M.J., Fattah, I.M.R., Characterization and Prediction of Blend Properties and Evaluation of Engine Performance and Emission Parameters of A CI Engine Operated with Various Biodiesel Blends, *RSC Adv.*, 5, 13246–13255, 2015.
279. Ameer Uddin, S.M., Azad, A.K., Alam, M.M., Ahamed, J.U., Performance of A Diesel Engine Run with Mustard-Kerosene Blends, *Procedia Eng.*, 105, 698–704, 2015.
280. Gupta, R., Gupta, P., Bhalla, J., Mourya, S., Performance Analysis of a Diesel Engine using the Soybean Oil based Biodiesel, *Indian J. Sci. Technol.*, 9, 2016.
281. Srithar, K., Arun Balasubramanian, K., Pavendan, V., Ashok Kumar, B., Experimental Investigations on Mixing of Two Biodiesels Blended with Diesel As Alternative Fuel for Diesel Engines, *J. King Saud Univ. - Eng. Sci.*, 29, 50–56, 2017.
282. Can, Ö., Öztürk, E., Yücesu, H.S., Combustion and Exhaust Emissions of Canola Biodiesel Blends in A Single Cylinder DI Diesel Engine, *Renew. Energy.*, 109, 73–82, 2017.
283. Yeşilyurt, M.K., Arslan, M., Eryılmaz, T., Biyodizel-Dizel Yakıt Karışımlarına Etanol Katılmasının Performans, Yanma ve Emisyon Karakteristiklerine Etkilerinin Deneysel İncelenmesi, *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi/Journal of Thermal Science & Technology*, 38(2), 2018.

- 284.** Yesilyurt, M.K., Eryilmaz, T., Arslan, M., A Comparative Analysis of The Engine Performance, Exhaust Emissions and Combustion Behaviors of A Compression Ignition Engine Fuelled with Biodiesel/Diesel/1-Butanol (C4 Alcohol) and Biodiesel/Diesel/N-Pentanol (C5 Alcohol) Fuel Blends, *Energy*, 165, 1332–1351, 2018.
- 285.** Jaliliantabar, F., Ghobadian, B., Carlucci, A.P., Najafi, G., Ficarella, A., Strafella, L., Santino, A., De Domenico, S., Comparative Evaluation of Physical and Chemical Properties, Emission and Combustion Characteristics of Brassica, Cardoon and Coffee Based Biodiesels as Fuel in A Compression-Ignition Engine, *Fuel*, 222, 156–174, 2018.
- 286.** Uyumaz, A., Combustion, Performance and Emission Characteristics of A DI Diesel Engine Fueled with Mustard Oil Biodiesel Fuel Blends at Different Engine Loads, *Fuel*, 212, 256–267, 2018.
- 287.** Tüccar, G., Experimental Study on Vibration and Noise Characteristics of A Diesel Engine Fueled with Mustard Oil Biodiesel and Hydrogen Gas Mixtures, *Biofuels*, 0, 1–6, 2018.
- 288.** Satyanarayana, P.A., Kanth Oleti, R., Uppalapati, S., Sridevi, V., A Comparative Study on Characterization of Used Cooking Oil and Mustard Oil for Biodiesel Production: Engine Performance, *Mater. Today Proc.*, 5, 18187–18201, 2018.
- 289.** Devarajan, Y., Munuswamy, D.B., Nagappan, B., Pandian, A.K., Performance, Combustion and Emission Analysis of Mustard Oil Biodiesel and Octanol Blends in Diesel Engine, *Heat Mass Transf. und Stoffuebertragung*, 54, 1803–1811, 2018.
- 290.** Gad, M.S., El-Araby, R., Abed, K.A., El-Ibiari, N.N., El Morsi, A.K., El-Diwani, G.I., Performance and Emissions Characteristics of C.I. Engine Fueled with Palm Oil/Palm Oil Methyl Ester Blended with Diesel Fuel, *Egypt. J. Pet.*, 27, 215–219, 2018.
- 291.** Efe, Ş., Ceviz, M.A., Temur, H., Comparative Engine Characteristics of Biodiesels from Hazelnut, Corn, Soybean, Canola and Sunflower Oils On DI Diesel Engine, *Renew. Energy*, 119, 142–151, 2018.
- 292.** Patel, C., Chandra, K., Hwang, J., Agarwal, R.A., Gupta, N., Bae, C., Gupta, T., Agarwal, A.K., Comparative Compression Ignition Engine Performance, Combustion, and Emission Characteristics, and Trace Metals in Particulates from Waste Cooking Oil, Jatropha and Karanja Oil Derived Biodiesels, *Fuel*, 236, 1366–1376, 2019.
- 293.** Raman, L.A., Deepanraj, B., Rajakumar, S., Sivasubramanian, V., Experimental Investigation on Performance, Combustion and Emission Analysis of A Direct

- Injection Diesel Engine Fuelled with Rapeseed Oil Biodiesel, *Fuel*, 246, 69–74, 2019.
- 294.** Kumar, A., Banga, S.S., Meena, P.D., Kumar, P.R., *Brassica Oilseeds-Breeding and Management*, ss.261, CABI, London, 2015.
- 295.** Sehwaq, S., Das, M., A Brief Overview: Present Status on Utilization of Mustard Oil and Cake, *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 14 (2), 244-250, 2015.
- 296.** Wang, X., Kole, C. (Eds.), *The Brassica rapa Genome (Vol. 4)*, Berlin; Heidelberg, Springer, 2015.
- 297.** Pua, E.C., Douglas, C.J., *Biotechnology in Agriculture and Forestry 54: Brassica*, ss.344, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2004.
- 298.** Canadian Food Inspection Agency, *The Biology of Brassica Napus L. (Canola/Rapeseed)*, Guid. Doc. Repos., ss. 72, 2, 2017.
- 299.** Sharafi, Y., Majidi, M.M., Goli, S.A.H., Rashidi, F., Oil Content and Fatty Acids Composition in *Brassica* Species, *Int. J. Food Prop.*, 18, 2145–2154, 2015.
- 300.** <http://www.merckmillipore.com/TR/tr>, (05.03.2019).
- 301.** Atabani, A.E., Badruddin, I.A., Masjuki, H.H., Chong, W.T., Lee, K.T., *Pangium Edule Reinw: A Promising Non-edible Oil Feedstock for Biodiesel Production*, *Arab. J. Sci. Eng.*, 40, 583–594, 2015.
- 302.** Onoji, S.E., Iyuke, S.E., Igbafe, A.I., *Hevea Brasiliensis (Rubber Seed) Oil: Extraction, Characterization, and Kinetics of Thermo-Oxidative Degradation Using Classical Chemical Methods*, *Energy and Fuels*, 30, 10555–10567, 2016.
- 303.** Chapra, S.C., Canale, R.P., *Numerical Methods for Engineers:Seventh Ed.*, Boston: McGraw-Hill Higher Education, ss. 970, 2010.
- 304.** Subaşı, A., *Yanıt Yüzey Yöntemi Yardımı İle Isı Değiştirici Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2010.
- 305.** Sahoo, P.K., Das, L.M., *Process Optimization for Biodiesel Production from Jatropha, Karanja and Polanga Oils*, *Fuel*, 88(9),1588–94, 2009.
- 306.** Kafuku, G., Mbarawa, M., *Biodiesel Production from Croton Megalocarpus Oil and Its Process Optimization*, *Fuel*, 89(9), 2556–60, 2010.
- 307.** Silitonga, A.S., Ong, H.C., Masjuki, H.H., Mahlia, T.M.I., Chong, W.T., Yusaf , T.F., *Production of Biodiesel from Sterculia Foetida and Its Process Optimization*, *Fuel*, 111, 478–84, 2013.

- 308.** Bojan, S.G., Chelladurai, S., Durairaj, S.K., Response surface methodology for optimization of Biodiesel Production From High FFA Jatropha curcas Oil, *International Journal of Green Energy*, 8(6), 607–17, 2011.
- 309.** Mujeli, M., Kefas, H.M., Shitu, A., Ayuba, I., Optimization of Biodiesel Production from Crude Cotton Seed Oil using Central Composite Design, *Am. J. Chem. Biochem. Eng.*, 1(1), 8–14, 2016.
- 310.** Ezekannagha, C.B., Ude, C.N., Onukwuli, O.D., Optimization of The Methanolysis of Lard Oil in The Production of Biodiesel with Response Surface Methodology, *Egyptian Journal of Petroleum*, 26(4), 1001–11, 2017.
- 311.** Dwivedi, G., Sharma, M.P., Application of Box–Behnken Design in Optimization of Biodiesel Yield from Pongamia Oil and Its Stability Analysis, *Fuel*, 145, 256–62, 2015.
- 312.** Dharma, S., Masjuki, H.H., Ong, H.C., Sebayang, A.H., Silitonga, A.S., Kusumo, F., Mahlia, T.M.I., Optimization of Biodiesel Production Process for Mixed Jatropha Curcas–Ceiba Pentandra Biodiesel Using Response Surface Methodology, *Energy Conversion and Management*, 115, 178–90, 2016.
- 313.** Srikanth, H. V., Venkatesh, J., Godiganur, S., Box-Behnken Response Surface Methodology For Optimization Of Process Parameters For Dairy Washed Milk Scum Biodiesel Production, *Biofuels*, 1–11, 2018.
- 314.** Gorle, R., Meshram, D., Naik, P., Narnaware, V., Optimization of Effective Parmeter of Jatropha Biodiesel Using Taguchi Method And Performance Analysis Using CI Engine, *Ijitee.Org.*, 3, 46–52, 2011.
- 315.** Sathish Kumar, R., Sureshkumar, K., Velraj, R., Optimization of Biodiesel Production From Manilkara Zapota (L.) Seed Oil Using Taguchi Method, *Fuel*, 140, 90–96, 2015.
- 316.** Singh, G., Mohapatra, S.K., S. Ragit, S., Kundu, K., Optimization of Biodiesel Production From Grape Seed Oil Using Taguchi's Orthogonal Array, *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, 40, 2144–2153, 2018.
- 317.** Moradi, G.R., Dehghani, S., Khosravian, F., Arjmandzadeh, A., The Optimized Operational Conditions for Biodiesel Production from Soybean Oil and Application of Artificial Neural Networks for Estimation of The Biodiesel Yield, *Renew. Energy.*, 50, 915–920, 2013.
- 318.** Sivamani, S., Selvakumar, S., Rajendran, K., Muthusamy, S., Artificial Neural Network–Genetic Algorithm-Based Optimization of Biodiesel Production from Simarouba Glauca, *Biofuels*, 7269, 1–9, 2018.

- 319.** El-Gendy, N.S., Deriase, S.F., Hamdy, A., The Optimization of Biodiesel Production from Waste Frying Corn Oil Using Snails Shells as A Catalyst, *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, 36, 623–637, 2014.
- 320.** Kojima, Y., Takai, S., Transesterification of Vegetable Oil with Methanol Using Solid Base Catalyst of Calcium Oxide Under Ultrasonication, *Chem. Eng. Process. - Process Intensif.*, 136, 101–106, 2019.
- 321.** Değirmenbaşı, N., Boz, N., Soya Yağı Metil Esterlerin Üretimi için Bazik Heterojen Katalizör Tasarımı, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part:C, Tasarım ve Teknoloji*, 3(1), 401–406, 2015.
- 322.** Refaat, A. A., Different Techniques for The Production of Biodiesel from Waste Vegetable Oil, *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 7, 183–213, 2010.
- 323.** Encinar, J.M., González, J.F., Rodríguez-Reinares, A., Ethanolysis of Used Frying Oil, Biodiesel Preparation and Characterization, *Fuel Process. Technol.*, 88, 513–522, 2007.
- 324.** Zhou, W., Boocock, D.G.B., Phase Behavior of The Base-Catalyzed Transesterification of Soybean Oil, *JAOCS, J. Am. Oil Chem. Soc.*, 83, 1041–1045, 2006.
- 325.** Fregolente, P.B.L., Wolf Maciel, M.R., Oliveira, L.S., Removal of Water Content from Biodiesel and Diesel Fuel Using Hydrogel Adsorbents, *Brazilian J. Chem. Eng.*, 32, 895–901, 2015.
- 326.** Felizardo, P., Neiva Correia, M.J., Raposo, I., Mendes, J.F., Berkemeier, R., Bordado, J.M., Production of Biodiesel from Waste Frying Oils, *Waste Manag.*, 26, 487–494, 2006.
- 327.** Atadashi, I.M., Aroua, M.K., Abdul Aziz, A.R., Sulaiman, N.M.N., The Effects of Water on Biodiesel Production and Refining Technologies: A Review, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 16, 3456–3470, 2012.
- 328.** Bogalhos, P., Fregolente, L., Fregolente, L.V., Regina, M., Maciel, W., Water Content in Biodiesel, Diesel, and Biodiesel – Diesel Blends, 57, 1827-1821, 2012.
- 329.** Symoniuk, E., Ratusz, K., Ostrowska-Ligęza, E., Krygier, K., Impact of Selected Chemical Characteristics of Cold-Pressed Oils on their Oxidative Stability Determined Using the Rancimat and Pressure Differential Scanning Calorimetry Method, *Food Anal. Methods.*, 11, 1095–1104, 2018.
- 330.** T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Gıda Teknolojisi-Yemeklik Yağların Analizleri 1, 541GI0121, 1-24, 2012.

- 331.** Özçelik, A.E., Aspir Biyodizelinin ve Motorinle Karışımlarının Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Yağlama Yağına Etkilerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2011.
- 332.** Ersungur, S., Üretim Yönteminin Kolza Yağının Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2008.
- 333.** Oğuz, H., Öğüt, H., Çiftçi Şartlarına Uygun Bir Biyodizel Üretim Tesisinin Tasarım ve İmalatı, Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 1(1), 21-27, 2005.
- 334.** Knothe, G., Dependence of Biodiesel Fuel Properties on The Structure of Fatty Acid Alkyl Esters, Fuel Process. Technol., 86, 1059–1070, 2005.
- 335.** Rao, P.V., Clarke, S., Brown, R., Wu, K., Influence of Iodine Value on Combustion and NO_x Emission Characteristics of A DI Diesel Engine, In Chemeca 2010: The 40th Australasian Chemical Engineering Conference. Engineers Australia, 2010.
- 336.** Tomasevic, A.V., Siler-Marinkovic, S.S., Methanolysis of Used Frying Oil, Fuel Process. Technol., 81, 1–6, 2003.
- 337.** Singh, A., He, B., Thompson, J., Gerpen, J. Van., Process Optimization of Biodiesel Production Using Alkaline Catalysts, Applied Engineering in Agriculture, 22(4), 597-600, 2006.
- 338.** Al-Sakkari, E.G., El-Sheltawy, S.T., Soliman, A., Ismail, I., Transesterification of Low FFA Waste Vegetable Oil using Homogeneous Base Catalyst for Biodiesel Production: Optimization, Kinetics and Product Stability, J. Adv. Chem. Sci., 4, 586–592, 2018.
- 339.** Efavi, J.K., Kanbogtah, D., Apalangya, V., Nyankson, E., Tiburu, E.K., Dodoo-Arhin, D., Onwona-Agyeman, B., Yaya, A., The Effect of NaOH Catalyst Concentration and extraction Time on The Yield and Properties of Citrullus Vulgaris Seed Oil as A Potential Biodiesel Feed Stock, South African J. Chem. Eng., 25, 98–102, 2018.
- 340.** <https://www.make-biodiesel.org/Ingredients/catalysts-for-biodiesel.html>, www.make-biodiesel.org, Catalysts for biodiesel by Rick Da Tech, 2018, (21.04.2019).
- 341.** Kucek, K.T., César-Oliveira, M.A.F., Wilhelm, H.M., Ramos, L.P., Ethanolysis of Refined Soybean Oil Assisted by Sodium and Potassium Hydroxides, JAOCS, J. Am. Oil Chem. Soc., 84, 385–392, 2007.
- 342.** Encinar, J.M., González, J.F., Rodríguez, J.J., Tejedor, A., Biodiesel Fuels from Vegetable Oils: Transesterification of Cynara Cardunculus L. Oils with Ethanol, Energy and Fuels, 16, 443–450, 2002.

- 343.** Eze, V.C., Harvey, A.P., Phan, A.N., Determination of The Kinetics of Biodiesel Saponification in Alcoholic Hydroxide Solutions, *Fuel*, 140, 724–730, 2015.
- 344.** Chew, T.L., Bhatia, S., Catalytic Processes towards The Production of Biofuels in A Palm Oil and Oil Palm Biomass-Based Biorefinery, *Bioresour. Technol.*, 99, 7911–7922, 2008.
- 345.** Chuah, L.F., Klemeš, J.J., Yusup, S., Bokhari, A., Akbar, M.M., Chong, Z.K., Kinetic Studies on Waste Cooking Oil into Biodiesel via Hydrodynamic Cavitation, *J. Clean. Prod.*, 146, 47–56, 2017.
- 346.** Verma, P., Sharma, M.P., Comparative Analysis of Effect of Methanol and Ethanol on Karanja Biodiesel Production and Its Optimisation, *Fuel*, 180, 164–174, 2016.
- 347.** Meneghetti, S.M.P., Meneghetti, M.R., Wolf, C.R., Silva, E C., Lima, G.E.S., Silva, L. de L., Serra, T.M., Cauduro, F., de Oliveira, L.G., Biodiesel from Castor Oil: A Comparison of Ethanolysis versus Methanolysis, *Energy and Fuels*, 20, 2262–2265, 2006.
- 348.** Istiningrum, R.B., Aprianto, T., Pamungkas, F.L.U., Effect of Reaction Temperature on Biodiesel Production from Waste Cooking Oil Using Lipase as Biocatalyst, *AIP Conf. Proc.*, 1911, 2017.
- 349.** Refaat, A.A., El Sheltawy, S.T., Comparing Three Options for Biodiesel Production from Waste Vegetable Oil, *WIT Trans. Ecol. Environ.*, 109, 133–140, 2008.
- 350.** Martínez, G., Sánchez, N., Encinar, J.M., González, J.F., Fuel Properties of Biodiesel from Vegetable Oils and Oil Mixtures. Influence of Methyl Esters Distribution, *Biomass and Bioenergy.*, 63, 22–32, 2014.
- 351.** Refaat, A.A., Correlation Between The Chemical Structure of Biodiesel and Its Physical Properties, *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 6, 677–694, 2009.
- 352.** Arbab, M.I., Masjuki, H.H., Varman, M., Kalam, M.A., Imtenan, S., Sajjad, H., Fuel Properties, Engine Performance and Emission Characteristic of Common Biodiesels as A Renewable and Sustainable Source of Fuel, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 22, 133–147, 2013.
- 353.** Muhamad, R.B., Improvement of The Cold Flow Property of Biodiesel from Palm Oil, Doctoral Thesis, Malaysia Pahang University, Malaysia, 2012.
- 354.** Mahmudul, H.M., Hagos, F.Y., Mamat, R., Adam, A.A., Ishak, W.F.W., Alenezi, R., Production, Characterization and Performance of Biodiesel as An Alternative Fuel in Diesel Engines – A Review, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 72, 497–509, 2017.

355. Yilmaz, N., Comparative Analysis of Biodiesel-Ethanol-Diesel and Biodiesel-Methanol-Diesel Blends in A Diesel Engine, *Energy*, 40, 210–213, 2012.
356. Hoekman, S.K., Broch, A., Robbins, C., Cenicerros, E., Natarajan, M., Review of Biodiesel Composition, Properties, and Specifications, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 16, 143–169, 2012.
357. Boz, N., Kara, M., Sunal, O., Alptekin, E., Değirmenbaşı, N., Investigation of The Fuel Properties of Biodiesel Produced over An Alumina-Based Solid Catalyst, *Turkish J. Chem.*, 33, 433–442, 2009.
358. Saxena, P., Jawale, S., Joshipura, M.H., A Review on Prediction of Properties of Biodiesel and Blends of Biodiesel, *Procedia Eng.*, 51, 395–402, 2013.
359. Canakci, M., Sanli, H., Biodiesel Production from Various Feedstocks and Their Effects on The Fuel Properties, *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.*, 35, 431–441, 2008.
360. Wan Ghazali, W.N.M., Mamat, R., Masjuki, H.H., Najafi, G., Effects of Biodiesel from Different Feedstocks on Engine Performance and Emissions: A Review, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 51, 585–602, 2015.
361. Yeşilyurt, M.K., Biyodizel-Dizel Yakıt Karışımlarına Farklı Alkol İlavelerinin Dizel Motorlarda Performans, Yanma ve Emisyon Karakteristiklerine Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Bozok Üniversitesi, Yozgat, 2017.
362. Dhar, A., Agarwal, A.K., Performance, Emissions and Combustion Characteristics of Karanja Biodiesel in A Transportation Engine, *Fuel*, 119, 70–80, 2014.
363. Akay, H., Aydoğan, H., The Effects of Camelina Ethyl Ester on the Performance of Diesel Engine and Combustion Characteristics. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 6(2), 95-103, 2017.
364. Özkan, M., Ergenç, A.T., Deniz, O., Experimental Performance Analysis of Biodiesel, Traditional Diesel and Biodiesel with Glycerine, *Turkish J. Eng. Environ. Sci.*, 29, 89–94, 2005.
365. Aydın, H., Bayindir, H., Performance and Emission Analysis of Cottonseed Oil Methyl Ester in A Diesel Engine, *Renew. Energy.*, 35, 588–592, 2010.
366. Aktaş, A., Sekmen, Y. (2008). Biyodizel ile Çalışan Bir Dizel Motorda Yakıt Püskürtme Avansının Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23(1), 199-206, 2008.
367. Lešnik, L., Iljaž, J., Hribernik, A., Kegl, B., Numerical and Experimental Study of Combustion, Performance and Emission Characteristics of A Heavy-Duty DI

Diesel Engine Running on Diesel, Biodiesel and Their Blends, *Energy Conversion and Management*, 81, 534-546, 2014.

368. Buyukkaya, E., Effects of Biodiesel on A DI Diesel Engine Performance, Emission and Combustion Characteristics, *Fuel*, 89(10), 3099-3105, 2010.
369. Altın, R., Çetinkaya, S., Yücesu, H.S., Potential of Using Vegetable Oil Fuels as Fuel for Diesel Engines, *Energy Convers. Manag.*, 42, 529–538, 2001.
370. Lapuerta, M., Armas, O., Rodriguez-Fernandez, J., Effect of Biodiesel Fuels on Diesel Engine Emissions, *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(2), 198-223, 2008.
371. Xue, J., Grift, T.E., Hansen, A.C., Effect of Biodiesel on Engine Performances and Emissions, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 15, 1098–1116, 2011.
372. Canakci, M., Van Gerpen, J.H., Comparison of Engine Performance and Emissions for Petroleum Diesel Fuel, Yellow Grease Biodiesel, and Soybean Oil Biodiesel, *Trans. ASAE.*, 46, 937–944, 2003.
373. Zheng, M., Mulenga, M.C., Reader, G.T., Wang, M., Ting, D.S-K., Tjong, J., Biodiesel Engine Performance and Emissions in Low Temperature Combustion, *Fuel*, 87, 714–722, 2008.
374. Şen, M., The Influence of Canola Oil Biodiesel on Performance, Combustion Characteristics and Exhaust Emissions of A Small Diesel Engine, *Sak. Univ. J. Sci.*, 23, 1–1, 2019.
375. Yamin, J.A.A., Sakhnini, N., Sakhrieh, A., Hamdan, M., Performance of CI Engines Using Biodiesel as Fuel, *Biomass.*, 2009.
376. Ragit, S.S., Mohapatra, S.K., Kundu, K., Comparative Study of Engine Performance and Exhaust Emission Characteristics of A Single Cylinder 4-Stroke CI Engine Operated on The Esters of Hemp Oil and Neem Oil, *Indian J. Eng. Mater. Sci.*, 18, 204–210, 2011.
377. Saleh, H.E., Effect of Exhaust Gas Recirculation on Diesel Engine Nitrogen Oxide Reduction Operating with Jojoba Methyl Ester, *Renew. Energy.*, 34, 2178–2186, 2009.
378. Ramadhas, A.S., Muraleedharan, C., Jayaraj, S., Performance and Emission Evaluation of A Diesel Engine Fueled with Methyl Esters of Rubber Seed Oil, *Renew. Energy.*, 30, 1789–1800, 2005.
379. Huang, J., Wang, Y., Qin, J. Bin, Roskilly, A.P., Comparative Study of Performance and Emissions of A Diesel Engine Using Chinese Pistache and Jatropha Biodiesel, *Fuel Process. Technol.*, 91, 1761–1767, 2010.

- 380.** Ozsezen, A.N., Canakci, M., Turkcan, A., Sayin, C., Performance and Combustion Characteristics of A DI Diesel Engine Fueled with Waste Palm Oil and Canola Oil Methyl Esters, *Fuel*, 88, 629–636, 2009.
- 381.** Ganapathy, T., Gakkhar, R.P., Murugesan, K., Influence of Injection Timing on Performance, Combustion and Emission Characteristics of Jatropha Biodiesel Engine, *Appl. Energy.*, 88, 4376–4386, 2011.
- 382.** Yaşar, F., Yosun Yağından Biyodizel Üretimi ve Bir Dizel Motorunda Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması, Doktora Tezi, Batman Üniversitesi, Batman, 2016.
- 383.** Candan, F., Dizel Metanol ve Katkı Maddelerinin Dizel Motor Performansı ve Emisyona Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2012.
- 384.** Mohd Noor, C.W., Noor, M.M., Mamat, R., Biodiesel as Alternative Fuel for Marine Diesel Engine Applications: A Review, *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 94, 127–142, 2018.
- 385.** Venu, H., Subramani, L., Raju, V. D., Emission Reduction in A DI Diesel Engine Using Exhaust Gas Recirculation (EGR) of Palm Biodiesel Blended With TiO₂ Nano Additives, *Renew. Energy.*, 140, 245–263, 2019.
- 386.** Abed, K.A., Gad, M.S., El Morsi, A.K., Sayed, M.M., Elyazeed, S.A., Effect of Biodiesel Fuels on Diesel Engine Emissions, *Egypt. J. Pet.*, 1–6, 2019.
- 387.** Ibrahim, S. M. A., Abed, K. A., Gad, M. S., An Analytical Investigation of Diesel Engine Performance using Biodiesel and Preheated Jatropha Oil, 31, 998–1003, 2014.
- 388.** Hazar, H., Effects of Biodiesel on A Low Heat Loss Diesel Engine, *Renew. Energy.*, 34, 1533–1537, 2009.
- 389.** Wu, F., Wang, J., Chen, W., Shuai, S., A Study on Emission Performance of A Diesel Engine Fueled with Five Typical Methyl Ester Biodiesels, *Atmos. Environ.*, 43, 1481–1485, 2009.
- 390.** Qi, D.H., Chen, H., Geng, L.M., Bian, Y.Z., Experimental Studies on the Combustion Characteristics and Performance of A Direct Injection Engine Fueled with Biodiesel/Diesel Blends, *Energy Convers. Manag.*, 51, 2985–2992, 2010
- 391.** Paul, G., Datta, A., Mandal, B.K., An Experimental and Numerical Investigation of The Performance, Combustion and Emission Characteristics of A Diesel Engine Fueled with Jatropha Biodiesel, *Energy Procedia.*, 54, 455–467, 2014.
- 392.** Puhan, S., Vedaraman, N., Sankaranarayanan, G., Ram, B.V.B., Performance and Emission Study of Mahua Oil (Madhuca Indica Oil) Ethyl Ester in A 4-

- Stroke Natural Aspirated Direct Injection Diesel Engine, *Renew. Energy.*, 30, 1269–1278, 2005.
- 393.** Utlu, Z., Koçak, M.S., The Effect of Biodiesel Fuel Obtained from Waste Frying Oil on Direct Injection Diesel Engine Performance and Exhaust Emissions, *Renew. Energy.*, 33, 1936–1941, 2008.
- 394.** Dhar, A., Kevin, R., Agarwal, A.K., Production of Biodiesel from High-FFA Neem Oil and Its Performance, Emission and Combustion Characterization in A Single Cylinder DIC Engine, *Fuel Process. Technol.*, 97, 118–129, 2012.
- 395.** Godiganur, S., Suryanarayana Murthy, C., Reddy, R.P., Performance and Emission Characteristics of A Kirloskar HA394 Diesel Engine Operated on Fish Oil Methyl Esters, *Renew. Energy.*, 35, 355–359, 2010.
- 396.** Enweremadu, C.C., Rutto, H.L., Peleowo, N., Performance Evaluation of A Diesel Engine Fueled with Methyl Ester of Shea Butter, *World Academy of Science, Engineering And Technology*, 79, 142-146, 2011.
- 397.** Kivevele, T.T., Kristóf, L., Bereczky, Á., Mbarawa, M.M., Engine Performance, Exhaust Emissions and Combustion Characteristics of A CI Engine Fuelled with Croton Megalocarpus Methyl Ester with Antioxidant, *Fuel*, 90, 2782–2789, 2011.
- 398.** Ragit, S.S., Mohapatra, S.K., Kundu, K., Comparative Study of Engine Performance and Exhaust Emission Characteristics of A Single Cylinder 4-Stroke CI Engine Operated on The Esters of Hemp Oil and Neem Oil, *Indian J. Eng. Mater. Sci.*, 18, 204–210, 2011.
- 399.** Sahoo, P.K., Das, L.M., Babu, M.K.G., Arora, P., Singh, V.P., Kumar, N.R., Varyani, T.S., Comparative Evaluation of Performance and Emission Characteristics of Jatropha, Karanja and Polanga Based Biodiesel as Fuel in A Tractor Engine, *Fuel*, 88, 1698–1707, 2009.
- 400.** Asokan, M.A., Senthur Prabu, S., Bade, P.K.K., Nekkanti, V. M., Gutta, S.S.G., Performance, Combustion and Emission Characteristics of Juliflora Biodiesel Fuelled DI Diesel Engine, *Energy*, 173, 883–892, 2019.
- 401.** Arunkumar, M., Kannan, M., Murali, G., Experimental Studies on Engine Performance and Emission Characteristics Using Castor Biodiesel as Fuel in CI Engine, *Renew. Energy.*, 131, 737–744, 2019.
- 402.** Bilgin, A., Kazanlarda Enerji Verimliliği ve Emisyonlar, Makina Mühendisleri Odası, website:http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/1673a38f02b5852ek.pdf, 2006.
- 403.** Kelen, F., Motorlu Taşıt Emisyonlarının İnsan Sağlığı ve Çevre Üzerine Etkileri, *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19(1-2), 80-87, 2014.

- 404.** Aydın, F., EB Motorin Yakıtlarının Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Kullanımının Motor Performansına, Emisyonlara ve Yağlama Yağına Etkileri, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2014.
- 405.** Miller, B.G., Clean coal engineering technology, Elsevier, Burlington, pp. 681, 2010.
- 406.** Jain, R., Environmental impact of mining and mineral processing: management, monitoring, and auditing strategies, Butterworth-Heinemann, pp. 681, 2015.
- 407.** Schirmer, W.N. Gauer, M.A., Tomaz, E., Rodrigues, P.R.P., de Souza, S.N.M., Chaves, L.I., ... Cabral, A.R., Power Generation and Gaseous Emissions Performance of An Internal Combustion Engine Fed with Blends of Soybean and Beef Tallow Biodiesel, 3330, 1479–1489, 2016.
- 408.** Aparecido, H., Tenfen, W., Secco, D., Inácio, L., Veloso, G., Nelson, S., Souza, M. De, José, M., Biodiesel Produced from Crambe Oil In Brazil — A Study of Performance and Emissions in A Diesel Cycle Engine Generator, Renew. Sustain. Energy Rev., 38, 651–655, 2014.
- 409.** Leite, D., Santos, R.F., Bassegio, D., de Souza, S.N.M., Secco, D., Gurgacz, F., da Silva, T.R.B., Emissions and Performance of A Diesel Engine Affected by Soybean, Linseed, and Crambe Biodiesel, Ind. Crops Prod., 130, 267–272, 2019.
- 410.** Miller, C. A., Characterizing Emissions from the Combustion of Biofuels, US Environmental Protection Agency, pp. 46, 2008.
- 411.** Örs, İ., Biyoyakıt Kullanan Bir Dizel Motorunun Performans, Yanma ve Emisyon Analizi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2014.
- 412.** İlkılıç, C., Behçet, R., Aydın, S., Aydın, H., Dizel Motorlarında Azotoksitlerin Oluşumu ve Kontrol Yöntemleri, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, 13–15 Mayıs, 2009.
- 413.** Demir, B., Küçük Ölçekli Bir Biyodizel Sisteminin Oluşturulması, Elde Edilen Pamuk Yağı Metil Esterin Motor Performans Testleri, Enerjetik ve Ekserjetik Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, 2009.
- 414.** Mofijur, M., Masjuki, H.H., Kalam, M.A., Atabani, A.E., Arbab, M.I., Cheng, S.F., Gouk, S.W., Properties and Use of Moringa Oleifera Biodiesel and Diesel Fuel Blends in A Multi-Cylinder Diesel Engine, Energy Convers. Manag., 82, 169–176, 2014.
- 415.** Nabi, M.N., Hoque, S.M.N., Akhter, M.S., Karanja (Pongamia Pinnata) Biodiesel Production in Bangladesh, Characterization of Karanja Biodiesel and Its Effect on Diesel Emissions, Fuel Process. Technol., 90, 1080–1086, 2009.

- 416.** Geng, P., Mao, H., Zhang, Y., Wei, L., You, K., Ju, J., Chen, T., Combustion Characteristics and NO_x Emissions of A Waste Cooking Oil Biodiesel Blend in A Marine Auxiliary Diesel Engine, *Appl. Therm. Eng.*, 115, 947–954, 2017.



EKLER

EK-1: SHY, NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Farklı Sıcaklıklardaki Yoğunluk Değerleri

YOĞUNLUK (g/cm ³)						
Sıcaklık (°C)	SHY	NaOH _{MB}	NaOH _{EB}	KOH _{MB}	KOH _{EB}	ED
0	0,92791	0,89289	0,88727	0,89581	0,88801	0,84020
5	0,92443	0,88898	0,88360	0,89208	0,88436	0,83662
10	0,92085	0,88521	0,87984	0,88834	0,88061	0,83298
15	0,91728	0,88148	0,87611	0,88461	0,87687	0,82931
20	0,91374	0,87785	0,87238	0,88089	0,87315	0,82570
25	0,91022	0,87407	0,86869	0,87720	0,86945	0,82208
30	0,90673	0,87039	0,86501	0,87352	0,86577	0,81848
35	0,90326	0,86673	0,86134	0,86985	0,86210	0,81487
40	0,89983	0,86308	0,85769	0,86620	0,85845	0,81128
45	0,89641	0,85943	0,85404	0,86254	0,85480	0,80768
50	0,89299	0,85578	0,85040	0,85889	0,85115	0,80409
55	0,88960	0,85215	0,84675	0,85525	0,84752	0,80049
60	0,88622	0,84852	0,84313	0,85162	0,84388	0,79689
65	0,88285	0,84490	0,83950	0,84799	0,84026	0,79331
70	0,87950	0,84128	0,83589	0,84437	0,83664	0,78972
75	0,87616	0,83765	0,83226	0,84074	0,83300	0,78611
80	0,87283	0,83404	0,82865	0,83711	0,82939	0,78251
85	0,86951	0,83042	0,82504	0,83350	0,82578	0,77890
90	0,86619	0,82680	0,82142	0,82987	0,82217	0,77527
93	0,86418	0,82461	0,81923	0,82767	0,81998	0,77308

EK-2: SHY, NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Farklı Sıcaklıklardaki Kinematik Viskozite Değerleri

KİNEMATİK VİSKOZİTE (mm²/s)						
Sıcaklık (°C)	SHY	NaOH_{MB}	NaOH_{EB}	KOH_{MB}	KOH_{EB}	ED
20	77,71	8,33	8,73	9,70	8,92	3,86
25	64,01	7,31	7,67	8,49	7,83	3,45
30	52,63	6,44	6,78	7,44	6,90	3,10
35	43,77	5,74	6,01	6,58	6,13	2,81
40	36,77	5,13	5,39	5,86	5,48	2,56
45	31,34	4,62	4,86	5,26	4,93	2,34
50	27,09	4,21	4,41	4,75	4,46	2,16
55	23,44	3,82	4,01	4,31	4,07	1,98
60	20,50	3,50	3,67	3,93	3,72	1,84
65	17,98	3,21	3,38	3,60	3,41	1,72
70	15,94	2,98	3,12	3,32	3,15	1,61
75	14,21	2,75	2,89	3,07	2,92	1,51
80	12,74	2,57	2,69	2,85	2,71	1,42
85	11,49	2,39	2,51	2,65	2,53	1,34
90	10,39	2,24	2,35	2,48	2,36	1,27
95	9,49	2,11	2,21	2,33	2,21	1,21
100	8,68	1,99	2,07	2,19	2,08	1,15

EK-3: NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Farklı Motor Devirlerinde Efektif Motor Tork Değerleri

EFEKTİF MOTOR TORKU (Nm)					
Motor devri (d/d)	NaOH_{MB}	NaOH_{EB}	KOH_{MB}	KOH_{EB}	ED
1100	48,00	49,25	46,75	47,96	51,28
1200	47,34	49,03	46,53	47,73	51,04
1300	47,03	48,90	46,34	47,54	50,83
1400	46,73	48,93	46,14	47,34	50,61
1500	46,07	48,82	45,49	46,66	49,89
1600	46,41	48,55	46,02	47,21	50,48
1700	47,03	48,31	46,19	47,39	50,67
1800	46,18	47,80	45,26	46,49	50,78
1900	44,98	46,44	44,13	45,32	49,50
2000	42,45	44,81	41,75	42,88	46,83
2100	42,06	42,69	41,01	42,12	46,00
2200	38,06	39,68	37,36	38,37	41,91
2300	29,51	31,06	29,17	29,96	32,72
2400	18,10	22,99	16,46	21,55	24,53
2500	15,50	19,74	14,10	18,45	21,16

EK-4: NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Farklı Motor Devirlerinde Efektif Motor Güç Değerleri

EFEKTİF MOTOR GÜCÜ (kW)					
Motor devri (d/d)	NaOH_{MB}	NaOH_{EB}	KOH_{MB}	KOH_{EB}	ED
1100	5,53	5,67	5,39	5,53	5,91
1200	6,13	6,19	5,68	6,03	6,55
1300	6,93	7,12	6,37	7,03	7,67
1400	7,05	7,31	6,66	7,13	7,87
1500	7,71	8,00	7,14	7,53	8,61
1600	8,13	8,43	7,63	8,04	9,09
1700	8,46	8,78	8,12	8,54	9,45
1800	8,77	9,10	8,61	9,04	9,70
1900	9,24	9,58	9,10	9,54	10,03
2000	9,62	9,98	9,59	10,05	10,44
2100	9,91	10,37	9,65	10,10	10,80
2200	9,38	9,81	9,14	9,56	10,22
2300	7,55	7,81	7,16	7,61	8,16
2400	4,83	5,88	4,21	5,26	6,09
2500	4,08	4,55	3,38	4,46	5,02

EK-5: NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Farklı Motor Devirlerinde Efektif Özgül Yakıt Tüketim Değerleri

EFEKTİF ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMİ (g/kWh)					
Motor devri (d/d)	NaOH_{MB}	NaOH_{EB}	KOH_{MB}	KOH_{EB}	ED
1100	392,03	375,89	400,81	383,77	338,68
1200	387,55	364,07	395,29	369,16	326,38
1300	360,36	331,24	370,71	349,78	307,18
1400	332,39	305,54	341,94	324,19	291,71
1500	321,81	295,81	331,06	309,19	279,99
1600	332,97	306,07	342,54	326,64	296,27
1700	340,75	316,79	353,96	333,39	311,28
1800	354,52	329,60	360,27	342,59	319,30
1900	366,78	341,00	372,73	358,14	332,21
2000	389,80	362,40	396,12	381,89	343,40
2100	408,38	379,68	420,00	395,13	359,49
2200	417,77	388,41	429,66	400,30	366,08
2300	464,24	423,84	477,46	452,14	401,77
2400	492,08	449,26	520,41	469,41	437,86
2500	517,04	472,04	541,60	496,64	448,60

EK-6: NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Farklı Motor Devirlerinde Efektif Termik Verim Değerleri

EFEKTİF TERMİK VERİM (%)					
Motor devri (d/d)	NaOH_{MB}	NaOH_{EB}	KOH_{MB}	KOH_{EB}	ED
1100	22,75	23,63	22,28	23,27	23,30
1200	23,02	24,40	22,59	24,19	24,18
1300	24,75	26,81	24,09	25,53	25,69
1400	26,84	29,07	26,12	27,55	27,05
1500	27,72	30,03	26,97	28,88	28,18
1600	26,79	29,02	26,07	27,34	26,64
1700	26,18	28,04	25,23	26,79	25,35
1800	25,16	26,95	24,79	26,07	24,71
1900	24,32	26,05	23,96	24,93	23,75
2000	22,89	24,51	22,54	23,38	22,98
2100	21,84	23,39	21,26	22,60	21,95
2200	21,35	22,87	20,78	22,31	21,56
2300	19,22	20,96	18,70	19,75	19,64
2400	18,13	19,77	17,16	19,02	18,02
2500	17,25	18,82	16,49	17,98	17,59

EK-7: NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Farklı Motor Devirlerinde Ortalama Efektif Basınç Değerleri

ORTALAMA EFEKTİF BASINÇ (bar)					
Motor devri (d/d)	NaOH_{MB}	NaOH_{EB}	KOH_{MB}	KOH_{EB}	ED
1100	6,585	6,757	6,415	6,580	7,036
1200	6,696	6,757	6,196	6,580	7,154
1300	6,984	7,173	6,415	7,084	7,726
1400	6,594	6,839	6,227	6,674	7,367
1500	6,734	6,984	6,240	6,580	7,523
1600	6,659	6,906	6,251	6,580	7,439
1700	6,521	6,763	6,260	6,580	7,285
1800	6,383	6,620	6,269	6,580	7,062
1900	6,369	6,606	6,277	6,580	6,913
2000	6,300	6,534	6,284	6,580	6,838
2100	6,182	6,471	6,023	6,301	6,737
2200	5,584	5,844	5,440	5,692	6,085
2300	4,301	4,450	4,075	4,334	4,650
2400	2,637	3,208	2,300	2,872	3,322
2500	2,136	2,385	1,772	2,336	2,632

EK-8: NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Farklı Motor Devirlerinde Egzoz Gazı Sıcaklık (EGS) Değerleri

EGS (°C)					
Motor devri (d/d)	NaOH_{MB}	NaOH_{EB}	KOH_{MB}	KOH_{EB}	ED
1100	376	367	388	375	342
1200	386	380	397	384	358
1300	402	390	413	396	372
1400	412	410	421	409	399
1500	424	415	437	428	404
1600	436	423	446	437	411
1700	450	439	464	456	424
1800	464	450	475	468	437
1900	475	462	490	479	445
2000	495	472	504	490	450
2100	497	480	509	493	458
2200	492	462	501	486	450
2300	392	367	401	388	347
2400	325	312	346	322	286
2500	316	310	334	315	274

EK-9: NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Farklı Motor Devirlerinde Karbonmonoksit (CO) Değerleri

CO (%)					
Motor devri (d/d)	NaOH _{MB}	NaOH _{EB}	KOH _{MB}	KOH _{EB}	ED
1100	3,26	2,71	3,73	3,39	4,15
1200	2,31	1,71	2,48	2,23	2,52
1300	1,54	0,96	1,51	1,48	1,59
1400	0,84	0,63	1,27	1,23	1,40
1500	0,78	0,77	0,80	0,79	1,18
1600	0,68	0,70	0,71	0,74	1,10
1700	0,60	0,56	0,63	0,64	0,99
1800	0,64	0,59	0,60	0,60	0,92
1900	0,63	0,62	0,62	0,64	1,10
2000	0,76	0,55	0,66	0,59	1,07
2100	0,62	0,51	0,42	0,52	0,83
2200	0,58	0,50	0,49	0,50	0,60
2300	0,02	0,04	0,02	0,02	0,11
2400	0,02	0,03	0,02	0,02	0,05
2500	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02

EK-10: NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Farklı Motor Devirlerinde Karbondioksit (CO₂) Değerleri

CO ₂ (%)					
Motor devri (d/d)	NaOH _{MB}	NaOH _{EB}	KOH _{MB}	KOH _{EB}	ED
1100	7,05	5,88	7,41	7,64	6,88
1200	5,52	4,27	5,69	5,41	4,15
1300	4,34	3,02	4,16	4,15	2,88
1400	2,78	2,41	3,70	3,58	2,63
1500	2,57	2,36	2,43	2,37	2,47
1600	2,40	2,14	2,43	2,21	2,32
1700	2,23	2,04	2,21	2,00	2,10
1800	2,21	1,90	2,12	1,92	2,11
1900	2,26	2,01	2,25	1,98	2,35
2000	2,18	1,74	2,27	1,95	2,38
2100	2,34	1,92	1,80	1,90	2,08
2200	2,15	2,19	1,95	1,74	2,27
2300	2,06	1,87	1,97	2,04	2,07
2400	1,71	1,72	1,80	1,83	1,97
2500	1,55	1,62	1,59	1,67	1,86

EK-11: NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Farklı Motor Devirlerinde Hidrokarbon (HC) Değerleri

HC (ppm)					
Motor devri (d/d)	NaOH_{MB}	NaOH_{EB}	KOH_{MB}	KOH_{EB}	ED
1100	48	39	62	47	91
1200	35	25	44	33	48
1300	24	15	27	25	30
1400	19	12	19	18	24
1500	15	13	13	11	26
1600	11	11	11	11	26
1700	10	9	10	10	22
1800	11	8	9	8	21
1900	11	11	12	10	18
2000	15	8	11	13	20
2100	13	11	9	10	18
2200	12	9	10	9	19
2300	7	6	4	2	3
2400	5	4	4	3	4
2500	4	2	3	4	4

EK-12: NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Farklı Motor Devirlerinde Kükürtdioksit (SO₂) Değerleri

SO₂ (ppm)					
Motor devri (d/d)	NaOH_{MB}	NaOH_{EB}	KOH_{MB}	KOH_{EB}	ED
1100	99	70	99	77	143
1200	78	48	71	56	89
1300	59	31	49	42	68
1400	41	23	41	35	60
1500	36	27	21	29	62
1600	32	24	27	25	52
1700	31	21	26	24	47
1800	31	21	25	23	50
1900	33	22	25	23	52
2000	30	18	29	23	53
2100	32	21	23	21	45
2200	31	24	21	19	30
2300	10	1	0	2	3
2400	0	2	0	2	4
2500	0	2	0	3	9

EK-13: NaOH_{MB}, NaOH_{EB}, KOH_{MB}, KOH_{EB} ve ED Yakıtlarının Farklı Motor Devirlerinde Azotoksit (NO_x) Değerleri

NO_x (%)					
Motor devri (d/d)	NaOH_{MB}	NaOH_{EB}	KOH_{MB}	KOH_{EB}	ED
1100	284	238	296	295	235
1200	220	152	207	209	164
1300	163	110	143	150	102
1400	91	90	120	108	100
1500	88	81	68	73	73
1600	76	58	72	63	62
1700	66	59	61	50	47
1800	47	52	43	40	54
1900	50	40	46	30	52
2000	35	36	43	40	46
2100	40	44	32	30	41
2200	32	40	30	33	48
2300	38	32	44	42	31
2400	36	27	46	45	42
2500	33	32	45	32	40

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Ankara’da doğan Volkan ASLAN, ilk ve orta öğrenimlerini Kent-Koop İlköğretim Okulu, lise öğrenimini ise Gazi Çiftliği Lisesi’nde tamamlamıştır. 2002 yılında kazandığı Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nü 2006 yılında bitirmiştir. 2007 yılında girdiği Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’ndan 2011 yılında Makine Yüksek Mühendisi olarak mezun olmuştur. 2012 yılında doktora eğitimine Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında başlamış ve doktora derslerini tamamladıktan sonra 2014 yılında Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’na geçiş yapmıştır. 2009 yılından itibaren Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmakta olan Volkan ASLAN, evli ve 2 çocuk babasıdır.

İletişim Bilgileri

Adres: Çapanoğlu Mahallesi 2. Etap Toki Evleri C2-3 Blok No:24 66100
Merkez/Yozgat

Telefon:0 (507) 517 05 83

E-posta: volkanaslan1983@hotmail.com

Tezden üretilen yayınlar:

Aslan, V., Eryılmaz, T., Metil ve Etil Alkoller ile Farklı Katalizörler Kullanılarak Üretilen Biyodizellerin Yakıt Özellikleri, Motor Performansları ve Egzoz Emisyonlarının İncelenmesi, 7th International Symposium on Academic Studies in Science, Engineering and Architecture Sciences, Ankara, 540-555, November 15-17, 2019.