

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

Yüksek Lisans Tezi

**HAŞHAŞ (*Papaver somniferum* L.) YAĞINDAN
BİYODİZEL ÜRETİMİNE ETKİ EDEN
PARAMETRELERİN OPTİMİZASYONU**

Ramazan IRGIN

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

YOZGAT 2019

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

Yüksek Lisans Tezi

**HAŞHAŞ (*Papaver somniferum* L.) YAĞINDAN
BİYODİZEL ÜRETİMİNE ETKİ EDEN
PARAMETRELERİN OPTİMİZASYONU**

Ramazan IRGIN

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

YOZGAT 2019

T.C.

YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

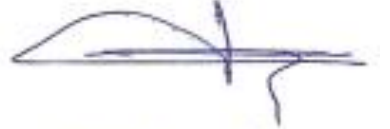
TEZ ONAYI

Enstitümüzün Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı 70112515003 numaralı öğrencisi Ramazan IRGIN'ın hazırladığı “Haşhaş (*Papaver somniferum* L.)Yağından Biyodizel Üretimine Etki Eden Parametrelerin Optimizasyonu” başlıklı Yüksek Lisans tezi ile ilgili Tez Savunma Sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 06/02/2019 Çarşamba günü saat 10:00’da yapılmış, tezin onayına oy birliği ile karar verilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Osman GÖKDOĞAN



Üye : Doç. Dr. Tanzer ERYILMAZ (Danışman)



Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ERBAKAN



ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 21.../02.../2019. tarih ve 10. sayılı kararı ile onaylanmıştır.

21.../02/2019.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Enerji	3
1.1.1. Yenilenebilir Enerji	6
1.2. Yağlar	10
1.2.1. Yağ Asitleri	11
1.2.1.1. Doymuş Yağ Asitleri	11
1.2.1.2. Doymamış Yağ Asitleri	12
1.2.2. Gliserol.....	14
1.3. Dünya’da Yağlı Tohum ve Bitkisel Yağ Üretimi	14
1.4. Türkiye’de Yağlı Tohum ve Bitkisel Yağ Üretimi	17
1.5. Haşhaş (<i>Papaver somniferum</i> L.).....	19
1.5.1. Dünya’da Haşhaş Üretimi	20
1.5.2. Türkiye’de Haşhaş Üretimi ve Yasal Mevzuatlar	22
1.5.3. Haşhaştan Yararlanma Şekilleri.....	24
1.5.3.1. Kapsülünden Yararlanma	25
1.5.3.2. Tohumundan Yararlanma	25
1.5.3.3. Küspesinden Yararlanma	27
1.6. Bitkisel ve Hayvansal Yağların Yakıt Özelliklerini İyileştirme Yöntemleri .	
.....	28
1.6.1. Seyreltme.....	29
1.6.2. Mikroemülsiyon Oluşturma	29
1.6.3. Piroliz	29
1.6.4. Süper Kritik Yöntem	30
1.6.5. Transesterifikasyon	31

1.7.	Transesterifikasyon Reaksiyonuna Etki Eden Parametreler	32
1.7.1.	Serbest Yağ Asidi ve Nem Oranının Etkisi	32
1.7.2.	Katalizörün Etkisi.....	32
1.7.3.	Alkolün Etkisi	33
1.7.4.	Alkol/Yağ Oranın Etkisi	33
1.7.5.	Sıcaklığın Etkisi	34
1.7.6.	Sürenin Etkisi	35
1.8.	Biyodizel	35
1.8.1.	Dünya’da Biyodizel ve Biyodizelin Tarihsel Gelişimi	36
1.8.2.	Türkiye’de Biyodizel	41
1.8.3.	Biyodizel ve Dizel Yakıt Standartları	44
1.8.4.	Biyodizelin Fiziksel, Kimyasal ve Yakıt Özellikleri	50
1.8.4.1.	Yoğunluk	50
1.8.4.2.	Kinematik Viskozite	51
1.8.4.3.	Setan Sayısı.....	51
1.8.4.4.	Kalori Değeri	51
1.8.4.5.	Karbon Artığı.....	52
1.8.4.6.	Soğuk Akış Özelliği.....	52
1.8.4.6.1.	Bulutlanma Noktası (BN).....	52
1.8.4.6.2.	Akma noktası (AN)	53
1.8.4.6.3.	Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (SFTN)	53
1.8.4.6.4.	Donma Noktası (DN)	53
1.8.4.7.	Parlama Noktası.....	53
1.8.4.8.	İyot Sayısı	53
1.8.4.9.	Su İçeriği.....	54
1.8.4.10.	Kükürt İçeriği	54
1.8.4.11.	Asit Sayısı.....	54
1.8.4.12.	Bakır Şerit Korozyonu.....	54
1.8.4.13.	Oksidasyon Kararlılığı	55
1.8.4.14.	Fosfor İçeriği	55
1.8.4.15.	Toplam Kirlilik.....	55
1.8.4.16.	Ester İçeriği	55

1.8.5.	Biyodizelin Kullanım Alanları	56
1.8.6.	Biyodizelin Malzemelere Olan Etkileri	56
1.8.7.	Otomotiv Sektöründe ve Dizel Motorlarda Biyodizel	58
1.8.8.	Biyodizelin Yağlayıcılık Özelliği	60
1.8.9.	Biyodizelin Motor Performansına Etkisi	60
1.8.10.	Biyodizelin Yakıt Emisyonları ve Çevre Üzerine Etkisi.....	60
1.8.11.	Biyodizelin Depolanması ve Taşınması	63
1.8.12.	Biyodizelin Toksik Etkisi	64
1.8.13.	Biyodizelin Tarımla İlişkisi ve Tarıma Olan Katkıları.....	64
2.	MATERYAL METOT	66
2.1.	Materyal	66
2.1.1.	Araştırmada Kullanılan Cihazlar.....	66
2.1.1.1.	Yoğunluk Ölçüm Cihazı	67
2.1.1.2.	Kinematik Viskozite Ölçüm Cihazı.....	67
2.1.1.3.	Parlama Noktası Tayin Cihazı	68
2.1.1.4.	Soğuk Akış Özelliği Tayin Cihazı.....	68
2.1.1.5.	Su İçeriği Tayin (Karl-Fischer Titrasyon) Cihazı.....	69
2.1.1.6.	Kalorimetre Cihazı.....	69
2.1.1.7.	Renk Analizi Tayin Cihazı (tintometer)	70
2.1.1.8.	Laboratuvar Tipi Karıştırıcı	70
2.1.1.9.	Hassas Terazî	70
2.1.1.10.	Sıcaklık Kontrollü Manyetik Karıştırıcı.....	71
2.1.1.11.	Etüv	71
2.1.1.12.	Kronometre.....	72
2.1.1.13.	Termometre	72
2.1.2.	Araştırmada Kullanılan Kimyasal Maddeler	72
2.1.2.1.	Metil Alkol (CH_3OH)	72
2.1.2.2.	Etil Alkol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$)	73
2.1.2.3.	Sodyum Hidroksit (NaOH).....	73
2.1.2.4.	Fosforik Asit (H_3PO_4).....	74
2.1.2.5.	Ağartma Toprağı.....	74
2.1.2.6.	Diethyl Ether (CH_3CH_2) ₂ O	75

2.1.2.7.	Potasyum Hidroksit (KOH)	75
2.1.2.8.	Fenolftalein (C ₂₀ H ₁₄ O ₄)	76
2.2.	Metot	76
2.2.1.	Haşhaş Yağı ve Elde Edilen Ürünlerin Asitlik Değeri Ölçümü.....	76
2.2.2.	Haşhaş Yağı Nötralizasyonu	77
2.2.3.	Transesterifikasyon Reaksiyonu Adımları	80
2.2.4.	Transesterifikasyon Reaksiyonun Optimizasyonu	82
2.2.4.1.	Katalizör Oranının Optimizasyonu	83
2.2.4.2.	Alkol/Yağ Oranının Optimizasyonu	83
2.2.4.3.	Reaksiyon Sıcaklığının Optimizasyonu.....	83
2.2.4.4.	Reaksiyon Süresinin Optimizasyonu	84
3.	BULGULAR.....	85
3.1.	Yağ ve Yakıtların Analizleri	85
3.1.1.	Serbest Yağ Asitliği Tayini.....	85
3.1.2.	Yağların ve Yakıtların Farklı Sıcaklıklarda Yoğunluk Değerlerinin Belirlenmesi	86
3.1.3.	Yağların ve Yakıtların Farklı Sıcaklıklarda Kinematik Viskozitelerinin Değerlendirilmesi.....	87
3.1.4.	Yağların ve Yakıtların Soğuk Akış Özellikleri.....	88
3.1.5.	Yağların ve Yakıtların Parlama Noktası Sıcaklıklarının Değerlendirilmesi.....	89
3.1.6.	Yağların ve Yakıtların Su İçeriğinin Değerlendirilmesi	89
3.1.7.	Yağların ve Yakıtların Bakır Şerit Korozyonun Ölçülmesi.....	90
3.1.8.	Yağların ve Yakıtların Renk Tayini	90
3.1.9.	Biyodizellerin Isıl Değerlerinin Değerlendirilmesi.....	90
3.1.10.	Yağların ve Yakıtların pH'nın Değerlendirilmesi.....	91
3.2.	Transesterifikasyon Reaksiyonuna Uygulanan Optimizasyon Çalışmaları	91
3.2.1.	Katalizör Oranının Optimizasyonu	91
3.2.2.	Alkol/Yağ Oranının Optimizasyonu	93
3.2.3.	Reaksiyon Sıcaklığının Optimizasyonu	95
3.2.4.	Reaksiyon Süresinin Optimizasyonu	97
	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	100

KAYNAKÇA	103
ÖZGEÇMİŞ	113
EKLER	114



HAŞHAŞ (*Papaver somniferum* L.) YAĞINDAN BİYODİZEL ÜRETİMİNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN OPTİMİZASYONU

Ramazan IRGIN

Yozgat Bozok Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

2019; Sayfa: 136

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Tanzer ERYILMAZ

ÖZET

Bu çalışmada, haşhaş (*Papaver somniferum* L.) yağına (HY) nötralizasyon işlemi uygulanarak nötralize haşhaş yağı (NHY) elde edilmiştir. Haşhaş yağı ve nötralize haşhaş yağlarından transesterifikasyon yöntemi ile elde edilen biyodizelin üretim parametreleri sırasıyla katalizör oranı, alkol/yağ oranı, sıcaklık ve zaman değiştirilerek optimizasyon uygulanmış, haşhaş yağı biyodizeli (HYB) ve nötralize haşhaş yağı biyodizeli (NHYB) üretimleri yapılmıştır. Elde edilen biyodizellerin yakıt özellikleri belirlenmiş, ASTM D6751 ve EN 14214 standartlarına uygun olup olmadığı incelenmiştir. HYB ve NHYB üretim parametrelerinde katalizör oranı; HY için ağırlıkça %0,5-%0,75-%1-%1,25-%1,5, NHY için; ağırlıkça %0,25-%0,5-%0,75-%1-%1,25 olarak denenmiştir. HY ve NHY için alkol/yağ oranı; ağırlıkça %10-%15-%20-%25-%30, sıcaklık değerleri; 30-40-50-60-70°C ve süre için de 30-45-60-75-90 dakika olarak denenmiştir. HYB için optimizasyon değerleri; katalizör oranı ağırlıkça %0,75, alkol/yağ oranı ağırlıkça %20, sıcaklık değeri 60°C, reaksiyon süresi 60 dakikada reaksiyon verimi %94,3971 olarak ölçülmüştür. NHYB için optimizasyon değerleri; katalizör oranı ağırlıkça %0,5, alkol/yağ oranı ağırlıkça %20, sıcaklık değeri 50°C, reaksiyon süresi 60 dakikada reaksiyon verimi %99,7608 olarak ölçülmüştür.

Anahtar Kelime: Biyodizel, transesterifikasyon, haşhaş (*Papaver somniferum* L.), haşhaş yağı, nötralize haşhaş yağı, nötralizasyon, optimizasyon, yakıt özellikleri

THE OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS WHICH AFFECT THE PRODUCTION OF THE BIODISEL FROM OPIUM POPPY

(*Papaver somniferum* L.) OIL

Ramazan IRGIN

**Yozgat Bozok University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystems Engineering
Master of Science Thesis**

2019; Page: 136

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Tanzer ERYILMAZ

ABSTRACT

In this study, neutralized poppy seed oil was obtained from poppy seed oil by using the neutralization method. The optimization process of transesterification method in biodiesel production from poppy seed oil and neutralized poppy seed oil was carried out by changing production parameters which are catalyst concentration, alcohol/oil ratio, reaction temperature and reaction time. Opium poppy seed oil biodiesel and neutralized opium poppy seed oil biodiesel were produced in optimum conditions after optimization process. The fuel properties of the obtained biodiesel were determined and conformity of these fuels with ASTM D6751 and EN 14214 standards was examined. It was tested that the catalyst concentration was wt%0,5-%0,75-%1-%1,25-%1,5 for opium poppy seed oil biodiesel and wt%0,25-%0,5-%0,75-%1-%1,25 for neutralized opium poppy seed oil biodiesel. Rate of alcohol for opium poppy oil and neutralized opium poppy seed oil; wt%10-%15-%20-%25-%30, temperature level 30-40-50-60-70°C and time, 30-45-60-75-90 minutes were tested. The optimum conditions for opium poppy seed oil biodiesel were obtained at 60 °C, an alcohol/oil ratio wt%20, the reaction time of 60 min and, wt% 0,75 catalyst concentration. The maximum obtained biodiesel yield was %94,3971. The optimum conditions for neutralized opium poppy seed oil biodiesel were obtained at 50 °C, an alcohol/oil ratio wt%20, the reaction time of 60 min. and wt%0,50 catalyst concentration. The maximum biodiesel yield for neutralized opium poppy seed oil biodiesel was %99,7608.

Keywords: Biodiesel, transesterification, opium poppy (*Papaver somniferum* L.), opium poppy seed oil, neutralized opium poppy seed oil, neutralization, optimization, fuel properties

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında, bana büyük destek veren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Tanzer ERYILMAZ'a, laboratuvar çalışmalarında yardımcı olan ve bilgileriyle ilerlediğim yolda bana desteklerini sunan Arş. Gör. Volkan ASLAN'a teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Tez çalışmam esnasında desteğini üzerimden eksik etmeyen aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmam süresince fikir alışverişinde bulunduğum Dr. Öğr. Üyesi Serpil SAVCI, Halil KAYAALP, Halis SEÇME, Mehmet KAVAS ve Burak METİN'e teşekkür ederim.

TABLÖLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 1. 1. Dünya biyoyakıt üretimi (bin ton eşdeğer petrol) [15]	8
Tablo 1. 2. Türkiye’de toplam yenilenebilir enerji kurulu gücü [12].....	9
Tablo 1. 3. Bazı bitkisel yağların yağ asidi içerikleri [29]	13
Tablo 1. 4. Gliserolün fiziksel özellikleri [33]	14
Tablo 1. 5. 2017-2018 yılı yağ, yağlı tohum, küspe ithalat ihracat verileri [39].....	19
Tablo 1. 6. 2016 yılı iller bazında haşhaş üretimi [52].....	24
Tablo 1. 7. Haşhaş yağı yağ asiti bileşenleri [59].....	26
Tablo 1. 8. Haşhaş yağı mineral içeriği [61]	27
Tablo 1. 9. Haşhaş küspesinin kimyasal yapısı [43]	28
Tablo 1. 10. Alkollerin kritik sıcaklık ve kritik basınç değerleri	30
Tablo 1. 11. Yağların yakıt özelliklerini iyileştirme yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları [73].....	32
Tablo 1. 12. 2013-2016 yılları arasında ülkeler bazında biyodizel üretim verileri (ton) [92]	40
Tablo 1. 13. 2007 yılı sonrası lisanslı biyodizel üreticileri [10].....	42
Tablo 1. 14. Dağıtıcıya teslim edilen biyodizel miktarı (ton) [98].....	44
Tablo 1. 15. ASTM D6751 [129]	46
Tablo 1. 16. EN 14214 [102].....	47
Tablo 1. 17. ASTM D7467-10 (B6-B20) [102]	48
Tablo 1. 18. EN 590 [102].....	49
Tablo 1. 19. ASTM D975 (No:2D) [130].....	50
Tablo 1. 20. Yağ asidinin bulutlanma noktası sıcaklığına olan etkisi [107]	52
Tablo 1. 21. Biyodizelin malzemelere olan etkisinin dizel yakıtına göre kıyaslanması [88,100,110]	58
Tablo 1. 22. Farklı araç şirketlerinin biyodizel için vermiş olduğu garanti bilgileri [110]	59
Tablo 1. 23. Biyodizel karışımlarının emisyon değerleri üzerine etkisi [112].....	63
Tablo 1. 24. Tarım yapılabilir alanlar ile biyodizel üretiminin karşılaştırılması [91]64	
Tablo 3. 1. HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının yakıt özellikleri	85

Tablo 3. 2. HY, NHY HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının serbest yağ asit sayısı analiz sonuçları.....	86
Tablo 3. 3. HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının soğuk akış özellikleri	89
Tablo 3. 4. HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının parlama noktası sıcaklıkları	89
Tablo 3. 5. HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının su içeriği.....	89
Tablo 3. 6. HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının bakır şerit korozyonu değerleri.....	90
Tablo 3. 7. NHYB, HYB, NHY, HY ve dizel yakıtlarının renk tayinleri	90
Tablo 3. 8. HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının ısı değeri	90
Tablo 3. 9. HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının pH sonuçları	91

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1. 1. Enerji kaynakları çeşitleri [12]	4
Şekil 1. 2. 2007-2017 yılları arası dünya birincil enerji tüketimi [15]	5
Şekil 1. 3. 2017 yılı Dünya birincil enerji tüketim oranlarının kaynak bazlı dağılımı (%) [15]	5
Şekil 1. 4. 2017 yılı Türkiye birincil enerji tüketim oranlarının kaynak bazlı dağılımı (%) [15]	6
Şekil 1. 5. Yenilenebilir enerji tüketimi ve biyoyakıt üretim miktarları [15]	7
Şekil 1. 6. Gliserolün 3 yağ asidiyle esterleşmesi [24]	11
Şekil 1. 7. Monogliserid, digliserid, trigliseridlerin açık formülleri [20]	11
Şekil 1. 8. Doymuş yağ asitlerinde bulunan gruplar [24]	12
Şekil 1. 9. Ülkelerin yağlı tohum ekim alanları [34]	15
Şekil 1. 10. 2005-2016 yılları arasında yağlı tohum ve ham yağ üretimi [34]	15
Şekil 1. 11. Bitki bazında dünya yağlı tohum üretimi	16
Şekil 1. 12. Dünya bitkisel ham yağ üretimi [34]	17
Şekil 1. 13. 2017 yılı Türkiye yağ bitkisi yetiştirme oranları [38]	18
Şekil 1. 14. Türkiye bitkisel ham yağ üretimi [34]	18
Şekil 1. 15. Dünyadaki haşhaş ekim alanı ve üretim miktarı [48]	20
Şekil 1. 16. 2017 yılı Dünya’da en fazla haşhaş üretimi yapan ülkelerin haşhaş tohumu üretim miktarları (ton) [48]	21
Şekil 1. 17. Yasa dışı haşhaş üretimi (ton) [42]	22
Şekil 1. 18. 1991-2017 yılları Türkiye haşhaş üretimi [38]	23
Şekil 1. 19. Haşhaş kapsülü ve tohumu [57]	26
Şekil 1. 20. Haşhaş küspesi	28
Şekil 1. 21. Süper kritik yöntem ile biyodizel üretim sistemi	30
Şekil 1. 22. Transesterleşme tepkimesinin basamakları [72]	31
Şekil 1. 23 Katalizör oranının kinematik viskoziteye olan etkisi [79]	33
Şekil 1. 24. Katalizör oranı ve metanol yağ oranının biyodizel verimine etkisi [78]	34
Şekil 1. 25. Reaksiyon sıcaklığının kinematik viskoziteye olan etkisi [79]	35
Şekil 1. 26. Reaksiyon sıcaklığının biyodizel verimine olan etkisi [80]	35
Şekil 1. 27. Dünya biyodizel üretimi [93]	38

Şekil 1. 28. 2006-2016 yıllar arasında bölgesel biyodizel üretimi [93].....	39
Şekil 1. 29. 2017 yılında en fazla biyodizel üretimi yapan ilk 15 ülke [92].....	39
Şekil 1. 30. 2010-2017 Türkiye biyodizel üretimi [93,98]	43
Şekil 1. 31. Bazı yağların yakıt özellikleri [103].....	56
Şekil 2. 1. Haşhaş yağı.....	66
Şekil 2. 2. Yoğunluk ölçüm cihazı.....	67
Şekil 2. 3. Kinematik viskozite ölçüm cihazı	67
Şekil 2. 4. Parlama noktası tayin cihazı	68
Şekil 2. 5 Soğuk akış özelliği tayin cihazı	68
Şekil 2. 6. Su muhtevası tayin (Karl-Fischer Titrasyon) cihazı.....	69
Şekil 2. 7. Kalorimetre cihazı	69
Şekil 2. 8. Renk analiz cihazı.....	70
Şekil 2. 9. Laboratuvar tipi karıştırıcı	70
Şekil 2. 10. Hassas terazi	71
Şekil 2. 11. Sıcaklık kontrollü manyetik karıştırıcı	71
Şekil 2. 12. Termometre.....	72
Şekil 2. 13. Metil alkol (CH_3OH)	73
Şekil 2. 14. Etil alkol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$)	73
Şekil 2. 15. Sodyum hidroksit (NaOH).....	74
Şekil 2. 16. Fosforik asit (H_3PO_4).....	74
Şekil 2. 17. Ağartma toprağı	75
Şekil 2. 18. Diethyl ether (CH_3CH_2) ₂ O.....	75
Şekil 2. 19. Potasyum hidroksit (KOH).....	76
Şekil 2. 20. Fenolftalein ($\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_4$)	76
Şekil 2. 21. Serbest yağ asitliği tayini.....	77
Şekil 2. 22. Yağa fosforik asitin ve NaOH su çözeltisinin eklenmesi	78
Şekil 2. 23 Fosforik asit ve NaOH su çözeltisinin eklenmesi sonucunda oluşan fosfor bileşikleri.....	78
Şekil 2. 24. Yıkama sonrası elde edilen yağ ve yıkama suyu, yağ faz farkı.....	79
Şekil 2. 25. Kurutma işlemi sonrasında yağa ağartma toprağının eklenmesi	79
Şekil 2. 26. Yağ içerisinde çökelen ağartma toprağı	80
Şekil 2. 27. (D) nötralize haşhaş yağı, (E) haşhaş yağı.....	80

Şekil 2. 28. Transesterifikasyon reaksiyonu sonunda ayırma hunisine alınan biyodizellerin gliserolle oluşturduğu faz farkı	81
Şekil 2. 29. Biyodizelin duşlama yöntemiyle yıkanması sonucu oluşan faz farkı ve yıkama sonucu ayırma hunisinin dibine çökelen bir miktar gliserol	82
Şekil 3. 1. HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının sıcaklığa bağlı yoğunluk değişimi	87
Şekil 3. 2. HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının sıcaklığa bağlı kinematik viskozite değişim grafiği	88
Şekil 3. 3. Katalizör oranının nötralize haşhaş yağı biyodizeli verimine etkisi. (Alkol/yağ oranı ağırlıkça %20, Sıcaklık 60 °C, Süre 60 dakika)	92
Şekil 3. 4. Katalizör oranının haşhaş yağı biyodizeli verimine etkisi. (Alkol/yağ oranı ağırlıkça %20, Sıcaklık 60 °C, Süre 60 dakika)	93
Şekil 3. 5. Alkol/yağ oranının haşhaş yağı biyodizeli verimine etkisi. (Katalizör oranı ağırlıkça %0,75, Sıcaklık 60 °C, Süre 60 dakika)	94
Şekil 3. 6. Alkol/yağ oranının nötralize haşhaş yağı biyodizeli verimine etkisi. (Katalizör oranı ağırlıkça %0,5, Sıcaklık 60 °C, Süre 60 dakika).....	95
Şekil 3. 7. Sıcaklığın nötralize haşhaş yağı biyodizeli verimine etkisi. (Katalizör oranı ağırlıkça %0,5, Alkol/yağ oranı ağırlıkça %20, Süre 60 dakika)	96
Şekil 3. 8. Sıcaklığın haşhaş yağı biyodizeli verimine etkisi. (Katalizör oranı ağırlıkça %0,75, Alkol/yağ oranı ağırlıkça %20, Süre 60 dakika)	97
Şekil 3. 9. Reaksiyon süresinin nötralize haşhaş yağı biyodizeli verimine etkisi. (Katalizör oranı ağırlıkça %0,5, Alkol/yağ oranı ağırlıkça %20, Sıcaklık 50 °C)	98
Şekil 3. 10. Reaksiyon süresinin haşhaş yağı biyodizeli verimine etkisi. (Katalizör oranı ağırlıkça %0,75, Alkol/yağ oranı ağırlıkça %20, Sıcaklık 60 °C)	98
Şekil 3. 11. HY ve NHY'na uygulanan optimizasyon çalışmaları sırasında elde edilen biyodizeller	99
Şekil 3. 12. (A) Dizel yakıtı, (B) NHYB, (C) HYB	99

KISALTMALAR LİSTESİ

KISALTMALAR	AÇIKLAMA
HY	: Haşhaş Yağı
NHY	: Nötralize Haşhaş Yağı
HYB	: Haşhaş Yağı Biyodizeli
NHYB	: Nötralize Haşhaş Yağı Biyodizeli
EN	: European Norm
ASTM	: American Society for Testing and Materials
MTEP	: Milyon ton eşdeğer petrol
GW	: Gigawatt
MW	: Megawatt
COOH	: Karboksil grup
cP	: Santipoises
BM	: Birleşmiş Milletler
g	: Gram
ml	: Mili litre
KJ	: Kilo joule
TMO	: Toprak Mahsulleri Ofisi
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
NaOH	: Sodyum Hidroksit
KOH	: Potasyum Hidroksit
ÖTV	: Özel Tüketim Vergisi
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
v/v	: Hacimsel oran
m/m	: Kütleli oran
SFTN	: Soğuk Filtre Tıkanma Noktası
CO	: Karbon monooksit

CO₂	:	Karbon dioksit
SO₂	:	Kükürt dioksit
NO_x	:	Azot oksit
HC	:	Hidrokarbon
PM	:	Partikül Madde
VOC	:	Uçucu organik bileşik
Kcal	:	Kilo kalori
ppm	:	parts per million
D100	:	Hacimsel Olarak %100 Dizel
B100	:	Hacimsel Olarak %100 Biyodizel
B60	:	Hacimsel Olarak %60 Biyodizel, %40 Dizel
B50	:	Hacimsel Olarak %50 Biyodizel, %50 Dizel
B40	:	Hacimsel Olarak %40 Biyodizel, %60 Dizel
B30	:	Hacimsel Olarak %30 Biyodizel, %70 Dizel
B20	:	Hacimsel Olarak %20 Biyodizel, %80 Dizel
B10	:	Hacimsel Olarak %10 Biyodizel, %90 Dizel
B6	:	Hacimsel Olarak %6 Biyodizel, %94 Dizel
B5	:	Hacimsel Olarak %5 Biyodizel, %95 Dizel
B2	:	Hacimsel Olarak %2 Biyodizel, %98 Dizel
B1	:	Hacimsel Olarak %1 Biyodizel, %99 Dizel
µg	:	Mikrogram
ISO	:	International Organization for Standardization
SYA	:	Serbest yağ asiti
da	:	Dekar
t	:	Ton
OPEC	:	Organization of Petroleum Exporting Countries
Ha	:	Hektar
MPa	:	Mega pascal
MJ	:	Mega Joule

1. GİRİŞ

Enerji insanların yıllardan beri ihtiyaç duyduğu bir kaynak olmuştur. Gelişen teknoloji ve nüfus artışı enerji kaynaklarının giderek azalmasına ve enerjiye olan bağımlılığın artmasına neden olmuştur. Böylece enerji çağımızın vazgeçilmez bir parçası ve ülke ekonomilerine yön veren önemli bir etken olmuştur[1].

Dünya’da enerji kaynaklarının bulunduğu bölgelerin paylaşılması ve kullanılmasıyla ilgili sorunlar dünya barışını ciddi anlamda tehdit etmektedir. Nükleer ve fosil kökenli kaynakların belirli alalarda olması bu durumu daha da önemli hale getirmektedir. Özellikle Dünya petrol rezervlerinin %66’lık kısmına sahip olan Ortadoğu Bölgesindeki insanlar yıllardan beri belirsizlikle ve savaşlarla boğuşmaktadır [2]. Bu olumsuzluklar, bölge insanların sömürgeci ülkelerin sömürgesi altında yaşamalarına ve bazen göç etmelerine neden olmaktadır.

Fosil yakıtlar dünyamızı ve gelecek nesilleri tehdit etmektedir. Fosil yakıtların tükenebilir olması, tüketimindeki ve fiyatlardaki artış, küresel ısınma gibi çevreye olumsuz etkileri gibi etmenler insanları farklı enerji kaynakları arayışına itmiştir [3]. Fosil yakıt bağımlılığı azaltmanın en iyi yolu yenilenebilir enerjinin yaygınlaştırılmasıdır. Yenilenebilir enerji arz güvenliğini arttırmakta, dışa bağımlılığı azaltmakta ve fosil yakıtlara göre neredeyse çevreye hiç zarar vermemektedir. Bu nedenden dolayı yenilenebilir enerji dünyanın dikkatini çekmeye başlamıştır. Günümüzde yenilenebilir enerji kaynakları teknolojileri hızla gelişmektedir. Ancak bunlara rağmen yenilenebilir enerjinin küresel enerji arz içerisindeki payı %13,7 gibi düşük bir orandır [4].

Türkiye geliştirmekte olan bir ülkedir. Ülkemiz enerji alanında %72 oranında dışa bağımlıdır. Dışa bağımlılığı azaltabilmek için fosil enerji kaynakları ve rezervleri araştırılırken bir yandan da yenilenebilir enerjinin potansiyeli ve kullanımı yönündeki araştırmalar da devam etmektedir [5]. Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması için 2009 yılından itibaren önemli çalışmalar başlamıştır. Türkiye’de toplam yenilenebilir enerji üretimi kurulu güç kapasitesi giderek artmaktadır [6].

1970’li yılların ortalarına doğru meydana gelen petrol krizi sonucunda, petrol ürünleri piyasadan geri çekilmiştir ve petrol fiyatlarının artmasına neden olmuştur. Petrol kaynaklarıyla ilgili yaşanan olumsuzluklar, alternatif yakıtlara olan yönelişi hızlandırmıştır [7]. Biyolojik yakıtlar arasında gelecekte en fazla kullanılacağı tahmin edilen yakıt biyodizeldir [8]. Biyodizel bitkisel, hayvansal, alg yağları ve kullanılmış atık yağların bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkolle reaksiyonu sonucu ortaya çıkan dizel yakıtı alternatif bir yakıt türüdür [6].

Biyodizelin yanma özellikleri, dizel motorlarda kullanılmaya uygundur [9]. Biyodizel saf olarak veya dizel yakıtıyla belirli oranlarda karıştırılarak kullanılabilir. Biyodizel diğer petrol kökenli yakıtlarla kıyaslandığında birçok avantajı bulunmaktadır. Çevre dostu bir yakıt olan biyodizel, ülkelerin petrol ithalatına olan bağımlılığını da azaltmaktadır.

Biyodizel üretebilmek ve kullanabilmek için ülkemizde gerekli altyapı ve potansiyel mevcuttur. Türkiye’nin toplam biyodizel işleme kapasitesi yaklaşık 1,5 milyon ton olup, işletmelerin çoğu atıl durumdadır [10]. Ülkemiz bitkisel yağ ihtiyacını karşılayamamakta ve açığı kapatmak için ithalat yapmaktadır. Gerekli yağ ihtiyacı karşılamak için yağlı tohumlara ayrılan ekim alanları artırmak ve üretimi desteklemek yeterli olacaktır.

Geleneksel haşhaş üreticisi olan ülkemizde yaklaşık 5000 yıldan beri haşhaş tarımı yapılmaktadır. Türkiye haşhaş ekim alanı Birleşmiş Milletler tarafından 70.000 hektar alanla sınırlandırılrsa da Dünya’daki en büyük haşhaş üreticilerinden birisidir. Dünya’nın en büyük alkoloid fabrikasına sahip olan ülkemiz Dünya morfin ihtiyacının yaklaşık $\frac{1}{4}$ ’ünü karşılayabilecek düzeydedir [11].

Bu çalışmada temin edilen haşhaş yağına nötralizasyon işlemi uygulanarak, haşhaş yağı ve nötralize haşhaş yağından transesterifikasyon yöntemine optimizasyon uygulanarak biyodizel üretilmiştir. Yağların, üretilen biyodizeller ile standart dizel yakıtının fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiş ve biyodizellerin standartlara uygunluğu araştırılmıştır.

1.1. Enerji

Eskiden sadece insanlar için yaşamı idame ettirme aracı olan enerji, üretim süreçlerinde kullanılması gereken bir girdi ve toplumların daha yüksek refah seviyelerine erişmesi için gerekli bir hizmet aracı olarak ekonomik ve sosyal kalkınmanın temel taşlarından birisi olmuştur. “İş yapma kapasitesi veya kabiliyeti” olarak tanımlanan enerji kavramı ısı, ışık, mekanik, elektrik, kimyasal ve nükleer gibi türleriyle karşımıza çıkmaktadır [12].

18. ve 19. yüzyılda sanayi devriminin İngiltere’de başlamasıyla birlikte insan gücü yerine buhar gücü almaya başlamıştır. Böylece, kitle üretime dayalı iktisadi büyüme sürecinde temel gereksinimlerden birisi de enerji olmuştur [13]. Sanayide, haberleşmede, ulaşımda nakliyede, aydınlatma gibi birçok alanda enerji ihtiyacı olmuştur. Enerji ihtiyacının giderek artması, fosil kaynak rezervlerin azalması ve tükenir olması, yaşanan ekonomik krizlerden dolayı insanoğlu farklı enerji kaynaklarına yönelmiş, var olan enerji kaynaklarını farklı değerlendirme üzerine çalışmalar yapmaya sevk etmiştir.

Enerji kaynakları kullanım şekillerine göre yenilenebilir ve yenilenemez, dönüştürülebilirliklerine göre birincil (primer), ikincil (sekonder) olarak iki ana guruba ayrılmıştır.

Yenilenemez enerji kaynakları, jeolojik dönemlerde geçirdikleri değişimler sonucunda ortaya çıkmaktadır. Bu enerji kaynakları doğada sınırlı miktarda bulunmakta ve tekrar oluşması için uzun süreler geçmesi gerekmektedir.

Bazı fosil kaynakların rezervleri ve kalan kullanım süresi değerlendirildiğinde;

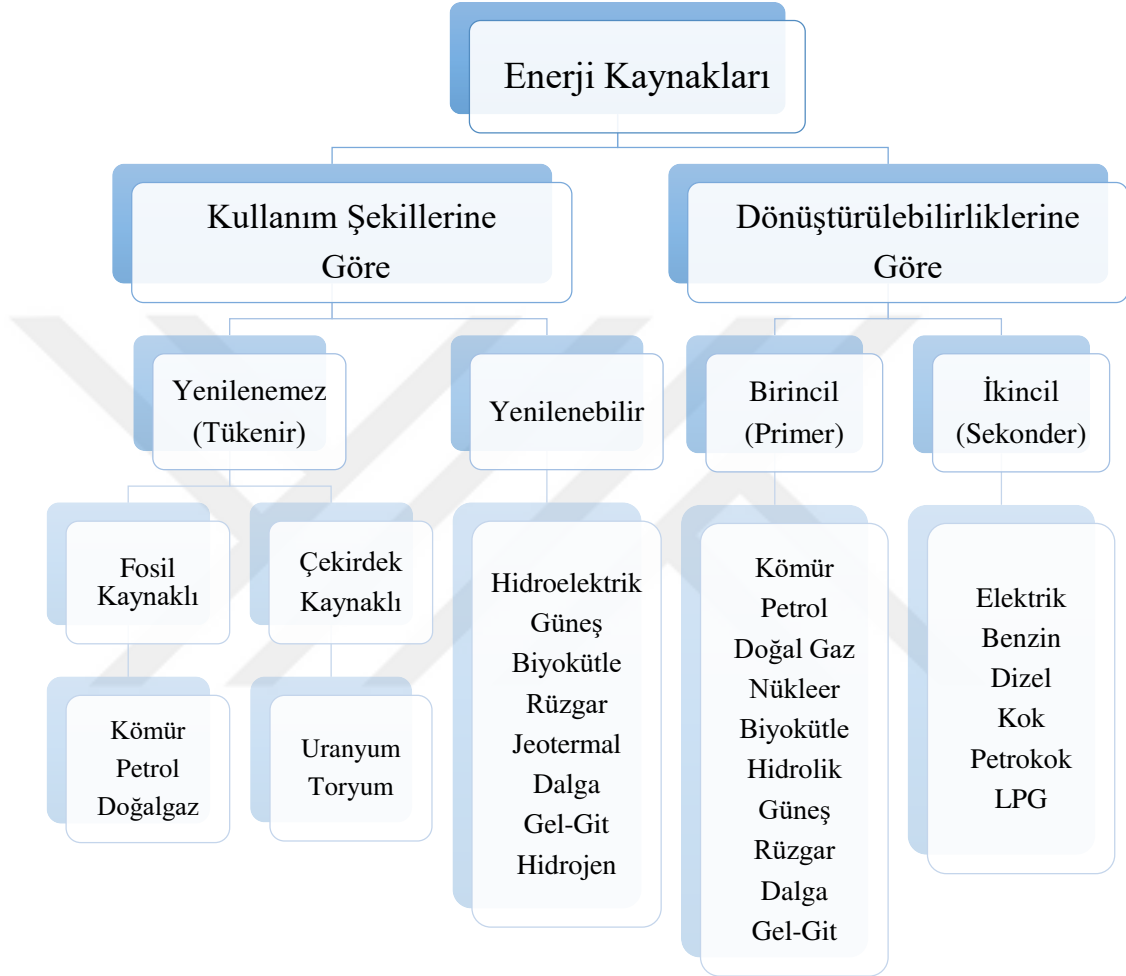
Kömür rezervinin 892 milyar ton olduğu 114 yıl yetebileceği,

Doğalgaz rezervinin 186,9 trilyon m³ olduğu, 53 yıl yetebileceği,

Petrol rezervinin 239 milyar ton olduğu ve 55 yıl yetebileceği tahmin edilmektedir [14].

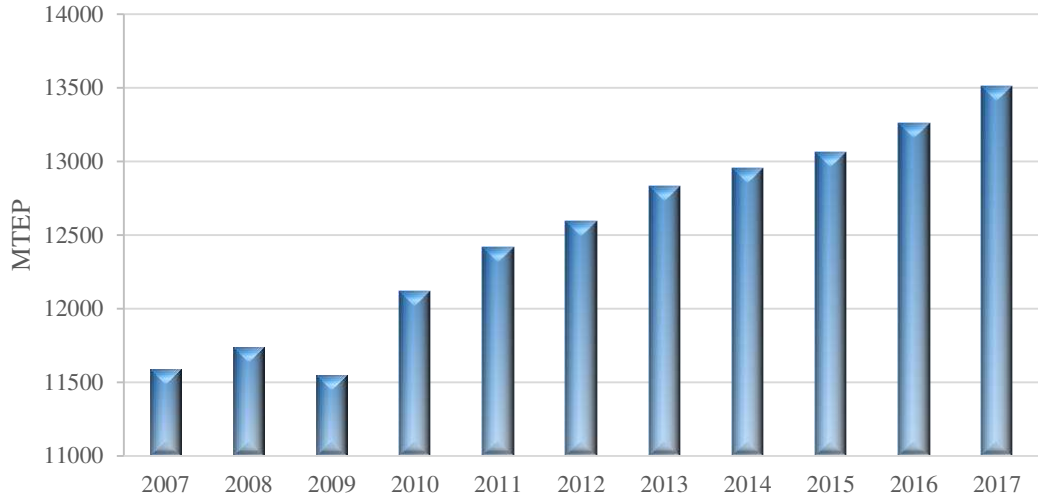
Enerjinin herhangi bir değişime ya da dönüşüme uğramamış şekli birincil enerji olarak tanımlanmaktadır. Birincil enerjinin dönüştürülmesi sonucu elde edilen enerji şekli ise

ikincil enerji olarak adlandırılmaktadır. Enerji kaynaklarının çeşitleri Şekil 1.1’de verilmiştir.



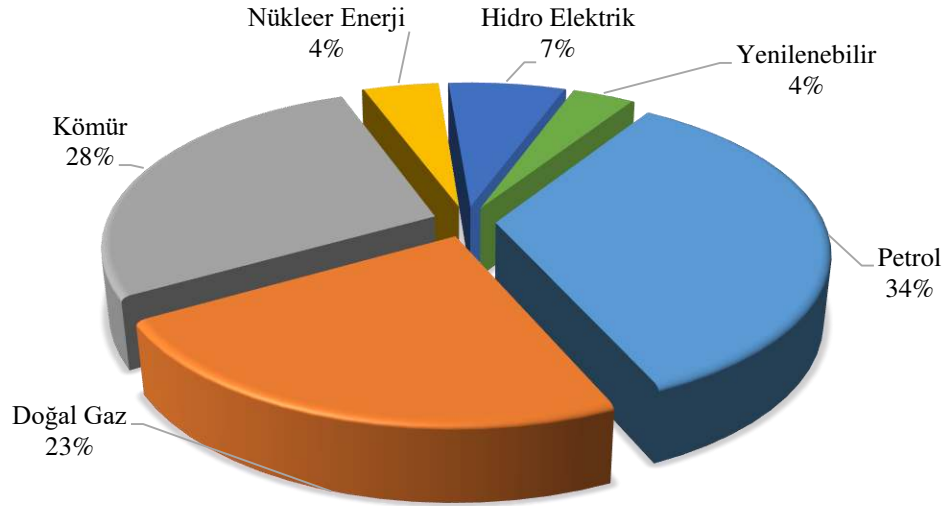
Şekil 1. 1. Enerji kaynakları çeşitleri [12]

Dünya’da kullanılan enerjinin çoğunluğu birincil enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Birincil enerji tüketimi 2009 yılından beri sürekli olarak artmıştır. BP’nin 2018 raporuna göre, 2017 yılında Dünya’da birincil enerji tüketimi bir önceki yıla göre %2,2 artarak 13511,2 MTEP (milyon ton eşdeğer petrol) olmuştur. En fazla birincil enerji tüketimi yapan ülke %23,2’lik payla 3132,2 MTEP tüketimle Çin olmuştur. Çin’i sırasıyla %16,5 payla ABD, %5,6 payla Hindistan, %5,2 payla Rusya takip etmektedir. En fazla birincil enerji tüketimi yapan ilk 4 ülkenin birincil enerji tüketimindeki payı toplam tüketimin yarısını aşarak %50,5 olmuştur [15].



Şekil 1. 2. 2007-2017 yılları arası dünya birincil enerji tüketimi [15]

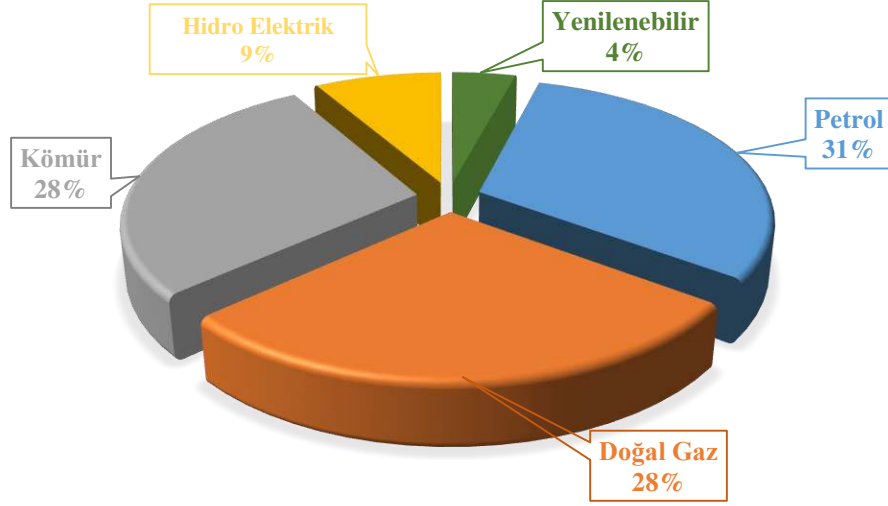
2017 yılında birincil enerjinin %85'lik kısmı fosil kaynaklı enerjiden karşılanmıştır. 2017 yılında en fazla kullanılan fosil kaynak petrol olmuştur. 2017 yılında petrol tüketimi bir önceki yıla göre %1,7 artarak 4621,9 MTEP olmuştur [15]. Şekil 1.3'de 2017 Dünya birincil enerji tüketim oranlarının kaynak bazlı dağılımı verilmiştir.



Şekil 1. 3. 2017 yılı Dünya birincil enerji tüketim oranlarının kaynak bazlı dağılımı (%) [15]

Türkiye'de 2017 yılında birincil enerji tüketimi bir önceki yıla göre %9,5 artarak 157,7 MTEP olmuştur. Türkiye'de kullanılan birincil enerjilerin %87'lik kısmı fosil kaynaklardan karşılanmıştır. Ülkemizde en fazla kullanılan birincil enerji %31'lik payla petroldür. Türkiye'nin petrol tüketimi bir önceki yıla göre %3,8 artarak 48,8

MTEP olmuştur. Ayrıca doğalgaz tüketimi %16,2 artarak 44,4 MTEP, kömür tüketimi ise %16,3 artarak 44,6 MTEP olmuştur [15].



Şekil 1. 4. 2017 yılı Türkiye birincil enerji tüketim oranlarının kaynak bazlı dağılımı (%) [15]

1.1.1. Yenilenebilir Enerji

Doğal kaynaklardan elde edilebilen ve kendini sürekli yenileyebilen enerji kaynağını yenilenebilir enerji olarak tanımlayabiliriz [16]. Diğer enerjilere göre yenilenebilir enerjiyi ön plana çıkaran en büyük özellik doğal bir şekilde kendini yenilemesi, yok olmamasıdır. Yenilenebilir enerji, ülkelerin enerji ihtiyaçlarını yerli kaynaklarla karşılayarak dışa bağımlılıklarının azaltılması, kaynakları çeşitlendirerek sürdürülebilir enerji kullanımının sağlanması ve enerji tüketimi neticesinde çevreye verilen zararların en aza indirilmesi açılarından son derece önemli bir yere sahiptir [17].

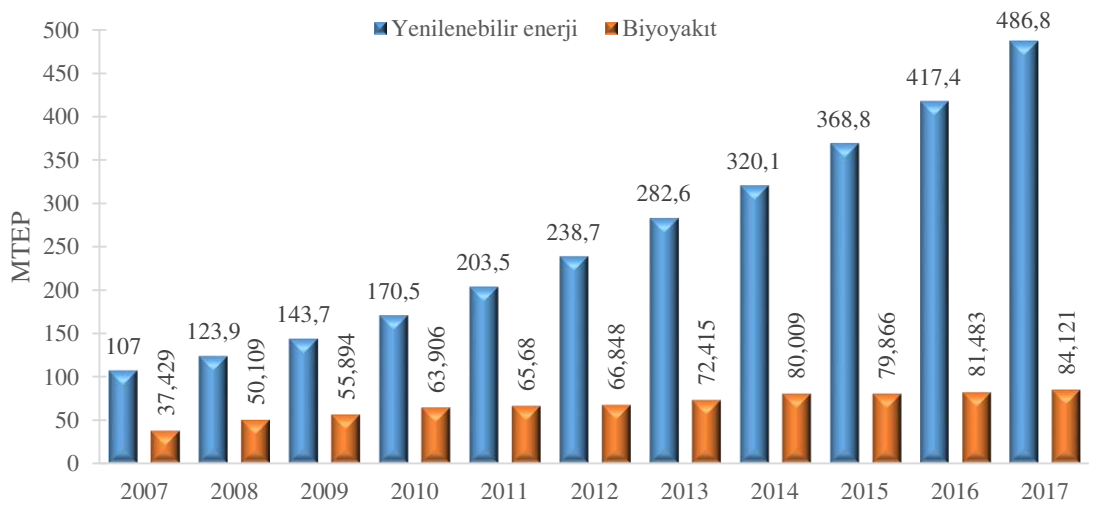
Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasıyla;

- İthal edilen kaynaklara bağımlılık azalacak
- Yerli kaynaklara öncelik verilecek
- Yerli üretim istihdamın artmasını sağlayacak
- Sürdürülebilir ekonomik büyüme ve gelişimi sağlayacak
- Enerji arz güvenliği artacak

- Enerji talebini karşılamada sağlanan güvenlik, enerji esaslı sektörleri olumlu yönde etkileyecek ve yatırım yapmalarını teşvik edecek
- Üretim ve tüketimde sağlanan güven ortamı ile istikrar gelişim gösterecek
- Sosyal ekonomide refah ve istikrar artacaktır [18].

Günümüzde fosil kaynaklı yakıtların kullanımı yüksek olmasına rağmen yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı giderek artmaktadır [17]. Dünya’da yenilenebilir enerji kullanımı son 10 yılda sürekli olarak artmıştır. Yenilenebilir enerji 2007 yılına göre %355, 2016 yılına göre ise %17 artarak 486,8 MTEP olmuştur. Dünya’da en fazla yenilenebilir enerji kullanan devlet Çin olmuştur. Çin 2017 yılında küresel yenilenebilir enerjide ki kullanım payı %21,9 olmuş ve 106,7 MTEP yenilenebilir enerji kullanmıştır [15].

Biyoyakıtların üretimi yıllar geçtikçe büyük oranda artmıştır. Bu artış 2007 yılına göre %125 oranında bir önceki yıla göre ise %3,5 artarak 84121 bin ton eşdeğer petrol olmuştur [15]. 2015 yılında ulaşım için enerji ihtiyacının %2,8 biyoyakıtlardan karşılanmıştır [19]. Şekil 1.5’te 2007-2017 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı ve biyoyakıt üretim miktarları verilmiştir. Tablo 1.1’de ise Dünya biyoyakıt üretim verileri verilmiştir.



Şekil 1. 5. Yenilenebilir enerji tüketimi ve biyoyakıt üretim miktarları [15]

Tablo 1. 1. Dünya biyoyakıt üretimi (bin ton eşdeğer petrol) [15]

(Bin Ton Eşdeğer Petrol)	2015	2016	2017	Bir Önceki Yıla Göre Artış %	Üretimdeki Payı %
ABD	33849	35986	36936	2,9	43,9
Kanada	1142	1197	1239	3,8	1,5
Meksika	5	14	14		
Kuzey Amerika Toplam	34996	37197	38190	3	45,4
Arjantin	2038	2828	3131	11	3,7
Brezilya	19332	18168	18465	1,9	22
Kolombiya	693	626	617	-1,1	0,7
Diğer Orta Amerika Ülkeleri	358	409	456	11,8	0,5
Orta Amerika Toplam	22448	22030	22669	3,2	26,9
Avusturya	381	419	391	-6,5	0,5
Belçika	482	477	471	-1	0,6
Finlandiya	432	109	219	101,9	0,3
Fransa	2559	2405	2224	-7,3	2,6
Almanya	3191	3228	3293	2,3	3,9
İtalya	572	600	595	-0,5	0,7
Hollanda	1816	1477	1658	12,6	2
Polonya	940	928	920	-0,6	1,1
Portekiz	321	298	315	5,9	0,4
İspanya	1122	1200	1541	28,7	1,8
İsveç	222	211	185	-12	0,2
İngiltere	310	554	617	11,8	0,7
Diğer Avr. Ülkeleri	1679	1745	1738	-0,1	2,1
Toplam Avrupa	14025	13652	14167	4,1	16,8
Toplam Ortadoğu	5	5	5		
Toplam Afrika	40	40	40		
Avustralya	162	183	144	-21,1	0,2
Çin	2653	1811	2147	18,8	2,6
Hindistan	438	544	435	-19,9	0,5
Endonezya	1314	2238	2326	4,2	2,8
Güney Kore	385	386	406	5,3	0,5
Tayland	1603	1610	1846	15	2,2
Diğer Asya Ülkeleri	1777	1767	1727	-2	2,1
Toplam Asya	8333	8540	9031	6	10,7
Dünya Toplam	79866	81483	84121	3,5	100

Yenilenebilir enerji dünya elektrik üretiminde de önemli bir yere sahiptir. Toplam küresel elektrik üretiminin %23,7'si yenilenebilir kaynaklardan elde edilmektedir. Bu oranın %16,6'lık kısmı hidroelektrik santralleri, %3,7'si rüzgâr, %2'lik kısmı biyoenerji, %1'i fotovoltaik güneş sistemleri ve %0,4'ü ise jeotermal ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır [17].

Türkiye yenilenebilir enerji potansiyeli bakımından iyi bir coğrafi bölgeye sahip olmasına rağmen yenilenebilir kaynaklı enerji üretimi düşüktür. Enerji potansiyelin çok fazla olmasına rağmen, yenilenebilir enerji kaynaklarının bu kadar az olmasının nedenleri arasında yasal düzenlemelerdeki eksiklikler ve maliyetler gibi sebepler yer almaktadır. Ülkemizin enerjideki dışa bağımlılığı göz önünde bulundurulursa yenilenebilir enerji ülkemiz için çok önemli bir kaynak olacaktır [16].

Yenilenebilir enerji konusunda Türkiye'de özellikle 2009 yılından itibaren önemli gelişmeler yaşanmıştır. Türkiye'nin yenilenebilir enerji üretimindeki toplam kurulu güç kapasitesi 2009 yılında 15,5 GW iken 2015 yılında 31,7 GW seviyelerine gelmiş ve 2016 yılının sonunda 34,2 GW olmuştur. Türkiye 2015 yılında yenilenebilir enerji yatırımını bir önceki yıla göre %46 artırarak 1,9 milyar \$ yatırım yapmıştır. Yenilenebilir enerjiye yapmış olduğu bu yatırım ile Türkiye İngiltere, Fransa ve Hollanda ile birlikte 1 milyar dolar eşiğini aşan dört Avrupa ülkesinden birisi olmuştur [16].

Tablo 1. 2. Türkiye'de toplam yenilenebilir enerji kurulu gücü [12]

Kaynak Cinsi	30 Nisan 2018 sonu itibariyle		
	Kurulu Güç (MW)	Katkı %	Santral Sayısı Adet
Hidrolik (barajlı)	19922,1	22,9	118
Hidrolik (akarsu)	7579,5	8,7	507
Güneş	22,9	0	3
Rüzgâr	6615,1	7,6	164
Jeotermal	1129,2	1,3	40
Rüzgâr (lisanssız)	49,4	0,1	65
Hidrolik (lisanssız)	7,4	0	10
Güneş (lisanssız)	4605	5,3	5320
Biyokütle	583,1	0,7	99

Türkiye'nin yenilenebilir enerji politika ve stratejileri başlıca şu şekilde sıralanabilir:

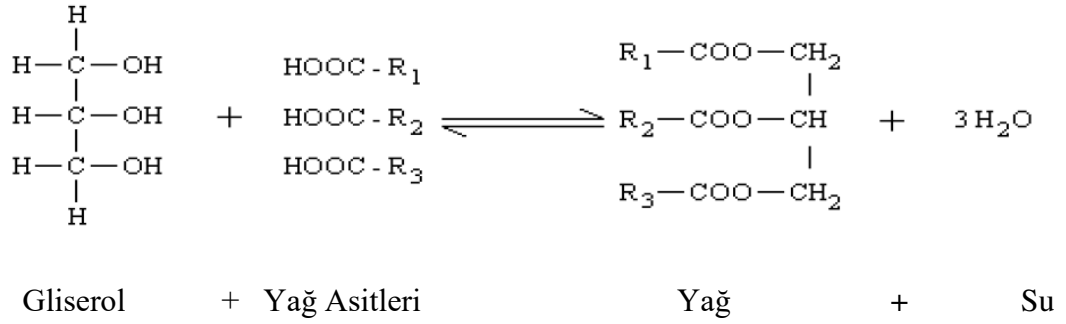
- Fosil yakıtlara olan bağımlılığı ve buna bağlı riskleri azaltmak amacıyla yenilenebilir enerji üretim ve tüketimini teşvik etmek
- Yenilenebilir enerji kaynakları (hidroelektrik dâhil) ile elektrik üretiminin payını en az %30 seviyelerinde tutmak
- Tarım sektörü potansiyellerinden daha fazla faydalanılarak biyoyakıt enerjisi kullanımını artırmak
- Mevcut yenilenebilir enerji kaynakları ile yapılan üretim miktarlarını artırmak [16].

1.2. Yağlar

Canlı organizmaların en önemli enerji kaynaklarından biri yağlardır. Bitkisel ve hayvansal dokularda bol miktarda yağ bulunmaktadır. Suda çözünemeyip ancak eter, benzen, kloroform gibi organik çözücülerle çözünebilirler. Yağ asitlerinin esteridirler veya esterleşebilirler [20].

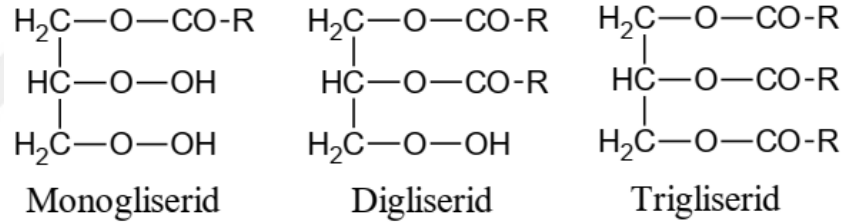
Canlı organizmalar tarafından kullanılabilen lipitler, önemli depo yakıt maddeleridir. Yağlar; vitaminler ve hormonların biyosentezinde ana maddeyi oluşturan öncü madde olarak gereklidir. Ayrıca yağda eriyen vitaminlerin (A,D,E,K) hedef doku ve organlara taşınması için gereklidir. Membran komponenti olan yağlar, organizmayı ısı, ışık ve fiziksel etkilerden korur. Yağlar biyolojik yönden zayıf bağlarla proteinlere bağlanarak lipoproteinleri; karbonhidratlara bağlanarak glikolipidleri oluştururlar [20]. Yağın ısı değeri 9 kcal/g'dır. Karbonhidratlar için bu değer 4,5 kcal/g'dır [21].

Yağ, üç değerli alkol olan gliserol ve üç adet yağ asidinin ester bağları ile birleşmesi sonucunda oluşan bir trigliserid esteridir [22]. Yağın %95-99'unu trigliseridler, %1-5'ini de mono ve digliseridler, fosfatitler, serbest yağ asitleri, steroller, yağda çözünen vitaminler ve diğer maddeler oluşturur [23].



Şekil 1. 6. Gliserolün 3 yağ asidiyle esterleşmesi [24]

Aynı cins yağ asitlerinden oluşmuş trigliserid basit trigliserid, farklı cins yağ asitlerinden oluşmuş ise karışık trigliserid olarak adlandırılmaktadır [25]. Gliserolün bir alkol grubu bir molekül yağ asiti ile esterleşirse monogliserid meydana gelir. Gliserolün iki alkol grubu, iki molekül yağ asiti ile esterleştiğinde ise digliserid oluşur. Gliserol'ün üç alkol grubu da üç yağ asiti ile esterleşirse trigliseridler meydana gelir [20].



Şekil 1. 7. Monogliserid, digliserid, trigliseridlerin açık formülleri [20]

1.2.1. Yağ Asitleri

Yağların en temel bileşenleri yağ asitleridir. Zincir uzunlukları 4 ila 22 karbon arasında değişir. Yağ asidinin çeşidi, oranı ve gliserolün molekülünde aldığı pozisyon, yağların kimyasal ve fiziksel özelliklerini etkilemektedir. Günümüzde 200'ün üzerinde yağ asidi olduğu tespit edilmiştir [26,27].

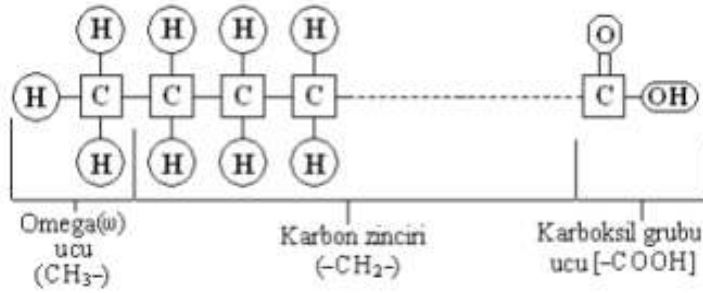
Yağ asidi molekülü kimyasal olarak bir alkil (R-) ve bir karboksil (-COOH) gruptan oluşur [26]. Yağ asitlerinin kimyasal formülü $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{COOH}$ 'dir [27].

1.2.1.1. Doymuş Yağ Asitleri

Sıkıca paketlenmiş düzenli bir konfigürasyona sahiptirler. Doymuş yağ asitlerinde zincirler arasında kuvvetli çekim gücü vardır ve karbon atomları arasında tek bağ vardır. Erime dereceleri yüksektir. Yağda ki doymuş yağ asit sayısı miktarı ne kadar

fazla ise yağda o miktarda oda sıcaklığında katıdır ve genel olarak sağlığa da olan zararı artar [23]. Hayvanların yağ dokuları büyük miktarda uzun zincirli doymuş yağ asitleri içerir [28].

Doymuş yağ asitlerinin yapılarında çift bağ bulunmaz. Genel formülleri $C_n-H_{2n}-O$ olarak değişir. Karbon atomu sayısı 4-38 arasında değişmektedir. 4-8 karbon sayısına sahip doymamış yağ asitleri oda sıcaklığında sıvı halde bulunur. Bunlar su buharı ile uçabildikleri için uçucu yağ asitleri olarak tanımlanabilir [24]. Doymuş terimi hidrojenle ilişkili olarak kullanılır, karboksil $[-COOH]$ grubundaki karbon dışındaki diğer karbonların olabildiğince çok hidrojenle bağ kurmuş olduğu anlamını taşır. Diğer deyişle, omega (W) ucundaki karbonun 3 hidrojeni vardır (CH_3-), zincirdeki karbonların her birinin ise iki hidrojeni vardır ($-CH_2-$) [28].



Şekil 1. 8. Doymuş yağ asitlerinde bulunan gruplar [24]

Laurik asit ($C_{12}:0$), Miristik asit ($C_{14}:0$), Palmitik asit ($C_{16}:0$), Stearik asit ($C_{18}:0$), Arasidik asit ($C_{20}:0$), Behenik asit ($C_{22}:0$), bitkisel yağlarda bulunan en önemli doymuş yağ asitleridir [23].

1.2.1.2. Doymamış Yağ Asileri

Hidrokarbon zincirinde bir veya daha fazla çift bağ bulunduran yağ asitleri doymamış yağ asitleri olarak adlandırılır. Doymamış yağ asitlerinin özellikleri yapılarında bulunan çift bağların sayısına ve konumlarına göre çeşitlilikler göstermektedir. Doymamış yağ asitlerinin formül yapısı genel olarak $C_nH_{2(n-a)}O_2$ şeklindedir [24].

Bazı doymamış yağ asitleri insan vücudu tarafından sentezlenemediğinden ancak dışarıdan alınabilir. Bu nedenle doymamış yağ asitleri insan sağlığı açısından büyük önem taşır [26].

Tekli doymamış yağ asitleri: Monoenoik yağ asitleri olarakta adlandırılır. Tekli doymamış yağ asitleri yapıların bir çift bağ içerirler [24]. Oda sıcaklığında sıvıdırlar ancak soğutulduğunda katılaşmaya başlar. Bu grubun en önemli iki üyesi, palmitoleik asit (C16:1) ile oleik asittir (C18:1) [23]. Zeytinyağı, fındık yağı ve kanola yağları da yüksek miktarda tekli doymamış yağ asiti içiren yağlara örnektir [24].

Çoklu doymamış yağ asitleri: Birden fazla doymamış bağa sahiptirler. Non-linear zincir yapısı moleküllerin sıkı paketlenmesine izin vermez. Zincirler arasında çok az bir etkileşim vardır. Erime dereceleri düşüktür. Çoklu doymamış yağlar oda sıcaklığında ve buzdolabında sıvıdırlar. Linoleik (C18:2), linolenik (C18:3), araşhidonik (C20:4), eikosapentaenoik (C22:5) ve dokosahegzaenoik (C22:6) asitler çoklu doymamış yağ asitlerinin en önemlileridir [23].

Tablo 1. 3. Bazı bitkisel yağların yağ asidi içerikleri [29]

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

1.2.2. Gliserol

Gliserol insanoğlunun M.Ö. 2800 yıllarda sabun üretmek amacıyla yağların kül ile ısıtılması sonucu elde edilen ürünü ayırmasıyla üretilen organik moleküldür [31]. Gliserol kimya ve biyodizel endüstrisinde yağların işlenmesi sonucu ortaya çıkan bir yan üründür. Gliserol ($C_3H_5(OH)_3$) piyasada gliserin olarak bilinir [30].

Gliserol patlayıcı madde yapımında, nemlendirici özelliği sayesinde kozmetik sanayide, ısı naklinde ve birçok farklı sektörde kullanılmaktadır. Hacminin 4 katı kadar suyu adsorbe edebilir . Etil alkol ve su ile her oranda karıştırılabilir [30].

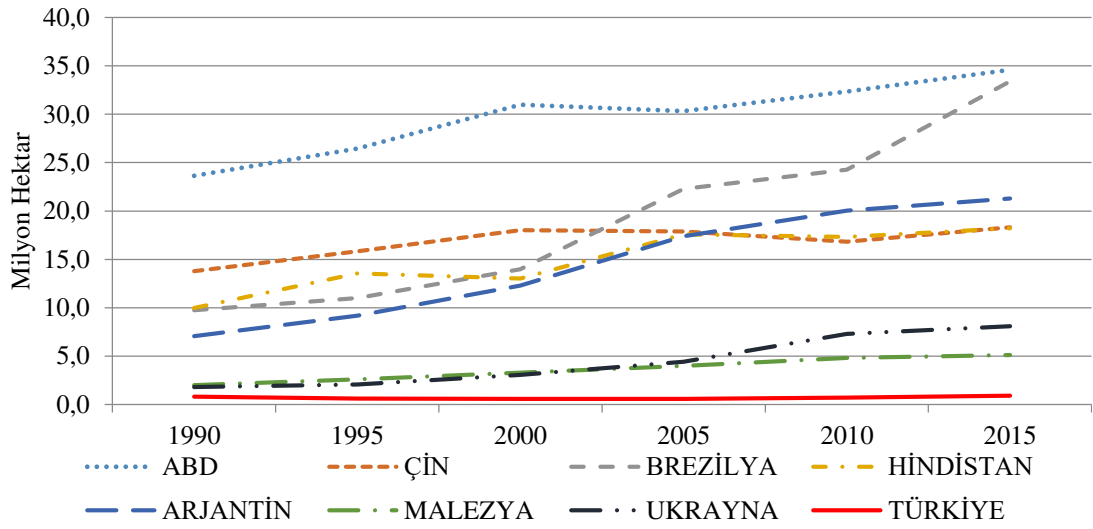
Yağların gliserol içerikleri genellikle %9,0 ile %12,0 arasında değişmektedir [26]. Biyodizel üretiminin artmasıyla birlikte biyodizelin önemli bira yan ürünü olan gliserolün değerlendirilmesine dair çalışmalar yoğunlaşmıştır. Biyodizel üretiminde toplam ürünün ağırlıkça %10'una eşdeğer gliserol oluşmaktadır [32].

Tablo 1. 4. Gliserolün fiziksel özellikleri [33]

Erime Noktası (°C)	18
Kaynama Noktası (°C)	290
Yoğunluk (g/ml)	1,26
Yüzey Gerilimi (dyn/cm)	63,4
Viskozite (cP (mPa.s))	1499
Oluşum Isısı (KJ/mol)	667,8
Termal İletkenlik (W/m K)	0,28
Parlama Noktası (°C)	204

1.3. Dünya’da Yağlı Tohum ve Bitkisel Yağ Üretimi

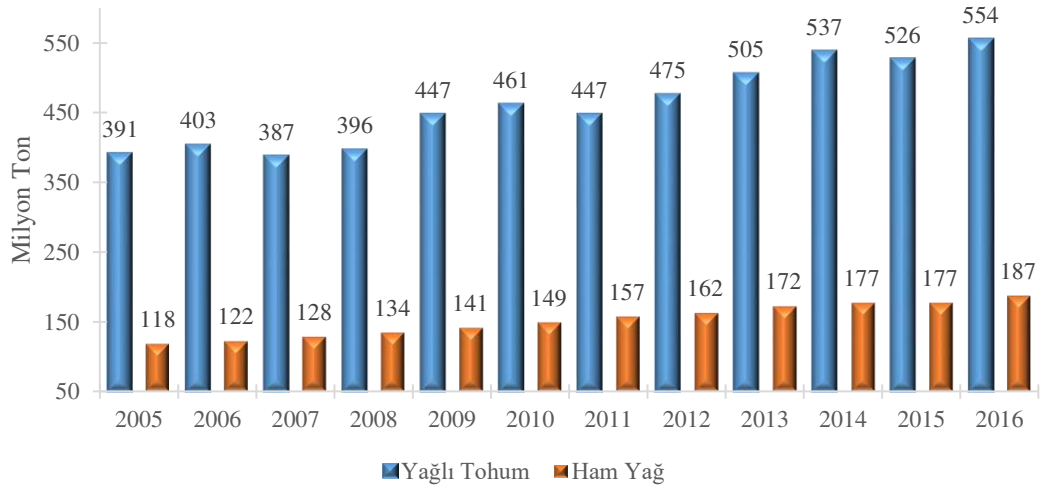
Yağlı tohumlar ve yağlar başta gıda olmak üzere, boya sanayi, sağlık, kozmetik vb. birçok alanda kullanılmaktadır. Ayrıca yağ eldesi sonucunda elde edilen küspe hayvancılıkta kesif yem ihtiyacının büyük bir kısmını karşılamaya yardımcı olmaktadır. Dünya nüfusunun giderek artması ve yağın birçok sektörde kullanılmasından dolayı talep artmakta ve bu talebi karşılamak için üretim de artmıştır. Şekil 1.9. incelendiğinde 1990-2015 yılları yağlı tohum yetiştiren 7 ülkenin ekim alanları incelendiğinde, ekim alanlarının genel olarak arttığı görülmektedir.



Şekil 1. 9. Ülkelerin yağlı tohum ekim alanları [34]

*soya fasulyesi, ayçiçeği tohumu, kanola tohumu ve palm ekim alanları toplamıdır.

2016 yılında toplam 554 milyon ton yağlı tohum üretilmiştir. ABD 127 milyon ton ile toplam üretimin % 23 karşılamıştır. Dünya’da en fazla üretim yapan ilk 5 ülke (ABD, Brezilya, Arjantin, Çin, Hindistan) 387 milyon ton üretimle toplam üretimin %70 ini yapmıştır [34].

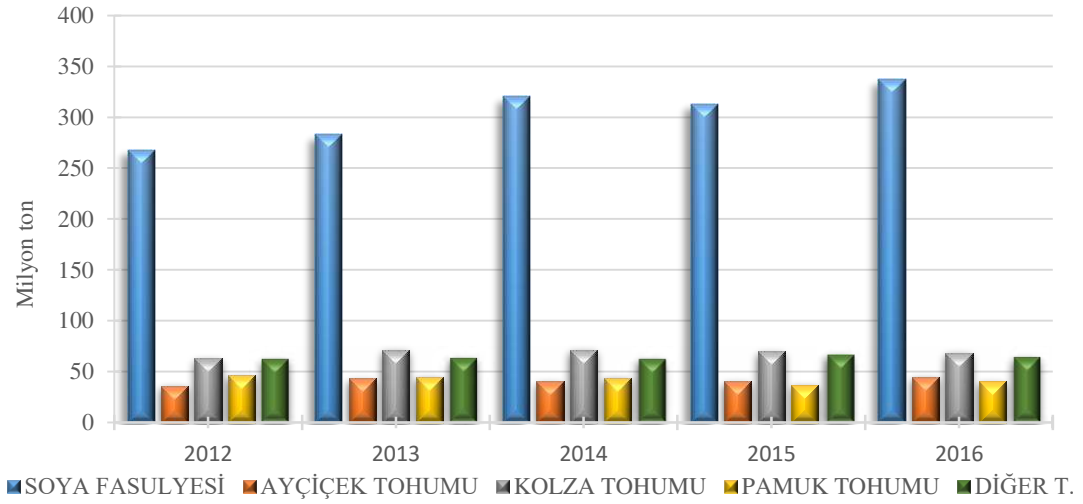


Şekil 1. 10. 2005-2016 yılları arasında yağlı tohum ve ham yağ üretimi [34]

2016 yılında toplam 187 milyon ton ham yağ üretimi yapılmıştır. En çok üretim yapan Endonezya toplam 40 milyon ton üretim yapmıştır. 2016 yılında en çok yağlı tohum üretimi yapan 3 ülke ABD, Brezilya ve Arjantin olmasına rağmen en çok yağ üretimi

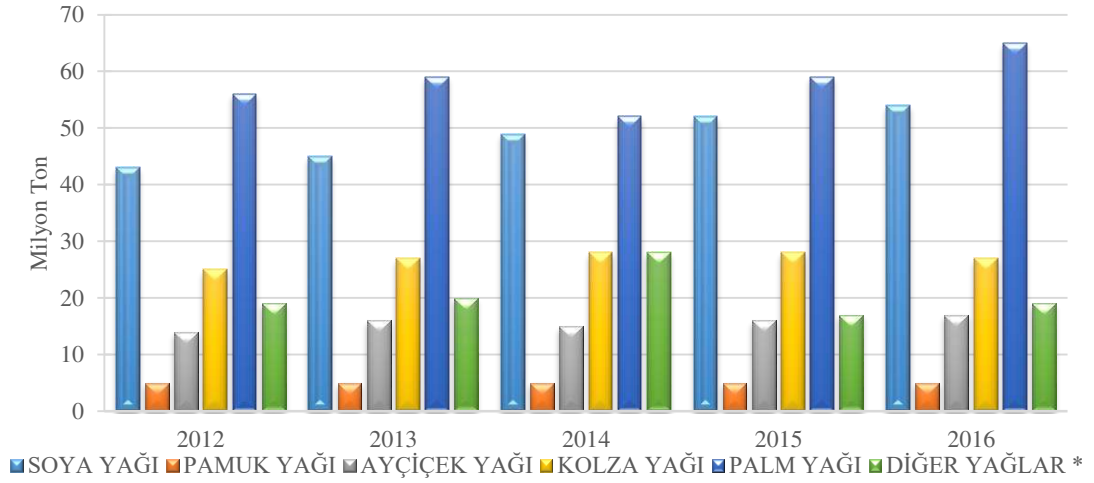
yapan ülkeler Endonezya, Çin ve Malezya olmuştur [34]. Bunun nedeni üretilen tohumların işlenmeden ihraç edilmesi, tohumun farklı şekilde ham madde olarak değerlendirilmesi ve yağlı tohumların yağ verimindeki değişimlerden kaynaklandığını düşünülmektedir.

2012-2016 yılları arasında en çok yağlı tohum üretimi sırasıyla soya fasulyesi, kolza tohumu, pamuk tohumu, ayçiçek tohumu olmuştur. 2016 yılında soya fasulyesi tohumu 337 milyon ton üretimle toplam üretimin yarısından fazlasını karşılamıştır [34].



Şekil 1. 11. Bitki bazında dünya yağlı tohum üretimi

Dünya bitkisel ham yağ üretimi Şekil 1.12’de incelendiğinde 2016 yılında 65 milyon ton palm yağı üretilmiştir. Dünya’da en fazla yetiştirilen yağlı tohum bitkisi soya fasulyesi olmasına rağmen en fazla yağ üretimi palm bitkisinden olmuştur. Palm yağını sırasıyla soya, kolza, ayçiçek ve pamuk yağı takip etmiştir [34].



Şekil 1. 12. Dünya bitkisel ham yağ üretimi [34]

* Diğer yağlar(hindistan cevizi yağı, zeytin yağı, palm y  irdeği yağı, fıstık yağı)

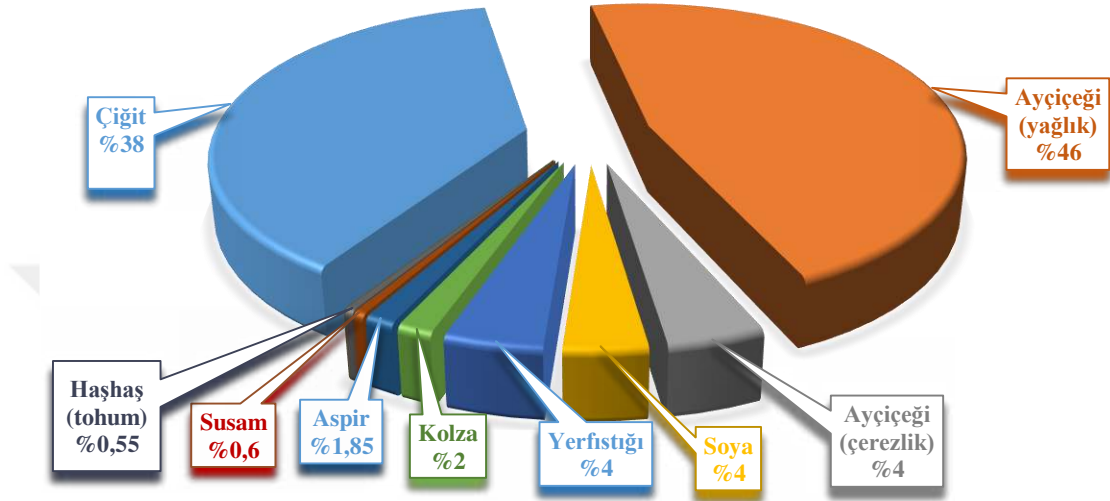
1.4. Türkiye’de Yağlı Tohum ve Bitkisel Yağ   retimi

Ülkemiz tarım alanları açısından Avrupa ve Ortadoğu’da en büyük arazi payına sahiptir. Dünya’da ise 26 milyon hektar işlenebilir tarım arazisi ilk 10 ülke arasındadır. Ülkemizde tarım genellikle kurak şartlarda yapılmaktadır. Ayrıca   lkemizde yılda yaklaşık 4-5 milyon hektar tarla nadasa bırakılmaktadır. Türkiye’de yenilenebilir enerji bitkileri yağ ihtiyacının yerli kaynaklardan sağlanması için 1 milyon 900 bin hektar marjinal tarım arazisi, 5 milyon hektar nadas alanının ve şekerpancarı ile tütüne kota uygulanan arazilerin değerlendirilmesi ile fazlasıyla sağlanılabileceği düşünülmektedir [35,36].

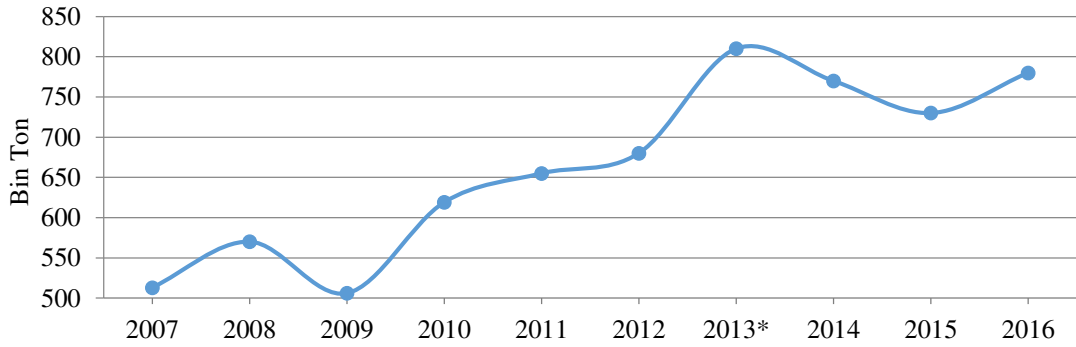
Ülkemiz orta kuşakta bulunması ve farklı iklim çeşitlerinin görülmesinden dolayı binlerce farklı türden bitkiye yetişme imk  nı sağlamıştır. Ülkemizin hemen hemen her bölgesinde yağ bitkilerinden bir tanesinin yetiştirme imk  nı vardır. Buna rağmen ülkemizde yeterli miktarda yağlı tohum yeti  tirilmemekte ve yeterli miktarda ham yağ üretimi yapılamamaktadır. Ülkemizde gerekli yağ ihtiyacı karşılamak için ekim alanlarının %25’lik kısmının yağlı tohumlara ayrılması yeterli olacaktır [37].

Ülkemizde başlıca yetişen yağ bitkileri sırasıyla ayçiçeği,   iğit, soya, yer fıstığı, kolza, aspir, susam, ha   a  , kenevir ve ketendir. 2017 yılında toplam 9.251.704 dekar arazide yağlı tohum ekimi yapılmıştır. Yağlı tohumlara   iğit ve ha   a   da eklediğimizde ekim

alanı yaklaşık 14,5 milyon dekarı bulmaktadır. Ekilen arazilerden toplam 3.883.370 ton ürün hasat edilmiştir. 2017 üretimde 1.800.000 ton ile ayçiçeği (yağlık) ilk sıradadır ve toplam yağlı tohum üretiminin %46,3'ünü karşılamaktadır [38]. 2017 yılı yağ bitkilerinin yetiştirme oranları Şekil 1.13'de verilmiştir.



Şekil 1. 13. 2017 yılı Türkiye yağ bitkisi yetiştirme oranları [38]



Şekil 1. 14. Türkiye bitkisel ham yağ üretimi [34]

* 2013 yılı itibariyle aspir, keten ve ketencik yağı verileri dâhil edilmiştir.

2016 yılında ülkemizde 780 bin ton ham yağ üretimi yapılmıştır [34]. Bitkisel ham yağ ihtiyacı karşılanamamasından dolayı yağ hammaddeleri ve ham yağ ithalatı yapılmaktadır. 2007 yılından itibaren ham yağ üretiminde artış olmasına rağmen yıllar arasında dalgalanma olduğu görülmektedir. Ülkemizde 2017 yılında 1.432.467 ton yağ, 3.235.714 ton yağlı tohum, 4.047.153 ton küspe ithalatı yapılmıştır. Yapılan ithalatlar için yaklaşık 3,7 milyar (3.692.002.023) \$ ödenmiştir. 2018 yılı ilk 8 aylık

dilim değerlendirildiğinde ise yağ, tohum ve küspe için yaklaşık 2,5 milyar \$ döviz ödenmiştir [39].

Tablo 1. 5. 2017-2018 yılı yağ, yağlı tohum, küspe ithalat ihracat verileri [39]

		2017		2018(Ocak-Ağustos)	
		Ton	\$	Ton	\$
YAĞ	İthalat	1.432.467	1.322.567.792	849.948	686.853.317
	İhracat	783.667	805.859.471	431.290	439.987.063
TOHUM	İthalat	3.235.714	1.465.266.038	2.786.601	1.235.395.740
	İhracat	141.672	183.873.448	29.537	75.446.536
KÜSPE	İthalat	4.047.153	894.168.193	2.306.772	578.755.484
	İhracat	72.988	26.389.903	60.517	21.820.417
İthalat İhracat Toplam Farkı		7.717.007	2.665.879.201	5.421.977	1.963.750.525

Yağlı tohum ve yan ürünleri ihtiyacını karşılamak ve ithalatı durdurup daha fazla ihracat yapan bir ülke olmak için devletimiz yağlı tohum üretimine destek vermektedir. 2001 yılına göre devletimiz yağlı tohum desteğini yaklaşık 10 kat arttırmıştır [34]. Ayrıca mazot gübre desteği, sertifikalı tohum kullanım ve üretim desteklemesi de vermektedir.

1.5. Haşhaş (*Papaver somniferum* L.)

Haşhaş bilimsel sınıflandırmaya göre *Papaver somniferum* L. *Rhoedales* takımının *Papaveraceae* familyasındandır. Bu familyanın da *Papaver* cinsi içerisinde yer almaktadır. *Papaver* Latince gelincik, *somniferum* ise ‘rüya görmek’ veya ‘uyku verici’ anlamına gelmektedir [40,41].

Haşhaş bitkisi Ülkemiz’de ve Dünya’da yıllardan beri yetiştirilen tohumundan ve kapsülünden yararlanılan çok kapsamlı tek yıllık bir bitkidir. Haşhaş tarihi açıdan iki şekilde ele alınmaktadır. Bunlar; insanoğlu tarafından tanınması, kullanılması ve botaniktir. Botanik açıdan haşhaş bitkisine dair farklı açıklamalar yapılmıştır. Bazı bahçe uzmanlarına göre çelik şekilde üretildiği, bazılarına göre doğal bir evrim sonucu ortaya çıktığı ve bazılarına göre ise irtifa ve iklimden kaynaklanan mutasyonun sonucu ortaya çıktığıdır [42].

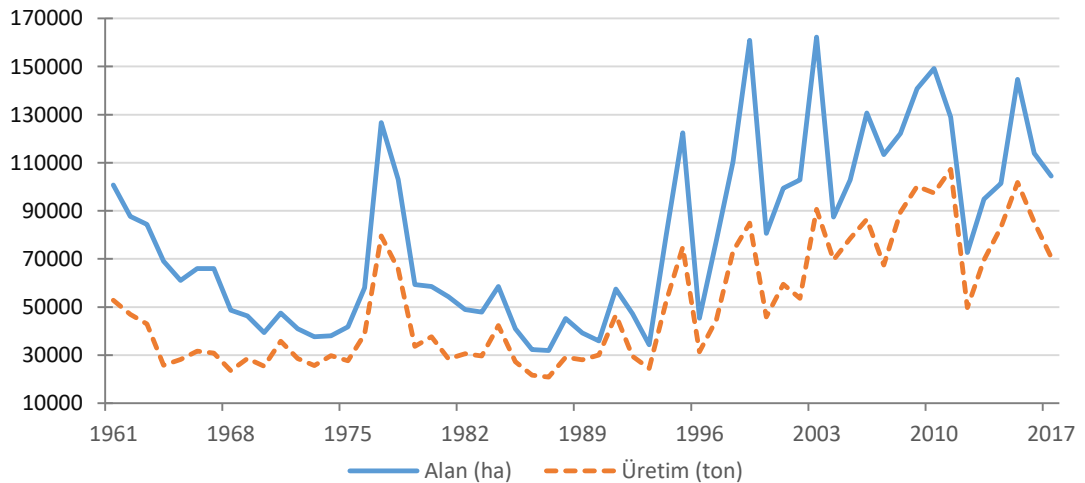
Araştırmacılar insanların ilk yerleşik hayata geçtiği kabul edilen M.Ö 4000 yıllarında Avrupa'nın Göller Yöresinde bulunan *P. setigerum* türünü haşhaşın yabanisi olarak kabul etmiş ve anavatanının burası olduğunu ön görmüşlerdir [43]. M.Ö 3000 yıllarında Mezopotamya'da yaşamış Sümerlerin haşhaşa ait bazı kelimeler ve Asurlara ait bazı kabartmalarda haşhaş resimleri görülmüştür [44]. Anadolu'da haşhaş M.Ö 3000 yılından beri geleneksel olarak yetiştirilmektedir [45]. 17. Yüzyılda Evliya Çelebinin Anadolu'ya yaptı seyahatlerde İç Batı Anadolu'daki haşhaş tarlalarından bahsetmiş ve buraya "Afyon Diyarı" olarak adlandırmıştır [46].

İbn-i Sina haşhaşı ilaç olarak tavsiye etmiştir. İbn-i Sina'ya göre haşhaş ishal, göz hastalıkları, kolik gibi hastalıklara iyi geldiği ve uyku problemi olan çocukların yemeklerinin içine afyon katılmasını tavsiye etmiştir [42].

1840-1842 ve 1856-1860 yıllarında haşhaş ihracatı nedeniyle Büyük Britanya ile Çin arasında savaş çıkmasına neden olmuştur [42].

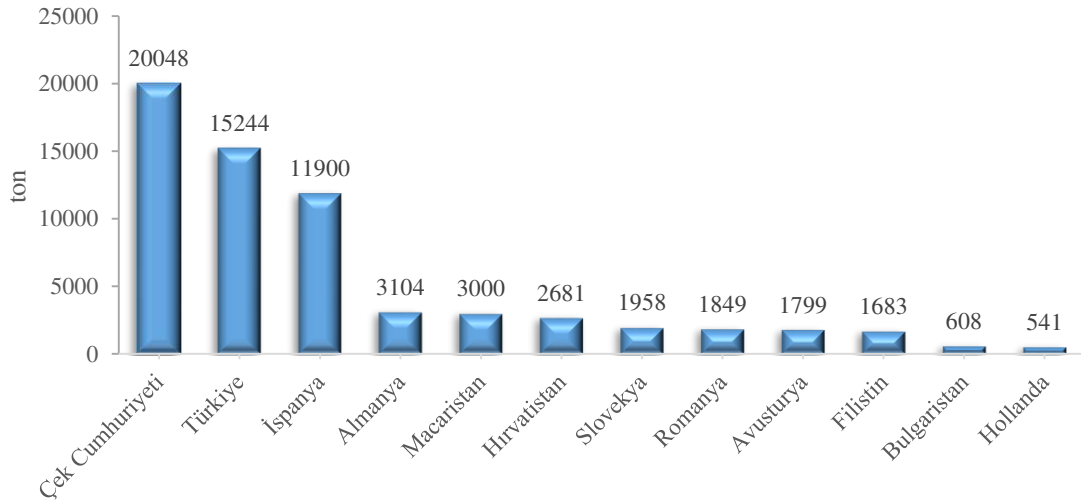
1.5.1. Dünya'da Haşhaş Üretimi

Dünya'da, haşhaş ekimi BM teşkilatı denetiminde yasal ana üretici olarak Türkiye, Hindistan, Avustralya, Fransa, İspanya, Macaristan'da yapılmaktadır. Türkiye ve Hindistan BM teşkilatınca geleneksel, diğer ülkeler ise ticari haşhaş üreticisi ülkeler olarak kabul edilmektedir [44,47]. Şekil 1.15'de 1961-2017 yılları arasında, dünyadaki haşhaş ekim alanı ve üretimi incelendiğinde haşhaş ekim alanlarında yıllara göre büyük farklılıklar olduğu görülmüştür.



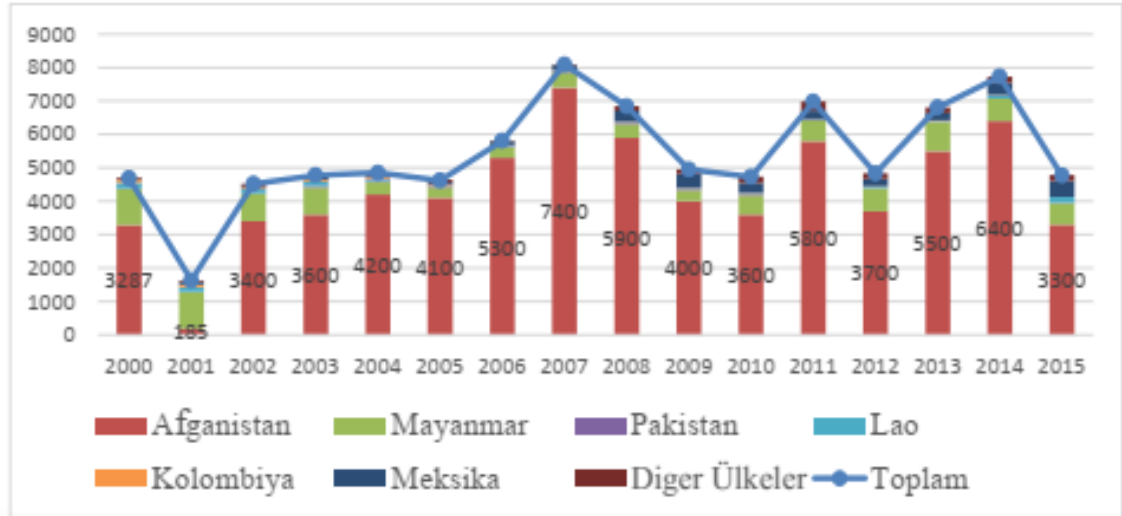
Şekil 1. 15. Dünyadaki haşhaş ekim alanı ve üretim miktarı [48]

Dünya’da haşhaş üretiminin %70’lik kısmı Avrupa kıtasında yapılmaktadır. Dünya’da resmi olarak en çok üretim yapan ilk 3 ülke Çek Cumhuriyeti, Türkiye, İspanya’dır [48]. Şekil 1.16’da Dünya’da en fazla haşhaş üretimi yapan ülkelerin haşhaş tohumu üretim miktarları verilmiştir.



Şekil 1. 16. 2017 yılı Dünya’da en fazla haşhaş üretimi yapan ülkelerin haşhaş tohumu üretim miktarları (ton) [48]

Dünya’nın birçok ülkesinde yasa dışı, kayıtsız bir şekilde haşhaş üretimi yapılmaktadır. Yolsuzluk, yoksulluk, kanun egemenliğini olmaması ve bu ülkelerin 3. Dünya ülkeleri olması ortak özellikleridir. 2014 yılında yaklaşık 8000 ton, 2015 yılında ise yaklaşık 5000 ton yasa dışı haşhaş üretimi yapılmıştır. En fazla yasa dışı haşhaş üretimi yapan ülke Afganistandır [42]. Şekil 1.17’de yasa dışı haşhaş üretim miktarı verilmiştir.



Şekil 1. 17. Yasa dışı haşhaş üretimi (ton) [42]

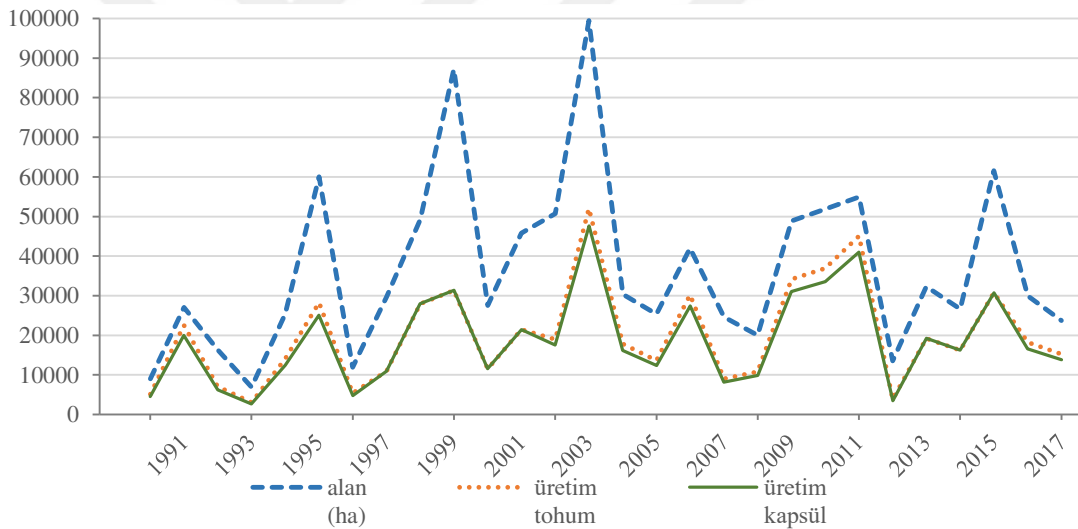
1.5.2. Türkiye’de Haşhaş Üretimi ve Yasal Mevzuatlar

Ülkemizde haşhaş üretimi 1933 yılına kadar tamamen serbest olarak yapılırken 1933 yılında 2253 sayılı kanunla Uyuşturucu Maddeler İnhisar İdaresi kurulmuş [49] ve Bakanlar Kurulu Kararıyla üretim yapılan il 17 ile sınırlandırılmıştır. 1938 yılında TMO’nun kurulmasıyla denetim TMO’ya verilmiştir. 1959’da haşhaş ekim kontrolüne dair 7368 sayılı kanun çıkarılmıştır. Bu yasa ile afyonun tamamen ihraç edilmesi üzerine talepler karşılanamamış ve üretim yapılan il sayısı 1960 Bakanlar Kurulu kararı ile 42’ye çıkarılmıştır. 1970 yılına kadar üretim yapılan il sayısı 7’ye kadar düşürülmüş ve 1971 yılında afyon üretiminin yasadışı uyuşturucu olarak suçlanmasından dolayı devletimiz bu suçlamaların yanlış olduğunu ispatlamak için 7/2654 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile tamamen haşhaş ekimini yasaklamıştır. Bu yasakla birlikte Dünya’da haşhaş ekimi yapan yeni ülkeler ortaya çıkmıştır. Üretim yapan yaklaşık 1,5 milyon çiftçimiz sosyo-ekonomik olumsuzluk yaşamıştır [50,51].

Bütün bu olumsuzluklar göz önüne alınarak 01.07.1974 tarihli 7/8522 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile ilaç ham madde ihtiyacının karşılanması ve çiftçilerin yaşam şartlarının düzenlenmesi için 7 ilde (Afyon, Burdur, Isparta, Denizli, Kütahya ve Uşak illerinin tamamı ile Konya ilinin Akşehir, Beyşehir, Doğanhisar ve Ilgın ilçelerinde) üretim izni vermiştir. 06.12.1974 tarihli 7/9204 sayılı kararname ile haşhaş kapsülünün çizilmesi ile elde edilen afyon üretimi yasaklanarak daha güvenli olan çizilmemiş haşhaş kapsülü üretimine geçilmiştir [46,50].

Ülkemizde haşhaş tarımı 03/06/1986 tarihli ve 3298 sayılı Uyuşturucu Maddelerle ilgili Kanun ile 18/04/1988 tarihli ve 88/12850 sayılı Yönetmelik çerçevesinde yapılmaktadır. Söz konusu Kanun ve Yönetmelik ile yürütülmekte olan haşhaş ekiminin kontrolü, haşhaş kapsülü, ham afyon ve tıbbi afyon üretimi, satın alınması, bunlardan uyuşturucu madde imalatı, yurt içinde satışı ve ihracı konularında Bakanlar Kurulunun 13/04/1987 tarihli ve 87/11703 sayılı kararıyla TMO Genel Müdürlüğü görevlendirilmiş olup hâlen bu görev yürütülmektedir [46].

Ülkemizde Bakanlar Kurulunca haşhaş ekimine müsaade edilen yerlerde Toprak Mahsulleri Ofisi Genel Müdürlüğünce yapılan planlama çerçevesinde Birleşmiş Milletler teşkilatınca ülkemize verilen 700.000 dekar limit dâhilinde haşhaş ekimi ve çizilmemiş kapsül üretimi yaptırılmaktadır [44].



Şekil 1. 18. 1991-2017 yılları Türkiye haşhaş üretimi [38]

Şekil 1.18 1991-2017 yılları arasında ki haşhaş ekim alanları incelendiğinde ekim alanların yıllara göre çok büyük farklılıklar göstermiş olduğu görülmüştür. Türkiye’de en fazla haşhaş tohumu üretimi 2003 yılında 52.000 ton, en az üretim 1985 yılında 2786 tondur [38].

Ülkemizde haşhaş üretimi Afyon, Konya, Denizli, Amasya, Manisa, Uşak, Burdur, Isparta, Eskişehir, Çorum, Kütahya, Balıkesir ve Tokat’ta yapılmaktadır. TUIK 2016 verilerine göre toplam haşhaş ekilen alanın 299.217 dekar, toplam haşhaş tohumu üretiminin 18.205 ton, kapsül üretiminin ise 16.550 ton olduğu belirtilmiştir. Tohumu üretimi için en fazla ekim yapılan il 63.744 dekar ile Afyon, en fazla üretimin ve

verimin olduğu il ise Konya'dır. Detaylı üretim ve verim bilgileri Tablo 1.6'da verilmiştir.

Tablo 1. 6. 2016 yılı iller bazında haşhaş üretimi [52]

		TOHUM		KAPSÜL	
	Ekilen alan(da)	Üretim(t)	Verim(kg/da)	Üretim(t)	Verim(kg/da)
Afyon	63.744	5.046	79	4.586	72
Konya	61.384	5.053	82	4.594	75
Denizli	43.211	1.815	42	1.650	38
Amasya	27.378	1.300	47	1.184	43
Manisa	21.343	700	33	636	30
Uşak	20.907	858	41	780	37
Burdur	14.411	925	64	842	58
Isparta	10.307	554	54	503	49
Eskişehir	10.300	680	66	618	60
Çorum	9.527	465	49	423	44
Kütahya	7.906	409	52	371	47
Balıkesir	5.839	289	49	262	45
Tokat	2.960	111	38	101	34
Toplam	299.217	18.205	61	16.550	55

1.5.3. Haşhaştan Yararlanma Şekilleri

Haşhaşın en önemli iki ürünü kapsülü ve tohumudur. Haşhaş ilk çıktığı zaman yeşillik olarak tüketilmekte ve hasat bittikten sonra kalan saplarda çiftçi tarafından yakacak olarak değerlendirilmektedir [43]. Ayrıca küspesi hayvanlar içinde iyi bir kesif yem olarak değerlendirilmektedir.

1.5.3.1. Kapsülünden Yararlanma

Ülkemizde 1972 yılına kadar haşhaş kapsülleri kesici aletler ile üstü çizilerek afyon elde edilmiştir. 1974 yılında afyonun çizilmesi ve bu şekilde kullanılması yasaklanmıştır [43].

Haşhaş kapsülünü değerlendirmek ve yasal alkaloid üretmek için 1986 yılında Afyonkarahisar ili Bolvadin ilçesine yıllık 20.000 ton çizilmemiş haşhaş kapsülüne sahip Dünya'nın en büyük alkaloid fabrikası kurulmuştur. [43,45]. Morfin ve türevleri kendi ihtiyacımızı karşılamakla birlikte %95'lik kısmı ihraç edilmektedir. İhracatın %85'i ABD olmak üzere birçok ülkeye ihraç edilmektedir. Ülkemiz bu ihracattan 30 milyon \$ döviz girdisi olmaktadır [53]. Ülkemiz Dünya'nın morfin ihtiyacının yıllık %25'ini karşılayabilecek düzeydedir [54].

Haşhaş kapsülünün morfin, kodein, tebain, noskapin ve papaverin gibi tıbbi öneme sahip olan ana alkaloidlerin yanı sıra yaklaşık 30 değişik alkaloid ihtiva ettiği bilinmektedir. Bunlardan türevleri olan katma değerleri yüksek, yarı sentetik ilaç aktif ham maddeleri üretilmektedir. Bu alkaloidlerden morfin, kodein ve tebainin uyuşturucu özelliği olmasına rağmen noskapin ve papaverin uyuşturucu özelliğe sahip değildir. Tıpta; analjezik (ağrı kesici), anestezi (uyuşturucu) ve antitüssif (öksürük kesici) olarak yararlanılmaktadır [44]. Kanseri ve nefrit gibi hastalıkların en ağırlı dönemlerinde kullanılmakta olan morfinin yerini bugün hiçbir madde alamamıştır [55].

1.5.3.2. Tohumundan Yararlanma

Haşhaş tohumları gri-mavi, sarı, beyaz, çiğ kahve ve pembe renklerde olabilmektedir. Türkiye'de en fazla yetiştirilen haşhaşlar sırasıyla beyaz, mavi ve sarı tohumlu çeşitlerdir [44]. Tohumların yağ oranları renklerine göre farklılık göstermektedir. Yağ içeriği en çoktan en aza doğru sırasıyla beyaz, sarı, gri mavi renkli tohumlardır [56].

Haşhaş tohumlarının narkotik özelliği yoktur. Nedeni ise haşhaşı oluşturan kapsül içindeki sıvının tohumlar oluşmadan önce meydana gelmesidir [43].

Tohum gıda sektöründe (pasta, börek, ekmek vb.) yapımında kullanılmaktadır. Tohumundan elde edilen yağ özellikle yöre halkı tarafından yemek yapımında

salatalarda kullanılmaktadır. Ayrıca haşhaş yağı çabuk kuruma özelliğinden dolayı boya, vernik, parfüm üretiminde, sabun ve resim boyası yapımında tercih edilmektedir [43,53]. Haşhaş yağı cildi besleyici etkiye sahip olup, aromaterapide masaj yağı olarak kullanılmaktadır [56].



Şekil 1. 19. Haşhaş kapsülü ve tohumu [57]

Ülkemizde geleneksel olarak tüketilen haşhaş tohumu önemli vitamin ve minerellere sahiptir. Yüksek oranda yağa sahip olan tohumlar; linoleik asit, oleik asit ve omega yağ asitlerince zengin, doymamış yağ asidi bileşimi ile insan beslenmesinde önemli bir kaynak olarak değerlendirilmektedir [58].

Tablo 1. 7. Haşhaş yağı yağ asidi bileşenleri [59]

Yağ Asidi Bileşenleri	Analiz Sonuçları %
C16:0 (palmitik asit)	9,073
C16:1 (palmitoleik asit)	0,137
C18:0 (stearik asit)	2,267
C18:1 (oleik asit)	14,793
C18:2 (linoleik asit)	72,936
C18:3 (linolenik asit)	0,587
C20:0 (araşidik asit)	0,13
C20:1 (eikosenoik asit)	0,077

Tohumlar ortalama %42-58 sınırları içerisinde yağ içermektedir. Haşhaş tohumunun büyük bir kısmını (%50) sabit yağ oluşturmaktadır. Ayrıca %20,3'ünü ham protein, %0,687'sini ağır metaller ve besi elementleri, %6'sını nem, %5,7'sini kül ve %15,813'ünü diğer bileşikler oluşturmaktadır [43]. Haşhaş tohumunda bulunan kalsiyum, potasyum, magnezyum, fosfor, kükürt, demir gibi elementler ana mineral maddeler olup, kadmiyum ve kurşun gibi ağır metalleri içermemektedir [60].

Tablo 1. 8. Haşhaş yağı mineral içeriği [61]

<i>Mineral</i>	<i>Madde Miktarı (mg/kg)</i>	<i>Mineral</i>	<i>Madde Miktarı (mg/kg)</i>
Alüminyum	19,6	Magnezyum	4256
Bor	30,3	Manganez	56,1
Baryum	118	Azot	8,7
Bizmut	3	Sodyum	4,6
Kalsiyum	10,583	Fosfor	5795
Krom	6,34	Kükürt	2113
Bakır	14	Selenyum	2,9
Demir	91	Stronsiyum	71
Potasyum	5906	Vanadyum	13,9
Lityum	0,1	Çinko	43

1.5.3.3. Küspesinden Yararlanma

Haşhaş tohumlarının yağı alındıktan sonra arta kalan küspe protein, yağ ve azotsuz öz maddelerce zengin olup hayvan yemi olarak değerlendirilir [53]. Haşhaş küspesi ortalama olarak %36 ham protein ve %12 civarında ham yağ içermektedir. Haşhaş küspesi ile beslenen süt hayvanlarının sütlerinde yağ oranı artmaktadır [62]. Ayrıca haşhaş küspesi kasaplık hayvanların semirtilmesinde kullanılmaktadır [43].



Şekil 1. 20. Haşhaş küspesi

Tablo 1. 9. Haşhaş küspesinin kimyasal yapısı [43]

Analiz	Ağırlıkça %
Su	10,8
Ham protein	36,6
Ham yağ	7,9
Hazmolabilir protein	30,4
Azotsuz öz maddeler	11,6
Ham selüloz	21,6
Hazmolabilir besin maddeleri	62,3
Kül	12,4

1.6. Bitkisel ve Hayvansal Yağların Yakıt Özelliklerini İyileştirme Yöntemleri

Yağların içten yanmalı motorlarda direk olarak uzun süre kullanmak yüksek viskozite ve yüksek molekül ağırlığından dolayı mümkün değildir. Direk olarak kullanımlarda filtre ve enjektörlerde tıkanma, yağlama yağında bozulmalara olmaktadır [63].

Yağları motorlarda kullanmak için araçta bir takım değişiklikler yapmak yada yağın viskozitesinin düşürülmesi gerekmektedir. Yağların viskozitelerinin düşürülmesi için kimyasal yöntem ve ısıl yöntem olmak üzere iki yöntem vardır. Isıl yöntem yağın ön ısıtma işlemi ile ısıtılarak viskozitenin azaltılması amaçlanmaktadır. Isıl yöntemlerde hareketli parçaların çıkarabileceği problemlerden dolayı daha çok kimyasal yöntemlere başvurulmaktadır [64].

1.6.1. Seyreltme

Seyreltme tekniği yağın belirli oranlarda motorin veya organik bileşiklerle karıştırılarak viskozite dışurma yöntemidir. Bu yöntem diğer yöntemlere göre daha ekonomik ve kolay bir yöntemdir. Atık yağlar, ay ı eği, yer fıstığı, kolza gibi yağlar seyreltme yönteminde en fazla tercih edilen yağlardır [64]. Ay ı eği yağı viskozitesi dış r lmesi için bütanol, aseton ve etanolle eşit oranda karıştırılmaktadır [65].

Yapılan bir çalışmada viskozite değeri 38  C’de 120,9 Redwood/saniye olan ay ı eği yağı ile dizeli %20, %50 ve %70 oranında karıştırarak sırasıyla viskozite değerini 35,5, 48,8 ve 64,7 Redwood/saniye olarak tespit etmiş ve bu seyreltilmiş yakıtları içten yanmalı motorlarda başarılı bir şekilde kullanmıştır [66].

1980 yılında Güney Afrika’ya uygulanan petrol ambargosu nedeniyle kullanılmış ay ı ek yağı filtrasyon işlemi yapıldıktan sonra %95-%5 oranında karışımlar elde edilerek kullanılmıştır. Doğrudan enjeksiyonlu bir motorda %25 ay ı ek yağı , %75 motorin karışımı test edilmiş ve uzun süre kullanım için uygun bir yakıt olmadığı vurgulanmıştır [67].

1.6.2. Mikroemülsiyon Oluşturma

Bitkisel yağların viskozitesini dış rmek için izlenen bir diğer yol da metanol, etanol gibi kısa zincirli alkollerle mikroemülsiyon oluşturma’dır. Mikroemülsiyon, boyutları 1-150 nm arasında olan optikçe izotropik sıvı mikro yapılarının denge dağılımı olup, normalde karışmayan iki sıvı ve bir ya da daha fazla aktif maddenin bir araya gelmesi ile oluşur. Bu yöntemle elde edilen yakıtların viskozitelerinde azalmalar ve püskürtme karakteristiklerin de iyileşmeler gibi olumlu sonuçlar kaydedilmiş olmasına rağmen, bu yakıtların bünyelerinde bulundurdıkları alkol nedeni ile setan sayılarında ve ısıl değerlerinde azalmalar olmakta ve dolayısıyla motor performansları olumsuz yönde etkilenmektedir [68].

1.6.3. Piroliz

Piroliz moleküllerin yüksek sıcaklıkta oksijensiz ortam daha küçük moleküllere parçalanmasıdır. Bu yöntem soğuk akış özelliklerin iyileştirilmesi ve viskozite değerlerinin dış r lmesi açısından avantajlı olmakla birlikte yüksek maliyeti dezavantajdır [25,69]. Piroliz yöntemi deneneni bir çalışmada soya yağının %11,8

hidrojen ve %79 karbon içerdiği piroliz işleminde 38°C deki viskozitenin 32,6 mm²/s'den 10,2 mm²/s düştüğü, setan sayısının 37,9 dan 43 çıktığı belirtilmiştir. Ayrıca kül, karbon kalıntısı ve akma noktasının istenilen düzeyde olmadığı belirtilmiştir [25].

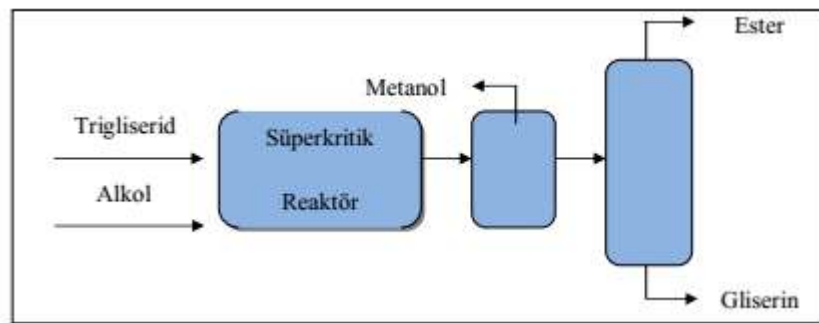
1.6.4. Süper Kritik Yöntem

Bu yöntem katalizör kullanmadan 250 °C gibi yüksek sıcaklıklarda, 240 saniye gibi kısa bir sürede gerçekleşmektedir. Burada reaksiyon için kullanılacak alkolün kritik basıncı ve kritik sıcaklığı önemli bir parametredir [25].

Tablo 1. 10. Alkollerin kritik sıcaklık ve kritik basınç değerleri

Alkol	Kritik Sıcaklık (°C)	Kritik Basıncı (MPa)
Metanol	239,2	8,1
Etanol	243,2	6,4
1- Propanol	264,2	5,1
1- Bütanol	287,2	4,9

Süper kritik sıcaklıkta çalışmanın ana fikri, basınç ve sıcaklık arasındaki ilişkinin etkisiyle çözücünün (metanol) dielektrik sabiti, viskozite, yoğunluk ve polarite gibi özelliklerini reaksiyon için uygun hale getirmektir. Örneğin, kimyasal reaksiyonların en önemli parametresi olan iyoniklik, basınç artırılarak iyileştirilebilir. Bu yüzden bitkisel yağların süper kritik metanolle muamelesinde, metanolün reaktif olarak davranmasının yanında asidik katalizör gibi davranması da beklenir. Buna ek olarak süper kritik şartlarda metanolün dielektrik sabiti bitkisel yağın dielektrik sabitine çok yaklaştığı için homojen bir karışım meydana gelir. Şekil 1.21'de süper kritik yöntem ile biyodizel üretim sistemi görülmektedir. [25]

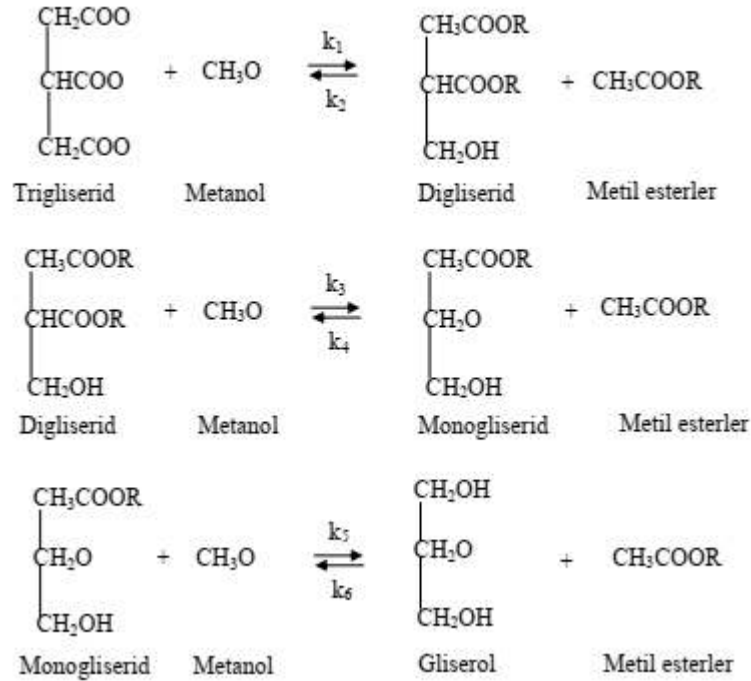


Şekil 1. 21. Süper kritik yöntem ile biyodizel üretim sistemi

1.6.5. Transesterifikasyon

Transesterifikasyon yöntemi yağların yakıt özelliklerini iyileştirmede en fazla kullanılan yöntemdir. Bu yöntemin diğer adı alkoliz reaksiyonudur. Transesterifikasyon genel anlamdaki tanımıyla bitkisel, hayvansal ve bunların atık yağları ile mono hidrik kısa zincirli bir alkolle, bir katalizör eşliğinde yeniden esterleşme işlemidir [70]. Eğer reaksiyon işleminde alkol olarak etanol kullanılırsa tepkimeye etanoliz ve elde edilen ürüne yağ asidi etil esteri denir, metanol kullanılırsa metanoliz ve ürün yağ asidi metil esteri, bütanol kullanılırsa da ürün yağ asidi bütül esteri olarak adlandırılır [20,71].

Reaksiyonda üç mol alkol ile bir mol trigiliseritin reaksiyona girmesi sonunda üç mol ester ve bir mol gliserol oluşur. Transesterifikasyon reaksiyonu, arka arkaya gerçekleşen 3 tersinir reaksiyondur. İlk olarak trigliseridlerden digliserid, sonra digliserididen monogliseride en son aşamada da monogliserididen gliserol ve ester elde edilir [20].



Şekil 1. 22. Transesterleşme tepkimesinin basamakları [72]

Tablo 1. 11. Yağların yakıt özelliklerini iyileştirme yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları [73]

Metot	Avantajı	Dezavantajı
Seyretlme	Yenilenebilir,kullanıma hazır, portatif, doğal sıvı	Yüksek viskozite, düşük uçuculuk, Doymamış hidrokarbon zincirlerin reaktifliği
Mikroemülsiyon	Yanma sırasında daha iyi spreyleme, düşük yakıt viskozitesi	Düşük setan sayısı, düşük enerji içeriği
Piroliz	Petrol türevi yakıtlar benzin ve dizele kimyasal benzerlik	Yüksek enerjiden dolayı maliyet yüksek
Transesterifikasyon	Yenilenebilirlik, yüksek setan sayısı, düşük emisyon yüksek yanma verimi	Üründen gliserol ve suyun ayrılma güçlüğü

1.7. Transesterifikasyon Reaksiyonuna Etki Eden Parametreler

1.7.1. Serbest Yağ Asidi ve Nem Oranının Etkisi

Bazik katalizör kullanımında yağ içindeki su miktarı ve serbest yağ asidi miktarı önemlidir. Serbest yağ asitleri %1'den az olmalıdır. Reaksiyon öncesi yağ sudan arındırılması ve saf alkoller tercih edilmelidir. Su reaksiyon sırasında sabun oluşumuna neden olmaktadır. Bu durum viskozitenin artmasına, gliserolün esterlerden zor ayrılmasına ve katalizörün aktivite kaybına neden olmaktadır [74,75].

1.7.2. Katalizörün Etkisi

Bitkisel yağın parçalanması, trigliseridlerin ayrıştırılması ve reaksiyonun hızlandırılması için katalizör kullanılmaktadır [76]. Trigliseridler esterlerden ayrıştırıldıktan sonra alkol molekülleri ile ayrıştırılan esterler bağ yaparlar. Sodyum hidroksit (NaOH) ile potasyum hidroksit (KOH) biyodizel üretimi için en fazla kullanılan katalizörlerdir [77].

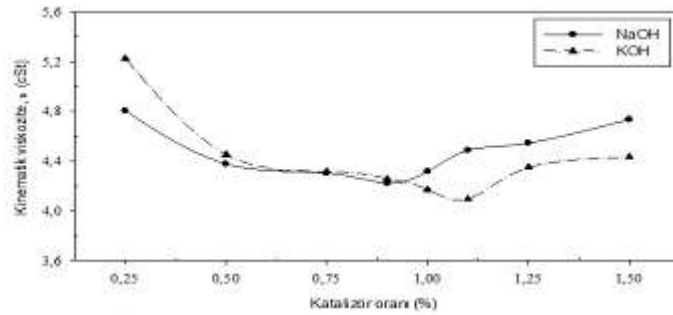
Katalizörler asit, baz ve enzim olarak sınıflandırılmaktadır. Kullanılan asitler; hidroklorik asit, fosforik asit, sülfürik asit ya da sülfonik asitdir. Baz katalizörler ise; sodyum hidrid, sodyum amid, sodyum hidroksit, sodyum metoksit, potasyum hidroksit, potasyum metoksit, potasyum amid ve potasyum hidridir [74].

Baz katalizörler asit ve enzime kıyasla çok daha hızlıdır. Reaksiyon için aynı oranda asit ve baz katalizör kullanıldığında, baz katalizör asite göre 4000 kat daha hızlı

reaksiyon gerçekleşir. Ayrıca reaksiyon için oda sıcaklığı baz katalizörde yeterli olurken asit katalizörler daha fazla sıcaklığa ihtiyaç duymaktadır. Baz katalizör tercih edildiğinde katalizör miktarın yağın kütleli olarak %0,1-1 olması yeterli olurken asit katalizörlerde bu oran %3-5 arasındadır. Ayrıca baz katalizörler, asit katalizöre göre alkole daha az ihtiyaç duymaktadır [71].

Enzim katalizörlü reaksiyonda, yağların yağ asitlerine parçalayan enzim olan lipaz kullanılmaktadır. Enzimin yapısının bozulmaması için reaksiyon sıcaklığı (30-40 °C) düşük olmalıdır. Diğer katalizörlere göre daha çevrecidir [64].

Katalizör oranı arttıkça viskozite azalmaktadır. Viskozite en düşük noktaya geldikten sonra katalizör oranı arttırıldığında viskozite yükselmeye başlamaktadır. Fazla miktardaki katalizör sabunlaşmaya neden olmaktadır. Bu durum biyodizel veriminin azalmasına ve viskozitenin artmasına neden olmaktadır [79].



Şekil 1. 23 Katalizör oranının kinematik viskoziteye olan etkisi [79]

1.7.3. Alkolün Etkisi

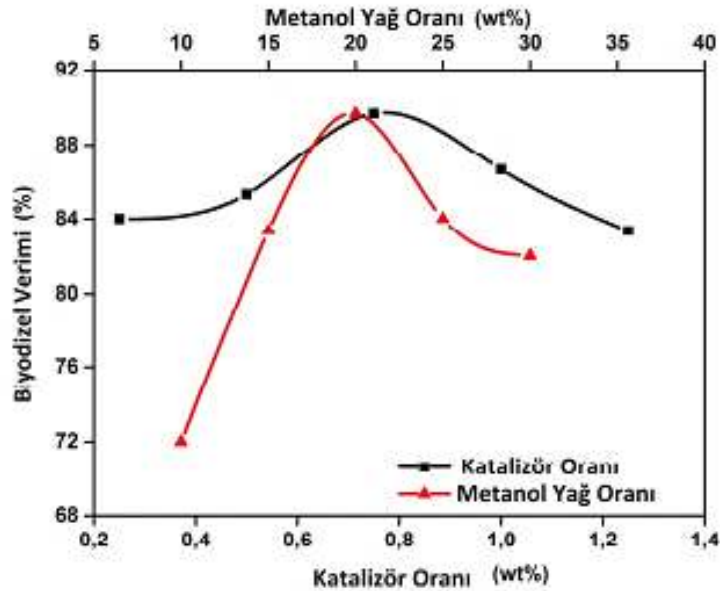
Transesterifikasyon reaksiyonun da genellikle metil, etil, propanol ve bütanol gibi kısa zincirli alkoller kullanılmaktadır. En yaygın olarak kullanılan alkol etanol ve metanoldür. Düşük fiyatı, fiziksel ve kimyasal avantajları (kısa zincirli ve polar olması) nedeni ile genellikle metanol kullanılmaktadır. Ayrıca kısa zincirli bu alkoller trigliseridlerle çok çabuk reaksiyona girer ve NaOH bu alkoller içinde kolayca çözünür [25].

1.7.4. Alkol/Yağ Oranın Etkisi

Biyodizel üretiminde verimi etkileyen en önemli faktörlerden biride alkol/yağ oranıdır. Stokiyometrik transesterifikasyon reaksiyonu 1 mol gliserid ile 3 mol alkol

reaksiyona girerek 3 mol yağ asidi ile 1 mol gliserol oluşturur [80]. Yüksek molar oranlı reaksiyonlarda çok daha kısa sürede daha yüksek oranda ester dönüşümü gerçekleşmektedir. Alkol oranı katalizöre göre reaksiyona olan etkisi daha fazladır [75].

Yapılan çalışmada %0,75 katalizör oranı, 90 dakika, 60°C de, alkol oranının %10-15-20-25-30 farklı oranları denemişlerdir. %10 alkol oranından %20 alkol oranına kadar biyodizel veriminden bir artış olmuştur. En yüksek verim %20 alkol oranı olmuş ve %20 den itibaren verimde düşüş olmuştur [78]. Yüksek miktarda ki alkol gliserol fazının zor ayrışmasına ve gliserolün ortamda çözünmesine neden olmaktadır. Bu durumda reaksiyonun verimi azaltırken viskozitenin artmasına neden olmaktadır [79].

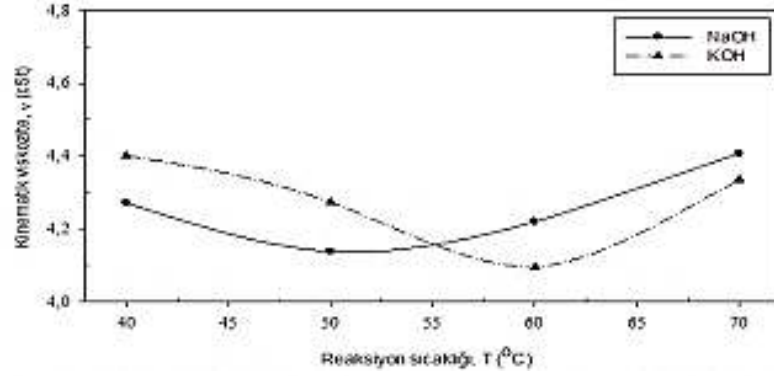


Şekil 1. 24. Katalizör oranı ve metanol yağ oranının biyodizel verimine etkisi [78]

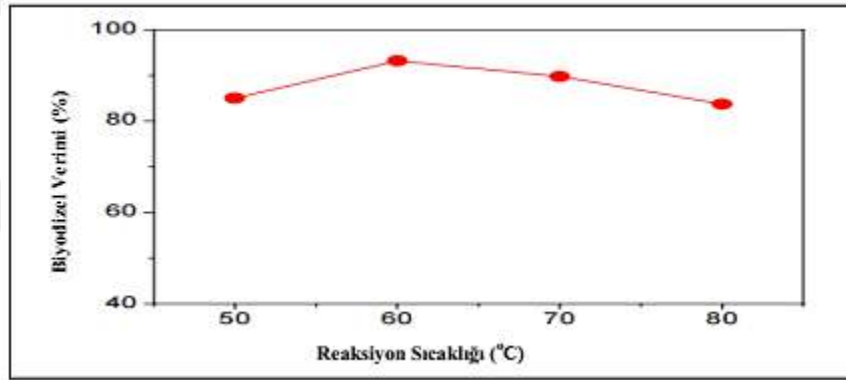
1.7.5. Sıcaklığın Etkisi

Transesterifikasyon reaksiyonu yağa ve kullanılan alkole bağlı olarak farklı sıcaklıklarda gerçekleşir. Oda sıcaklığında reaksiyon gerçekleşebilmektedir. Sıcaklığın yüksek olması reaksiyonu hızlandırır ve reaksiyon süresini kısaltır. Reaksiyon sıcaklığı genelde alkolün kaynama sıcaklığına yakın sıcaklıklar tercih edilir [74]. En yüksek reaksiyon verimi genellikle alkolün kaynama noktasına yakın sıcaklıklarda olmaktadır. Sıcaklık alkolün kaynama noktasını geçtikten sonra alkol

buharlaşmaya başlamaktadır. Bu durum viskoziteyi artırmakta ve reaksiyon veriminin düşmesine neden olmaktadır [79].



Şekil 1. 25. Reaksiyon sıcaklığının kinematik viskoziteye olan etkisi [79]



Şekil 1. 26. Reaksiyon sıcaklığının biyodizel verimine olan etkisi [80]

1.7.6. Sürenin Etkisi

Reaksiyon süresinin kısa olması, transesterifikasyon reaksiyonu için yeterli olmadığından biyodizel veriminin düşük ve viskozitelerin yüksek çıkmasına neden olmaktadır. Reaksiyon süresi uzadıkça verimi artmakta ve viskozite değerleri düşmektedir [79]. Bununla birlikte reaksiyon tersinir olduğundan optimum süre aşıldığında ortamdan uzaklaştırılamayan gliserolden dolayı reaksiyon ters yönde ilerlemeye başlar. Buna bağlı olarak verimde düşüş meydana gelir [26].

1.8. Biyodizel

Biyodizel yenilenebilir kaynaklardan üretilen dizel yakıtı alternatif olarak kullanılabilir bir yakıttır. Biyodizeli kullanılmış veya kullanılmamış bitkisel ve hayvansal yağların bir alkol ve katalizör eşliğinde tepkimeye sokulması sonucu açığa

ıkan evre dostu ve yenilenebilir sıvı haldeki biyoyakıt olarak tanımlayabiliriz [81,82,83]. Biyodizeli dizelden ayıran en büyük özelliği fosil kökenli olmayıp yenilenebilir olmasıdır. Biyodizelin dizele göre daha fazla oksijen içermesi, aromatik hidrokarbon ve kükürt içermemesi biyodizeli dizelden ayıran özelliklerden bazılarıdır. Biyodizel saf olarak veya dizelle belirli oranlarda karıştırılarak kullanılabilir [84].

1.8.1. Dünya’da Biyodizel ve Biyodizelin Tarihsel Gelişimi

Politik, ekonomik değişimler biyolojik yakıtların tarihsel gelişimini etkilemiştir. 1800’l yıllardan itibaren transesterifikasyon reaksiyonu ile gliserol üretimi yapılmaktaydı fakat buradaki asıl amaç gliserol elde etmek olduğu için elde edilen metil esterler veya etil esterler (biyodizel) yan ürün olarak karışımıza çıkmaktadır [81,85].

Bitkisel yağ ve türevlerinin yakıt olarak kullanımı 1898’te Paris Dünya Fuar’ında dizel motor mucidi Rudolf Dieselin, dizel motoru fıstık yağı ile çalıştırmasıyla başlamıştır. Rudolf Diesel bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasının tarıma olumlu yönde katkı sağlayacağını, ileride önemi artacağını belirtmiştir [81,85].

Henry Ford’da Rudolf Diesel gibi biyoyakıtların ulaşıım sektörü için önem kazanacağını düşünerek 1908’den sonraki üretilen otomobillerin etanol kullanımına uygun olmasını göz önünde tutmuştur [81,86].

Bitkisel yağlar 1920’lere kadar yakıt olarak kullanılmaya devam etmiştir. Bu yıllarda petrol artığı olan ve No:2 Dizel olarak adlandıran yakıt gündeme gelmiş, motorlar bu yakıtlara uyumlu olacak şekilde geliştirilmiştir. Dizelin bulunabilirliği, devlet desteği ve daha ucuz olmasında dolayı tüketiciler dizeli tercih etmeye başlamıştır [85].

St Petersburg’da bitkisel ve hayvansal yağlar dizel motorlarda denenmeye devam etmiştir. Gerekli yağların büyük bir kısmı Afrika’daki sömürge ülkelerinden karşılanmıştır. I. Dünya Savaşıında bitkisel yağlar acil durum yakıtı olarak kullanılmıştır. ABD bu zamanda Ohio State niversitesinde dizel ile pamuk ve mısır yağlarını karıştırılıp kullanılmasına dair alışıım yapmıştır [81,87].

Bugün biyodizel olarak bilinen yakıt ile ilgili ilk resmi doküman, 31 Ağustos 1937’de Brüksel niversitesi’nden G. Chavanne tarafından 422.87 patent numarası ile yapılan

çalışmadır. Bu çalışmada biyodizel; palm yağı etil esteri olarak tanımlanmıştır [87,88,89]. Burada asit katalizörlü transesterifikasyon yöntemi kullanılmıştır. Üretilen yakıt 1938 yazında Brüksel ile Leuven arasında çalışan ticari araçlarda kullanılmıştır [87].

Zaman zaman yaşanan petrol krizleri bitkisel yağların yakıt olarak kullanıma ihtiyacını ortaya çıkarıp gündem oluştursa da bu konuyla ilgili yoğun çalışmalara 1970 petrol krizinden sonra başlamıştır [81,87]. 1973 yılında ortaya çıkan OPEC'in petrol ambargosu üzerine çeşitli ülkeler, ülke dövizlerini kaybetmeme, milli kaynaklardan maksimum yararlanma ve tarımsal kaynakları en iyi şekilde değerlendirmeye başlayarak enerji krizlerine karşı hazırlıklı olmaya çalışmışlardır [81].

ABD'de 1980'lerden itibaren bitkisel yağların dizel yakıtı alternatif olabileceğine dair çalışmalar üniversitelerde ve araştırma enstitülerin dışında John Dere, International Harvester, Caterpillar ve Perkins motor imalatçıları da yapmıştır [87,90].

1982 Avusturya Tarım ve Orman Bakanlığı yardımıyla yapılan çalışmalarda kolza biyodizelinin dizele iyi bir alternatif olduğu tespit edilince ülkenin tarımsal fazlasının kolza ve ayçiçeği üretimine çevirerek 2000 yılına kadar yetecek bitkisel yağ elde etmek istemişlerdir [87].

1988 yılında basılan bir makalede etil ya da metil esteri ismi yerine ilk kez biyodizel olarak isimlendirilmiştir ve bu terim dünya da yaygınlaşmaya başlamıştır [88].

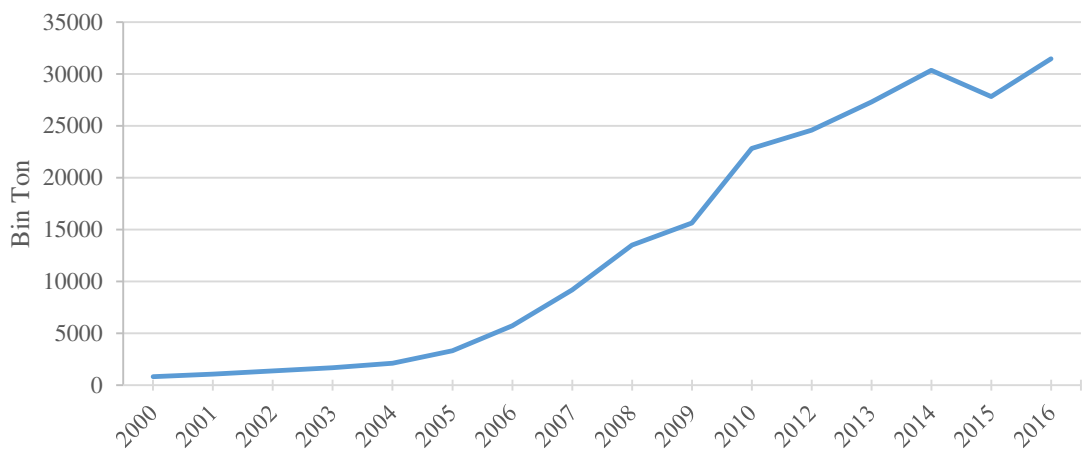
Körfez savaşının 1990 çıkmasıyla petrol fiyatlarında artış yaşanmıştır. Avrupa'nın iki büyük ülkesi Almanya ve Fransa önderliğinde biyodizel üretimi artmıştır [81].

İtalya'da endüstriyel ölçüde üretilen ilk biyoyakıt Diesel- Bi firması tarafından kolza, soya ve ayçiçek yağından üretilen biyodizeldir. Bu yakıtlar İsviçre'nin Zürih kentinden 1991 yılından itibaren belediye otobüslerinde kullanılmış ve bu yakıtın çevre kirliliğine tesir edebilecek emisyon testleri de yapılmıştır [81,87]. Aynı yakıt İtalya, Almanya, Fransa ve Avusturya'da da çeşitli tip dizel motorlu taşıtlarda denenmiş ayrıca Milano -İtalya'da bulunan Montedisan Holding genel müdürlük binası bu yakıt ile ısıtılmıştır [87,90].

2009 yılında ise Japon hava yolları %50 biyodizel içeren dizel biyodizel karışımı ile uçuş yapmıştır. Ayrıca ABD savaş uçaklarında %50 biyodizel içeren jet yakıtları kullanılarak uçuşlar yapmıştır [91].

Kyoto Protokolünün 1997 yılında imzalanması ile gelecekte biyoyakıt kullanımıyla ilgili toplumsal şuurun oluştuğu görülmüştür [81]. AB'nin yayımlamış olduğu biyoyakıt direktifi ile 2010 yılında ulaştırmada kullanılan yakıtın %5,75 biyoyakıttan karşılanması hedeflenmiştir. 2009 yılında yeni bir direktifle bu hedef 2020 için %10 olarak revize edilmiş ve bu hedeflere ulaşmak için vergi indirimi uygulanmaktadır [36,81]. Avrupa ülkelerinin bazıları; İsveç, Polonya, Slovakya, Çek Cumhuriyeti, Fransa, Almanya, İtalya, İrlanda, Norveç biyodizeli yasal olarak vergiden muaf tutulmuştur [25]. Ayrıca Arjantin %10, Brezilya %8, Hindistan %15, Endonezya %20, Malezya %10, Paraguay %1, Tayland %7 oranında dizele biyodizel karıştırmaktadır [92].

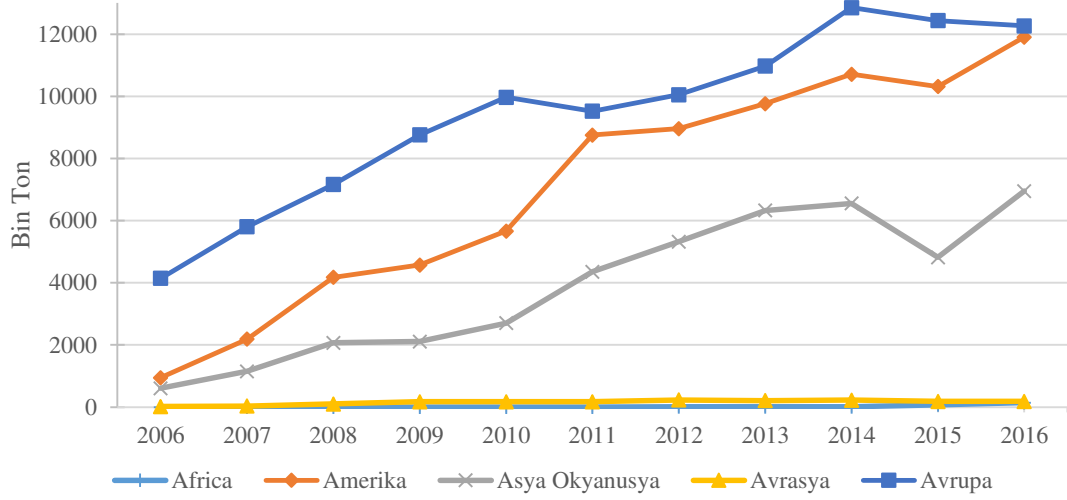
Biyodizelin yenilenebilir bir enerji olması, dizele göre daha çevreci olması ve diğer avantajları ile birlikte biyodizel büyük bir ivme kazanmıştır. 2000 yılından itibaren gerek teşvik ve gerekse vergi indirimleriyle beraber Dünya biyodizel üretiminde artış olmuştur. 2000 yılında biyodizel üretimi 803.000 ton iken bu rakam 2016 yılında yaklaşık 40 katına çıkarak 31.446.000 ton olmuştur [93].



Şekil 1. 27. Dünya biyodizel üretimi [93]

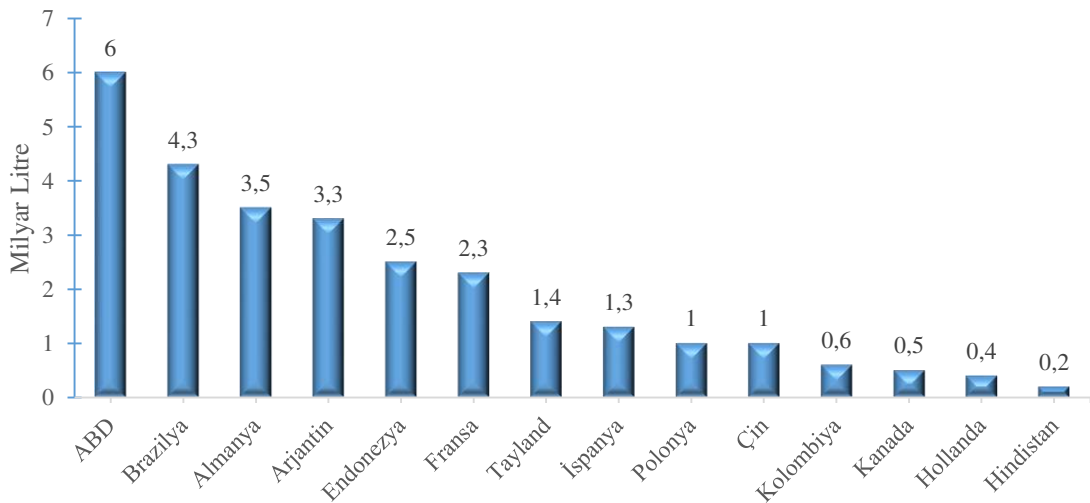
Biyodizel üretimini bölgesel olarak değerlendirdiğimizde en fazla üretim Avrupa'da en az üretim ise Afrika'da yapılmıştır. Avrupa'da 2016 yılında 12.265.000 ton biyodizel üretimi yapılmıştır. Dünya'da biyodizel üretimin yaklaşık %75'lik kısmı

Avrupa ve Amerika kıtasında yapılmaktadır [93]. 2006-2016 yıllar arasında bölgesel biyodizel üretimi grafiği Şekil 1.28’de verilmiştir.



Şekil 1. 28. 2006-2016 yıllar arasında bölgesel biyodizel üretimi [93]

2017 yılında küresel biyodizel üretimi %1 artarak 36,6 milyar litre olmuştur [92]. 2027 yılı için bu rakam yaklaşık 40 milyar litre olarak tahmin edilmektedir [94]. 2017 yılında Dünya’da en fazla biyodizel üretimi yapan ilk 5 ülke sırasıyla ABD, Brezilya, Almanya, Arjantin ve Endonezya olmuştur. Almanya Avrupa’nın en büyük biyodizel üreticisi olmuştur. 2017 yılında ABD, Brezilya, Arjantin’de biyodizel üretimi artarken Endonezya’da ise üretim düşmüştür [92].



Şekil 1. 29. 2017 yılında en fazla biyodizel üretimi yapan ilk 15 ülke [92]

Tablo 1. 12. 2013-2016 yılları arasında ülkeler bazında biyodizel üretim verileri (ton) [92]

	2013	2014	2015	2016	2015 Yılına Göre Artış %
Arjantin	1998	2605	1825	2459	34,74
Avusturya	177	264	346	290	-16,18
Belçika	307	456	254	241	-5,12
Brezilya	2553	2996	3444	3335	-3,16
Kanada	110	267	271	380	40,22
Çin	944	991	477	439	-7,97
Kolombiya	500	513	508	446	-12,20
Çek	182	220	169	149	-11,83
Finlandiya	359	403	490	124	-74,69
Fransa	2189	2385	2465	2295	-6,90
Almanya	3031	3457	3143	3176	1,05
Yunanistan	157	161	152	157	3,29
Macaristan	143	136	149	159	6,71
Hindistan	112	115	124	130	4,84
Endonezya	2450	2625	1032	3208	210,85
İtalya	459	580	577	558	-3,29
Güney Kore	348	369	413	485	17,43
Malezya	444	203	394	368	-6,60
Hollanda	1375	1720	1629	1462	-10,25
Filipinler	136	150	179	198	10,61
Polonya	657	742	790	902	14,18
Portekiz	307	337	361	336	-6,93
Romanya	137	110	150	171	14,00
Singapur	762	762	965	916	-5,08
İspanya	734	1217	1117	1366	22,29
Tayland	945	1024	1094	1088	-0,55
İngiltere	270	144	150	346	130,67
ABD	4503	4236	4184	5193	24,12

1.8.2. Türkiye’de Biyodizel

Türkiye’de ilk biyodizel çalışması 1934 yılında Atatürk Orman Çiftliğinde “ Tarım traktörlerinde bitkisel yağın yakıt olarak kullanılması” başlığıyla toplanmıştır. Toplantının gerekçesi ise ileri görüşlülüğe ve askeri strateji dayanarak “ Her memleket harp veya buna mümasil fevkalade bir vaziyet karşısında harici yardımından kurtularak mümkün mertebe kendi hudutları dâhilindeki membaalardan elde edebileceği madde-i müşterilerle ihtiyacını temin etmek lüzumunu ehemmiyetle hissetmiştir.” olarak açıklanmıştır [96].

II. Dünya Savaşı sonrası petrol üretimindeki artış dizelin düşmesine sebep olmuş ve biyodizele olan ilgi azalmıştır. 1973 yılındaki ekonomik kriz ve petrol fiyatlarındaki artış biyodizele olan ilgiyi tekrar artırmıştır. 2003 yılında Enerji Bakanlığı Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü biyodizel konusunda çalışmalar başlatmış ve müdürlük arazilerinde biyodizel üretmek amacı ile aspir yetiştirmektedir [87].

Biyodizel olan ilginin artmasıyla birlikte devlet işletmeleri kayıt altına alabilmek için işletme lisansı zorunluluğu getirmiştir ve ÖTV ile vergilendirerek yönlendirme politikası başlatmıştır. Biyodizele gelen ÖTV ile birlikte üreticiler maliyetlerin kurtarmadığını belirterek lisanslarını iptal ettirmiş ve biyodizel üretimi duraklamıştır. 2005 yılında 80 işletmeye biyodizel işletme lisansı almıştır [10]. 2006 yılında biyodizel üreten firma sayısı 286’ya yükselmiştir ve kurulu güç kapasitesi 2,3 milyon tondur [107]. 2018 yılında ise işletme lisansına sahip sadece 14 işletme kalmıştır. Bu işletmelerin 1,5 milyon ton biyodizel üretim kapasitesi olmasına rağmen büyük bir kısmı atıl durumdadır [10].

Tablo 1. 13. 2007 yılı sonrası lisanslı biyodizel üreticileri [10]

İşletme Adı	Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	Tesis İli
Çevrem Alternatif Enerji Biyodizel ve Petrol Ürünleri Gıda Sanayi Ticaret Limited Şirketi	15.02.2007	15.02.2019	GAZİANTEP
Ömer Bucak İnşaat Taahhüt Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi	22.02.2007	22.02.2019	ŞANLIURFA
Piteks Petrol İnşaat Tekstil Gıda Kimya Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi	1.03.2007	1.03.2019	İSTANBUL
DB Tarımsal Enerji Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	20.09.2007	20.09.2019	İZMİR
Deha Bitkisel Atık Yağ Toplama Geri Kazanım Biyodizel Üretimi Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	30.09.2014	30.09.2026	KOCAELİ
Aves Enerji Yağ ve Gıda Sanayi Anonim Şirketi	25.12.2014	25.12.2026	MERSİN
TBE Biyodizel Tarımsal Enerji Üretimi Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	16.04.2015	16.04.2027	KOCAELİ
Maysa Yağ Sanayi Anonim Şirketi	5.10.2016	5.10.2028	İSTANBUL
Kolza Biyodizel Yakıt ve Petrol Ürünleri Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	1.12.2016	1.12.2028	İSTANBUL
Özgür Geri Kazanım ve Yağ Sanayi Ticaret Limited Şirketi.	16.05.2017	16.05.2029	ANKARA
Biodizel Enerji Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	3.08.2017	3.08.2029	TEKİRDAĞ
Öz-Ova Tar.Ür.Çır.Pre.Teks.Köm.Oto.Nak. Biyodizel Akaryakıt Tur. Gıda İnş. İt.İhr Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi	13.12.2017	13.12.2029	HATAY

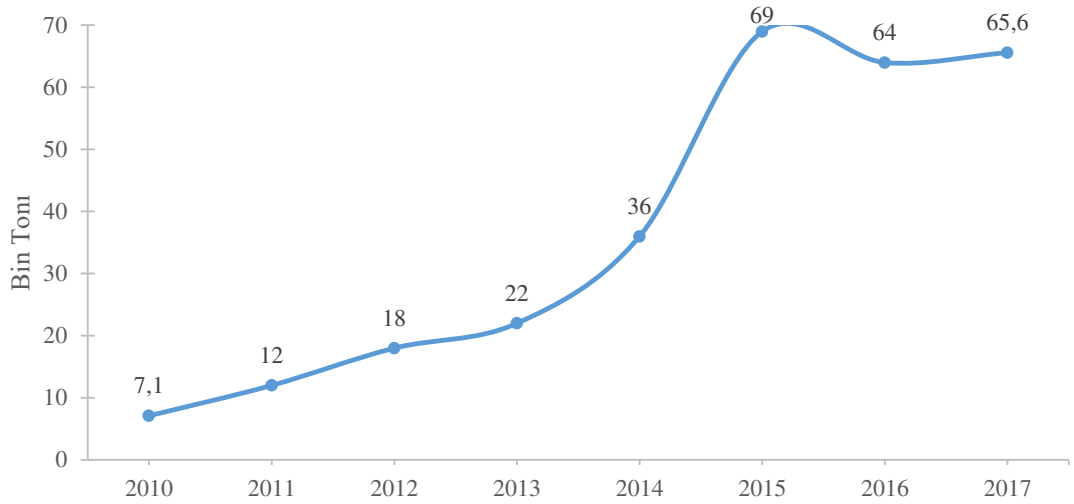
Ülkemizde 2011 yılında resmi gazetede yayınlanan 28067 sayılı “Motorin Türlerine İlişkin Teknik Düzenleme Tebliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ” ile dizele;

2014 yılında en az %1 (v/v),

2015 yılında en az %2 (v/v),

2016 yılında en az %3 (v/v), oranında biyodizel karıştırılması kararlaştırılmıştır [97].

2017 yılında resmi gazetede yayınlanan 30098 sayılı “Motorin Türlerine Biodizel Harmanlanması Hakkında Tebliğ” ile bu oran en az %0,5 olarak tekrar düzenlenmiştir [118].



Şekil 1. 30. 2010-2017 Türkiye biyodizel üretimi [93,98]

Ülkemiz biyodizel üretiminde 2010 yılından itibaren genel anlamda bir artış göstermektedir. EPDK raporuna göre 2017 yılında dağıtıcıya teslim edilen biyodizel miktarı 65603,5 ton olmuştur. 2017 yılında 24.166.320 ton dizel satılmıştır [98]. Yeni düzenleme ile satılan dizel dikkate alınırsa 120.831 ton biyodizelin dizele karıştırılması gerekmektedir. 2017 yılında akaryakıt dağıtıcısına dağıtılan biyodizel ile karıştırılması gereken biyodizel kıyaslanırsa yaklaşık 55.000 ton daha biyodizele ihtiyaç vardır.

Tablo 1. 14. Dağıtıcıya teslim edilen biyodizel miktarı (ton) [98]

	Dağıtıcıya Teslim Edilen
DB Tarımsal Enerji Sanayi ve Ticaret A.Ş	44.432,88
TBE Biyodizel Tarımsal Enerji Üretimi Sanayi ve Ticaret A.Ş.	14.332,07
Aves Enerji Yağ ve Gıda Sanayi A.Ş.	5.979,86
Kolza Biodizel Yakıt ve Petrol Ürünleri Sanayi ve Ticaret A.Ş	439,92
Maysa Yağ Sanayi Anonim Şirketi	418,78
Toplam	65.603,50

Ülkemizde biyodizel üretimindeki en büyük girdi ham maddedir. Biyodizel üretimindeki maliyetin %86'sı hammadde, %14'ü elektrik su gideri, kimyasal malzemeler ve sabit giderlerden oluşmaktadır [99]. Türkiye'nin 2017 yılında yaklaşık 1,5 milyon ton yağ, 3,2 milyon ton yağlı tohum ithal edip bu ithalat için yaklaşık 2,8 milyar \$ döviz ödemiştir [34]. Bu ithalattan anlaşılacağı üzere ülkemiz büyük oranda yağ ve yağlı tohumda dışa bağıdır. Ayrıca günümüzde bitkisel yağ fiyatlarının perakende satış fiyatının dizele yakın seyretmesi bitkisel yağların biyodizel üretiminde kullanılmasının önünü kapatmıştır. Türkiye de bitkisel ve hayvansal yağların kullanımı sonucu yılda 300.000 ile 350.000 ton atık yağ oluşmaktadır [100]. Bu atık yağların geri kazanılması ile yaklaşık 300000-340000 ton arasında biyodizel elde edilecektir. Biyodizelin bir yan ürünü olan gliserolün ham veya işlenerek pazara sunulmasıyla ve elde edilen biyodizelin piyasada mevzuatın belirlemiş olduğu oranda karıştırılarak satılmasıyla ülkemizin döviz dışarı çıkmamış olacaktır. Ayrıca biyodizelin egzoz emisyon değerlerini düşürmesiyle ve atık yağların çöpe veya kanalizasyonlara dökülmemesi ile çevreye olumsuz etkileri azalacaktır.

1.8.3. Biyodizel ve Dizel Yakıt Standartları

Biyodizelin çeşitli dizel motorlarda sorunsuz bir şekilde kullanılması için uluslararası kalite standartları oluşturulmuştur. Biyodizel için oluşturulan standartlar EN 14214, EN 14213 Avrupa Birliği Standartı, ASTM D6751 Amerika Standardı vardır. Ayrıca

B6 ve B20 oranında hazırlanan biyodizel-dizel karışımları için ASTM D7467 standardı vardır. Dizel için ise EN 590 ve ASTM D975 standartları yürürlükte. EN 14213 ise ısıtma amaçlı kullanılacak biyodizeller içindir [75].

Ülkemizde biyodizel standardı için Elektrik İşleri İdaresi tarafından 2003 yılında TSE'ye teklif yapılmıştır. Gerekli incelemeler ve çalışmalar sonucunda Ekim 2005'te Avrupa Birliği standartları baz alınarak TS EN 14214 ve TS EN 14213 biyodizel standartları kabul edilmiştir. 2013 yılında TSE EN 14213 yürürlükten kaldırılmıştır [101].

ASTM D6751 ile EN 14214 biyodizel standartlarını kıyasladığımızda bazı değerlerde farklılık olduğu görülmektedir. Örneğin viskozite değeri EN 14214 40 °C'de 3,5 - 5 mm²/s iken ASTM D6751 bu değeri daha geniş tutarak 1,9-6 mm²/s olarak belirlemiştir. EN 14214 standardında parlama noktası min. 101 °C, setan sayısı min. 51, fosfor içeriği mak. 4 mg/kg iken bu değerler ASTM D6751 standardında parlama noktası min. 93 °C, setan sayısı min. 47, fosfor içeriği mak. 10 mg/kg olarak belirlemiştir. Sülfür içeriğinde ise ASTM D6751 S15 ve S500 olarak iki farklı standart belirtmiş ve bu standarta göre sülfür içeriğini sırasıyla mak. 15, 500 mg/kg olarak belirlemiştir. EN 14214 sülfür içeriği mak. 10 mg/kg olarak tek bir değer belirlenmiştir. Ester içeriği, iyot sayısı, linoleik asit metil esteri, yoğunluk değerlerine EN 14214 yer verirken ASTM D6751'e yer vermemiştir.

Tablo 1. 15. ASTM D6751 [129]

Özellik	Birim	ASTM D6751	Standart
Viskozite (40°C)	mm ² /s	1,9 – 6,0	D445
Parlama Noktası	°C	93 min.	D93
Alkol Kontrolü			
(Bir Tanesi Yeterlidir)			
Metanol İçeriği	% (m/m)	0,2	EN 14110
Parlama Noktası	°C	130	D93
Su ve Tortu	% (v/v)	0,05 mak.	D2709
Setan Sayısı	-	47 min.	D613
Sülfür İçeriği			
S15	mg/kg	15 mak.	D5453
S500		500 mak.	D5453
Fosfor İçeriği	% (m/m)	0,001mak.	D4951
Asit Değeri	mg KOH/g	0,50 mak.	D664
Serbest Gliserol	% (m/m)	0,02 mak.	D6584
Toplam Gliserol	% (m/m)	0,24 mak.	D6584
Sülfat Külü İçeriği	% (m/m)	0,020 mak.	D874
Karbon Kalıntısı (%100 Biyodizel)	% (m/m)	0,050 mak.	D4530
Oksidasyon Stabilitesi (110°C)	saat	3 min.	EN 15751
Bakır Şerit Korozyon (50°C, 3 h)	korozyon derecesi	No 3 mak.	D130
Grup I Metaller (Na+K)	ppm (µg/g)	5 mak.	EN 14538
Grup II Metaller (Ca+Mg)	ppm (µg/g)	5 mak.	EN 14538
Distilasyon %90 Geri Kazanım	°C	360 mak.	D1160
Bulutlanma Noktası	°C	bölgesel	D2500

Tablo 1. 16. EN 14214 [102]

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney Yöntemi
		En az	En çok	
Ester içeriği	%(m/m)	96,5	-	EN 14103
Yoğunluk (15 °C)	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viskozite (40 °C)	mm ² /s	3,5	5	EN ISO 3104
Parlama noktası	°C	101	-	EN ISO 22719 EN ISO 3679
Sülfür içeriği	mg/kg	-	10	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	%(m/m)	-	0,3	EN ISO 10370
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
Oksitlenme kararlılığı, (110°C'ta)	h	6	-	EN 15751 EN 14112
Asit sayısı	mg KOH/g	-	0,5	EN 14104
İyot sayısı	g iyot/100 g	-	120	EN 14111
Linolenik asit metil esteri	%(m/m)	-	12	EN 14103
Çoklu doymamış (≥4 çift bağ) Metil esterleri	%(m/m)	-	1	
Metanol içeriği	%(m/m)	-	0,2	EN 14110
Monogliserit içeriği	%(m/m)	-	0,8	EN 14105
Digliserit içeriği	%(m/m)	-	0,2	EN 14105
Trigliserit içeriği	%(m/m)	-	0,2	EN 14105
Serbest gliserol	%(m/m)	-	0,02	EN 14105 EN 14106
Toplam gliserol	%(m/m)	-	0,25	EN 14105
Grup I metaller (Na+K)	mg/kg	-	5	EN 14538 EN 14108
Grup II metaller (Ca+Mg)	mg/kg	-	5	EN 14109 EN 14538
Fosfor içeriği	mg/kg	-	4	EN 14107

Tablo 1. 17. ASTM D7467-10 (B6-B20) [102]

Özellik	Birim	ASTM D7467-10	Standart
Viskozite (40°C)	mm ² /s	1,9 – 4,1	D445
Parlama Noktası	°C	52 min	D93
Su ve Tortu	% (v/v)	0,05 mak	D2709
Kül İçeriği	% (m/m)	0,01 mak	D482
Setan Sayısı	-	40 min	D613
Sülfür İçeriği			
S15	mg/kg	15 mak	D5453
S500		500 mak	D5453
Asit Değeri	mg KOH/g	0,3 mak	D664
Karbon Kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	% (m/m)	0,35 mak	D524
Oksidasyon Stabilitesi (110°C)	saat	6 min	EN 15751
Bakır Şerit Korozyon (3 h, 50°C)	korozyon derecesi	No 3 mak	D130
Distilasyon %90 Geri Kazanım	°C	343 mak	D86
Bulutlanma Noktası	°C	rapor	D2500
Yağlayıcılık (HFRR 60°C)	mikron	520 mak	D6079
Biyodizel İçeriği	% (v/v)	6 – 20	D7371

Tablo 1. 18. EN 590 [102]

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney Yöntemi
		En az	En çok	
Yoğunluk (15 °C)	kg/m ³	820	845	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viskozite (40 °C)	mm ² /s	2	4,5	EN ISO 3104
Parlama noktası	°C	55	-	EN ISO 22719 EN ISO 3679
Kükürt içeriği	mg/kg	-	10	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Karbon kalıntısı (%10 distilasyon kalıntısında)	%(m/m)	-	0,3	EN ISO 10370
Setan sayısı		51	-	EN ISO 5165
Setan İndisi		46	-	EN ISO 4264
Kül	%(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'ta 3 saat)	Derece	Sınıf 1		EN ISO 2160
Oksidasyon kararlılığı	g/m ³ saat	20	25	EN ISO 12205 EN 15751
Yağlama Özelliği, Düzeltilmiş aşınma iz çapı (wsd 1,4) 60 °C'de	µm	-	460	EN ISO 12156
Distilasyon				
250 °C 'de elde edilen	%(v/v)		65	
350 °C 'de elde edilen	%(v/v)	85		EN ISO 3405
%95'in elde edildiği sıcaklık	°C		360	
Yağ Asidi Metil Esteri	%(v/v)		7	EN 14078
Soğuk Filtre Tıkanma Noktası				
Kış	°C	-15		EN116
Yaz	°C	5		EN116

Tablo 1. 19. ASTM D975 (No:2D) [130]

Özellik	Birim	ASTM D975	Standart
Viskozite (40°C)	mm ² /s	1,9 – 4,1	D445
Parlama Noktası	°C	52 min.	D93
Su ve Tortu	% (v/v)	0,05 mak.	D2709
Kül İçeriği	% (m/m)	0,01 mak.	D482
Setan Sayısı	-	40 min.	D613
(Bir tanesinin uyması yeterlidir)			
Setan İndeksi	-	40 min.	D976
Aromatiklik	% (v/v)	35 mak.	D1319
Sülfür İçeriği			
S15	µg/g	15 mak.	D5453
S500	% (m/m)	500 mak.	D2622
Asit Değeri	mg KOH/g	0,3 mak.	D664
Karbon Kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	% (m/m)	0,35 mak.	D524
Bakır Şerit Korozyon (3 h, 50°C)	korozyon derecesi	No 3 mak.	D130
Distilasyon			
90% Geri Kazanım	°C	282 – 338	D86
Bulutlanma Noktası	°C	rapor	D2500
Yağlayıcılık (HFRR 60°C)	µm	520 mak.	D6079
İletkenlik	İletkenlik birimi (CU)	25 min.	D2624

1.8.4. Biyodizelin Fiziksel, Kimyasal ve Yakıt Özellikleri

1.8.4.1. Yoğunluk

Bitkisel yağların yoğunluğu yağ bitkisi cinsine göre değişmektedir. Hidrokarbon zinciri uzadıkça yoğunluk azalırken, çift bağ sayısı arttıkça yoğunluk artmaktadır. Biyodizelin yoğunluğu yağa göre düşük olmakta ve motorin seviyesine inmektedir. Elde Biyodizelin motorine göre daha yoğun olması ve daha az ısıl değere sahip olmasından dolayı motor gücü ve torkta düşmeler yaşanmaktadır. Üretilen biyodizelin

yoğunluğunun fazla çıkmasının nedeni gliserolün yeterli miktarda uzaklaştırılmadığının bir göstergesidir [81].

EN ISO 3675 veya EN ISO 12815 deney yöntemine göre yapılan ölçümlerde, yoğunluk 15°C’ de 860 - 900 kg/m³’dür

1.8.4.2. Kinematik Viskozite

Viskozite sıvıların akmaya göstermiş olduğu direnç olarak tanımlanmaktadır. Biyodizel viskozite değeri motorin göre daha yüksektir. Bu nedenle fakir uçuculuğu (buharlaşması) nedeniyle atomizasyon ve yakıt hava karışımı olumsuz etkilenir. Bunun sonucunda, fiziksel tutuşma gecikmesi artar. Daha uzun tutuşma gecikmesi, daha fazla yakıt enjekte edilmesine ve yanma için ön hazırlıkların uzamasına neden olur [103]. Ayrıca yüksek viskozite enjektörlerin tıkanmasına neden olmaktadır. Viskozite sıcaklıkla ters orantılıdır. Viskozite yağların doymamışlıkları ve zincir uzunlukları arttıkça artmaktadır, çift bağ sayısının artışı da viskozite düşmektedir [125]. Biyodizel kinematik viskozite ASTM D6751 stadartına (ASTM D445 metotuna) göre 1,9-6,0 mm²/s, EN14214 standardı (ISO 3104 Metot)’ına göre 3,5-5,00 mm²/s’dir.

1.8.4.3. Setan Sayısı

İçten yanmalı motorlarda yakıtın tutuşma özelliği setan sayısı olarak adlandırılmıştır. Setan sayısının yüksek olması tutuşma süresini ve gürültüyü azaltır, düşüş sıcaklıklarda daha kolay çalışmaya yardımcı olur ve motor ömrünü uzatmaktadır [104]. Setan sayısı yağ asidi zincir uzunluğu ve doymuşluk oranı ile değişmektedir [104,105]. Biyodizel, dizele göre daha yüksek setan numarasına sahiptir bu da daha yüksek tutuşma etkinliği ile sonuçlanmaktadır. Setan sayısı ASTM D6751 standardına göre en az 47, EN 14214 ’e göre en az 51’dir .

1.8.4.4. Kalori Değeri

Kalori değeri motorun optimum çalışması için önemli bir yakıt kriteridir. Genellikle biyodizelin kalori değeri 35 MJ/kg’dan daha büyüktür [106]. Kalori değeri doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğu artışına bağlı olarak artmaktadır. Motorine kıyasla biyodizel daha fazla oksijen (yaklaşık %11) içerdiği için kalori değeri azdır. Biyodizel ve dizel yakıt aynı motorlarda kullanıldığı zaman ise biyodizelin güç ve torku dizel

yakıtına göre daha düşüktür. Yakıt sarfiyatı artmasına rağmen, enjeksiyon hacmi artarsa eşit motor performansı elde edilebilir [21].

1.8.4.5. Karbon Artığı

Oksijensiz ortamda bir yüzeyde yakıtın yanması simüle edilerek EN ISO 10370 test metoduna göre karbon artığı tespit edilmektedir. Karbon artığı enjektörde ve yanma odasında görülmektedir [21]. Sabun ve gliserol karbon kalıntısının artmasına neden olmaktadır. EN 14214 standardına göre karbon kalıntısı %10 damıtma sonrasında maksimum %0,30 m/m olmalıdır [107]. ASTM D6751 standardına göre ise %100 biyodizel içeriğinde kütleli olarak maksimum %0,05 olmalıdır.

1.8.4.6. Soğuk Akış Özelliği

Biyodizelin en büyük problemlerden birisi kristalleşme sıcaklığının motorine kıyasla daha yüksek sıcaklıkta olmasıdır. Bu neden soğuk hava şartlarında ki kristal oluşumu pompanın yakıtı düzgün bir şekilde pompalayamamasına ve motor performansına etki etmektedir [107]. Doymamış yağ asitlerinin moleküller arası etkileşiminin doymuş yağ asitlere göre daha zayıf olmasından dolayı daha düşük sıcaklıklarda kristalleşmesine neden olmaktadır [108].

1.8.4.6.1. Bulutlanma Noktası (BN)

Sıvı halindeki biyodizelin WAX(Parafinik Hidrokarbon) kristallerinin ilk görüldüğü sıcaklıktır. Sıcaklık bu değere düşene kadar yakıt sorunsuz kullanılabilir fakat tespit edilen değerin altına düşersen zamanla filtreler tıkanır [107].

Tablo 1. 20. Yağ asidinin bulutlanma noktası sıcaklığına olan etkisi [107]

	Doymuş	Tekli Doymamış	Çoklu Doymamış
Yağ Asidi Cinsi	12:0, 14:0, 16:0, 18:0, 20:0, 22:0	16:1, 18:1, 20:1, 22:1	18:2, 18:3
Bulutlanma Noktası	Yüksek	Orta	Düşük

1.8.4.6.2. Akma noktası (AN)

Akma noktası biyodizelin çökelen parafin kristalleri nedeni ile akabildiği en düşük sıcaklıktır [20]. Bu noktadan itibaren sıcaklık daha da düşmeye devam ederse yakıt jelleşir (yarı katı) ve akmaz duruma gelir [107].

1.8.4.6.3. Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (SFTN)

20 ml’lik numunenin 60 saniyelik sürede filtreden güvenle geçebildiği sıcaklık değerini ifade eder ve bulutlanma noktasında oluşan wax kristallerinin sıcaklığın daha da düşmesi ile kümeleştiği noktadır. Bu durumda filtre tıkanır [107].

1.8.4.6.4. Donma Noktası (DN)

Yağların ve yakıtların tamamen donduğu sıcaklıktır. Artık yağlar ve yakıtlar tamamen katı haldedir.

1.8.4.7. Parlama Noktası

Biyodizelin ısıtıldığında yakıt buharı ile hava karışımının tutuşabildiği en düşük sıcaklık parlama noktası olarak tanımlanmaktadır. Biyodizelin en önemli özelliklerinden birisi motorine göre daha yüksek sıcaklıkta parlamasıdır. Yakıtın güvenliği ve depolanması ile ilgili en önemli parametredir [104,108]. Parlama noktası sıcaklığının düşük çıkması biyodizelin üretim esnasında alkolün yeterli miktarda uzaklaştırılmamasından kaynaklanmaktadır [107]. Biyodizelin parlama noktası EN 14214’e göre minimum 101°C, ASTM D6751 standartlarına göre ise minimum 93 °C olmalıdır.

1.8.4.8. İyot Sayısı

Yağın toplam doymamışlığının bir ölçüsü iyot sayısı olarak tanımlanmaktadır. Yağların özelliği ve çift bağ sayısına göre iyot sayısı değişmektedir [109]. Esterlerdeki yüksek doymamış yağ asidi miktarı, yüksek iyot sayısı ile açıklanır ve motor yağının polimerleşme tehlikesini artırır. Yakıtın doymamışlığının oksidasyonu ve polimerizasyonu, yakıtın incelmesini ve yağın bozulmasını desteklemektedir [104]. Yüksek iyot sayılı yakıtlar enjektör deliklerinde tıkanmalara veya yanma odasında polimerleşmeye ve hasara sebep olabilmektedir [109]. Yapılan araştırmalar sonucunda 115’ten yüksek iyot sayısının aşırı karbon kalıntısı oluşumuna neden olmaktadır [104]. EN 14214’de iyot sayısı en çok 120’dir

1.8.4.9. Su İçeriği

Bitkisel yağlar temelde su içermezler. Ancak bitkisel yağların üretimi ve depolanması esnasında su karışabilmektedir. Yakıtların belli oranda su içermeleri motor için bir dezavantaj değildir. Su/yakıt emülsiyon oranının uygun olması durumunda yanma sıcaklığını ve NO_x emisyonlarını azaltabilir. Ancak yüksek basınçlı enjeksiyon sistemlerinde su yakıttan ayrılarak enjektör sisteminde bölgesel çürümelere sebep olabilir [100]. EN 14214 standardına, EN ISO 12937 deney yöntemine göre belirlenen su içeriği en fazla 500 mg/kg olmalıdır.

1.8.4.10. Kükürt İçeriği

Dizele bitkisel yağların karıştırılmasıyla elde edilen karışımların kükürt miktarında düşüşler olmuştur. Kükürt yakıtlara yağlayıcılık özelliği kazandırmaktadır. Yeni emisyon standartlarında 10 mg/kg'den de aşağıya çekilmesinin hedeflenmesi, motorine biyodizelin katılmasını zorunlu hale getirmektedir [106]. EN 14214 standardına göre kükürt içeriği maksimum 10 mg/kg olmalıdır.

1.8.4.11. Asit Sayısı

Asit değeri 1 g'lık yağ asidi metil esterini nötralize etmek için gerekli olan KOH (mg) miktarıdır. Yağ asitleri karbon zinciri uzunluğu veya doymamış bağ sayısı (çift bağ) açısından farklılık gösterir. Daha yüksek serbest yağ asidi miktarı daha yüksek asit değerine neden olmaktadır [105]. Asit sayısının yüksek olması yakıt sisteminde tortu oluşumunun ve korozyonun artacağını göstermektedir [107]. Biyodizelde asit sayısı EN 14214 ve ASTM D6751'e göre en çok 0,50 mg KOH/g olmalıdır.

1.8.4.12. Bakır Şerit Korozyonu

Bakır şerit korozyonu yakıtın, bakır, prinç ve bronz parçalarda oluşturduğu korozyonun tespitinde kullanılır. Biyodizelin çerisinde kükürt, su ve asit bileşikleri bulundurması bakır parçaların renk değiştirmesine neden olmaktadır. Bu renk değişim korozyonun bir göstergesidir [107]. Bu test 50°C'deki biyodizelin içine bakır malzemenin daldırılıp 3 saat bekletilerek yapılmaktadır. Belirlenen süre sonunda bakır parça çıkarılır ve standardın renk skalasına göre kıyaslama yapılarak korozyonun derecesi tespit edilir. EN 14214'e göre en az sınıf 1 olmalıdır. ASTM D6751'e göre de maksimum No 3 olmalıdır.

1.8.4.13. Oksidasyon Kararlılığı

Bu test biyodizelin depolanması sırasında meydana gelen kimyasal değişmelere karşı gösterdiği direncin bir ölçüsüdür. Oksidasyon kararlılığı açısından biyodizel, dizele göre çok daha düşük kararlıktadır. Antioksidan katkılara kullanılarak biyodizelin oksidasyon kararlılığı artırılabilir [100,107]. Doymuş yağ asitlerinin oksidasyon kararlılığı doymamış yağ asitlerine göre daha yüksektir [100]. Oksidasyon kararlılığı 110 °C’de EN 14214 en az 6 h iken ASTM D6751’e göre en az 3 h’dir.

1.8.4.14. Fosfor İçeriği

Biyodizelin fosfor içeriği hayvansal ve bitkisel yağlarda bulunan zar ve proteinlerin doğal sonucu olarak oluşan fosfolipitlerin istenilen düzeyde saflaştırma işlemine tabi tutulmaması sonucunda meydana gelen ve yakıt içinde istenmeyen bir durumdur [81].

EN 14214’e göre fosfor içeriği en çok 4 mg/kg iken ASTM D6751’e göre en çok 10 mg/kg’dır.

1.8.4.15. Toplam Kirlilik

Biyodizel içinde askıda bulunan çözünmeyen organik bileşiklerin mg/kg cinsinden hesaplanmasıdır. Askıda kalan bu maddeler filtrelerin tıkanmasına neden olmaktadır. Toplam kirlilik EN 14214 e göre maksimum 24 mg/kg olmalıdır [107].

1.8.4.16. Ester İçeriği

Ester içeriği biyodizelin üretildiği yağa göre değişmektedir. Biyodizelin üretimindeki en önemli basamak esterleşme reaksiyonun tamamlanmasıdır. Bu test ile biyodizelin saflığını ve reaksiyonunu belirleyebiliriz. EN 14214 standardına göre ester içeriği en az %96,5 m/m olmalıdır [107].

Bitkisel Yağlar	Kinematik Viskozite (38°C) (mm ² /s)	Setan Sayısı	Isı Değeri	Bulutlanma Noktası (°C)	Akma Noktası (°C)	Parlama Noktası (°C)	Yoğunluk (kg/l)	Karbon Art. (%w)	Kül (%w)	Sülfür (%w)
Mısır	34,9	37,6	39,5	-1,1	-40,0	277,0	0,9095	0,24	0,010	0,01
Pamuk	33,5	41,8	39,5	1,7	-15,0	234,0	0,9148	0,24	0,010	0,01
Keten Toh.	27,2	34,6	39,3	1,7	-15,0	241,0	0,9236	0,22	<0,010	0,01
Yerfıstığı	39,6	41,8	39,8	12,8	-6,7	271,0	0,9026	0,24	0,005	0,01
Kolza	37,0	37,6	39,7	-3,9	-31,7	246,0	0,9115	0,30	0,054	0,01
Aspir	31,3	41,3	39,5	18,3	-6,7	260,0	0,9144	0,25	0,006	0,01
Susam	35,5	40,2	39,3	3,9	-9,4	260,0	0,9133	0,25	<0,010	0,01
Soya	32,6	32,6	37,9	3,9	-12,2	254,0	0,9138	0,27	<0,010	0,01
Ayçiçeği	33,9	37,1	39,6	7,2	-15,0	274,0	0,9161	0,23	<0,010	0,01
Palmye	39,6	42,0	-	31,0	-	267,0	0,9180	-	-	-
İç Yağı	-	-	40,0	-	-	201,0	-	6,21	-	-

Şekil 1. 31. Bazı yağların yakıt özellikleri [103].

1.8.5. Biyodizelin Kullanım Alanları

Biyodizel dizel motorlarda yakıt veya yakıta katkı olarak kullanılmasına karşın birçok farklı alanda da kullanılmaktadır.

Biyodizel ısınmak için kaloriferde, sobada, fenerde, otomobilden istenmeyen boyaların temizlenmesinde, motor parçalarındaki yağ ve kurumun temizlenmesinde, makine yağlayıcısı olarak, hidrolik sıvısı olarak, demiryolu yağlayıcısı olarak birçok alanda kullanılabilir [81,110]. Az miktarda kükürt içermesinden dolayı seraların ısıtılmasında önemli bir yakıttır [84].

Metil esterler, bitkisel yağlardan yağ alkollerini üretmede aracı olarak kullanılabilirler. Yağ alkollerini yüzey-aktif madde ve temizlik malzemelerinde kullanılabilir. Bitkisel yağ esterleri ayrıca iyi solvent özellikleri taşımakta olup ham petrolle kontamine olmuş sahilleri temizlemede kullanılmaktadırlar. Kolza yağı metil esterleri plastik üretiminde akışkanlaştırıcı olarak, ayrıca gaz halindeki endüstriyel emisyonların temizliğinde yüksek derecede kaynayan emiciler olarak kullanılabilir [111].

1.8.6. Biyodizelin Malzemelere Olan Etkileri

Biyodizel orta sınıf bir çözücüdür. Boyanmış yüzeyler ile temas ettiğinde bazı boyaları çözebilir. Biyodizelin çözücü özelliğinden dolayı daha önceden dizel yakıtından kaynaklanan sediment ve tortuları çözerek yakıt filtresinin hatta

enjektörlerin tıkanmasına sebep olabilir. Biyodizel yakıt deposuna koyulmadan önce yakıt deposunun içi temizlenmelidir [88,104]

Prinç, bronz, bakır, kurşun, kalay, çinko dizel yakıtı ve biyodizel ile okside olabilir ve tortulaşma meydana getirebilir. Bakır borular, prinç regülâtörler, bakır rekorlarda kurşun ve çinko kaplamalardan kaçınılmalıdır. Yakıt rekorlarda renk değiştirmeye meyleder ve tortu meydana gelerek filtreye ulaşır. Zarar görmüş parça çelik veya alüminyum olanı ile değiştirilmelidir. Uygun yakıt deposu malzemesi alüminyum, çelik ve teflon içermelidir [112,113].

Motor aşınması; motorun belirli bir çalışma süresi sonucunda alınan yağ analizi ile değerlendirilmektedir. Yapılan çalışmada 4 metal değerlendirilmiş ve aşınmaların meydana geldiği noktalar;

Demir- silindir aşınması

Alüminyum- piston aşınması

Krom- segman aşınması

Kurşun-yatak aşınması olarak belirtilmiştir [100].

1000 saatlik motor çalışması sonucu yapılan bir çalışmada en fazla motor aşınmanın dizel, en az aşınmanın ise B100 biyodizel yakıtı ile olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak ise biyodizelin yağlayıcılık özelliğinin olduğu belirtilmiştir. B100, D100, B50 yakıtlarının 1000 saatlik motor çalışması sonucunda enjektör tıkanıklarının aynı seviyelerde olduğu gözlemlenmiştir. B100 ve dizel yakıtları ile 113 saatlik çalışma sonucunda enjektörlerde, piston üstünde, silindir duvarlarında ve supap sistemlerinde herhangi anormal bir birikinti saptanmamıştır [100].

ABD Pretoria Üniversitesin’de yapılan çalışmada ayçiçeği biyodizelinin çelik, pik demir, prinç, alüminyum, bakır, paslanmaz çelik ve galvanizli çelik gibi metallerde korozyona bağlı kütle kaybının 1 mikrometre/ yıl olduğu belirtilmiştir. Ayrıca kontrol bağlantısı ve püskürtme pompasında herhangi bir korozyona rastlanmamıştır [88,100].

Ayçiçek yağı biyodizeli ile ilgili yapılan farklı bir çalışmada metal parçalarda korozyona rastlanmadığı, ancak tüm plastik aksamın sertleşme eğilimi ve

mukavemette düşme gösterdiği bildirilmektedir. Biyodizelin kauçukta aşındırıcı etki gösterdiği ve en uygun kauçuğun viton A olduğu belirtilmiştir. Biyodizeller boya üzerinde çözücü etki gösterdiği için bu kriterin göz önünde tutularak boya seçimi ve uygulaması yapılmalıdır. [113]

Tablo 1. 21. Biyodizelin malzemelere olan etkisinin dizel yakıtına göre kıyaslanması [88,100,110]

Malzeme	Karışım (%)	Etkinin Dizel Yakıt ile Karşılaştırılması
Teflon	B100	Çok az değişme
Naylon	B100	Çok az değişme
Nitril	B100	%20 Sertleşmede azalma, %18 şişme artışı
Viton A401-C	B100	Çok az değişme
Flurosilikon	B100	%7 Şişme artışı
Poliüretan	B100	%6 Şişme artışı
Polipropilen	B100	%10 Sertlikte azalma, %8 şişme artışı
Tygon	B100	Kötü
Polivinil	B100	Çok kötü
Polivinil	B50	Kötü
Polivinil	B40	Kötü
Polivinil	B30	Kötü
Polivinil	B20	Benzer
Tygon	B100	Kötü

1.8.7. Otomotiv Sektöründe ve Dizel Motorlarda Biyodizel

Saf biyodizel ve dizel-biyodizel karışımları dizel motorlarda herhangi bir modifikasyon işlemine gerek kalmadan veya küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir [115].

1996 yılından önce üretilen araçlarda yakıt sistemi ve motor bağlantı sistemlerini lastikten yapılmasından dolayı B100 biyodizel tercih edilmesi durumunda lastik parçalarda sertleşme ve sonra kırılma hale geçerek parçalanma meydana geleceğinden dolayı bağlantı elemanlarının değişmesi gerekebilir [115]. Avrupa’da imal edilen pek çok dizel motorun yakıt sistemlerine sentetik hortum veya contalar kullanıldığı için garanti belgeleri biyodizel kullanımını kapsar [116].

Haziran 2004 yılında yakıt enjeksiyon üreticisi olan Delphi, Stanadyne, Denso ve Bosch firmalarının ortaklaşa almış oldukları karar ile alternatif biyoyakıt çalışmalarını desteklediklerini hacimsel olarak %5'i geçen ve EN 14214 standardına uymayan yakıtlara garanti vermeyeceklerini duyurmuşlardır [100,115]. Mercedes ve Volskwagen 1996 yılından itibaren ürettiği dizel motorlu tüm otomobillerde biyodizel kullanımı serbest yapmıştır [115].

Tablo 1. 22. Farklı araç şirketlerinin biyodizel için vermiş olduğu garanti bilgileri [110]

Firmalar	Taşıtlar
Audi	Otomobiller: Tüm TDI Modelleri 1996' beri
Case- IH	Traktörler: Tüm Modeller 1971'den beri
BWM	Otomobiller: Model 525 tds 1997'den beri
Claas	Biçerdöverler, Traktörler
Farvman- Diesel	Motorlar
Fiatagri	Traktörler: Yeni Modeller için
Ford AG	Traktörler: Yeni Modeller için
Holder	Traktörler
Iseki	Traktörler: 3000 ve 5000 serileri için
John Deree	Traktörler: 1987'den beri
KDH	Traktörler
Kubota	Traktörler: OC süper mini 03 ve 05 serileri
Lamborghini	Traktörler: 1000 serisi
Mercedes- Benz	Otomobiller: C, E 220 C 200 ve 220 CID serileri
Mercedes- Benz	Kamyon, Otobüs: BR 300, 400 Unimog Serileri 1988'den beri
Same	Traktörler: 1990'dan beri
Seat	Otomobiller: Tüm TDI Serisi 1996'dan beri
Skoda	Otomobiller: Tüm TDI Serisi 1996'dan beri
Steyr	Traktörler: 1988'den beri
Steyr	Botlar: M 16 TCAM ve M 14 TCAM Serileri
Valmet	Traktörler: 1991'den beri
Volkswagen	Otomobiller: Tüm TDI Serisi 1996'dan beri
Volkswagen	Otomobiller: Tüm Yeni SDI Serisi (Euro 3)
Volvo	Otomobiller: S80 D, S70 TDI ve V70 TDI Serisi

1.8.8. Biyodizelin Yağlayıcılık Özelliği

Biyodizelin dizele göre en büyük avantajlarından biri yağlayıcılık özelliğidir. Bu avantaj motor içindeki hareketli parçaların daha rahat çalışmasına neden olmaktadır. Yakıtın yağlayıcı özelliğinin yetersiz olması yağ basıncının düşmesine veya aşınmalara neden olmaktadır. Dizel yakıtı içindeki aromatiklerin ve kükürt oranının 2010 yılında %0,5 ten %0,05'e düşürülmesi ile partikül emisyonlarının azalmasına etkili olmakla birlikte yakıtın yağlama özelliğinin de düşmesine neden olmuştur. Kaliforniya'da yapılan bir çalışmada dizel yakıt içine %0,4 biyodizel eklenerek kükürt oranı düşük, yağlayıcılık özelliği iyi olan bir yakıt elde edilmiştir. Başka bir çalışmada kükürt oranı düşürülmüş dizel yakıt içine %1 oranında biyodizel katkı maddesi olarak katılmış ve yakıtların yağlayıcılık özelliklerinin dizele göre daha iyi olduğu görülmüştür [117].

1.8.9. Biyodizelin Motor Performansına Etkisi

Dizel yakıtının ısı değeri ile karşılaştırıldığında daha düşük seviyededir. Düşük ısı değeri, biyodizel ve karışımlarında, dizel ile çalışmaya oranla yakıt tüketiminde bir miktar artış olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak biyodizelin iyi yanma karakteristikleri sonucu ısı verimi arttığından yakıt tüketimi artışı makul seviyelerde olmaktadır [114].

Kanola yağı biyodizeli ile yapılan bir çalışma kanola yağı biyodizelinin dizele göre döndürme momentinin ve gücünün daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca B20, B40, B60'lık karışımları incelenmiş ve biyodizel oranı arttıkça döndürme momentinin azaldığını tespit edilmiştir. Bunun nedeni olarak ise dizel yakıtın ısı veriminin kanola yağı biyodizeline göre daha yüksek olması olarak gösterilmiştir [36].

Farklı bir çalışmada ise dizel yakıt ile balık yağı biyodizeli ve atık pişirme yağı biyodizeli az miktarda güç kaybı yaşanmış ve özgül yakıt tüketiminin arttığı tespit edilmiştir [83].

1.8.10. Biyodizelin Yakıt Emisyonları ve Çevre Üzerine Etkisi

Biyodizel, yenilenebilir hammaddeler kullanılarak üretilen ve sürdürülebilir enerji özelliğine sahip alternatif bir yakıttır. Biyodizel çevre dostu ve çevreyle uyumludur. Biyodizel doğada çok kısa sürede %99,6'ya kadar biyolojik olarak

parçalanabilmektedir. Yapılan araştırmalara göre 28 günde biyodizelin %95'i bozulabilirken dizel için bu değer %40'tır [24].

1 litre dizel yakıt tüketiminde 3,2 kg CO₂ emisyonu meydana gelirken, biyodizel tüketiminde bu değer 0,7 kg/l kadar düşmektedir [119]. Tükettiğimiz biyodizelden ortaya çıkan CO₂ gazının 1 yıl içinde yağ bitkisi tarafından geri alınacaktır. Böylece CO₂ emisyonlarının neden olduğu sera gazı etkisi azalmaktan ve bu olayda küresel ısınma için pozitif bir gelişmedir [86].

Biyodizel fosil yakıtlara oranla daha düşük emisyon değerlerine sahiptir. CO, NO_x, CO₂, HC ve isi başlıca emisyonlar olarak sayabiliriz. Bu zararlı emisyonları biyodizel kullanarak azaltabilmekteyiz. Biyodizelin emisyonları düşürmesinin temel nedeni içerisinde bulunan oksijendir. Biyodizel içinde bulunan oksijen daha iyi bir yanma tepkimesi sağlamaktadır [120]. Yapılan birçok çalışmada dizele oksijen içeren katkıların eklenmesi veya oksijeninin yanma odasına daha fazla girişin sağlanması gerektiği önerilmiştir [121].

HC emisyonu; karayolu taşımacılığı günümüzdeki HC emisyonlarının %29'una neden olmaktadır [26]. Egzoz gazı içinde bulunan HC yakıtın tam yanmamasından kaynaklanmaktadır. HC kanserojen özellikte, tahriş edicidir ve kötü kokuya sahiptir. NO_x ile HC güneş ışığında birleşerek fotokimyasal sise neden olmaktadır [36].

CO ve CO₂ emisyonları; Biyodizel dizele göre daha fazla oksijen içermesi CO değerlerinin düşük çıkmasına neden olmaktadır. CO değişik oksidantlar ile reaksiyona girerek CO₂ emisyonlarına dönüşürler [36] CO₂ küresel ısınmaya sebep olan en önemli sera gazlarından biridir [26]. KYOTO protokolüne göre CO₂ emisyon değeri yıllık 402 milyon tondur [122]. CO₂ emisyon değerlerini düşürmek için biyodizel yaygınlaştırılmalı ve kullanımı tavsiye edilmelidir. [68]. Kolza tohumu ekiminden biyodizel elde edip yanma anına kadar her aşama göz önüne alındığında her 1 kg biyodizelin 3 kg CO₂ tükettiği belirtilmiştir [122].

SO₂ emisyonu; yakıt içindeki kükürt ile oksijenin tepkimeye girmesi sonucu oluşur. Asit yağmuruna neden olmaktadır. Biyodizel dizele göre daha az kükürt içerdiği için SO₂ emisyon değerleri daha düşük çıkmaktadır.

NO_x emisyonları; NO_x emisyonlarının kaynağı havada %79,9 azotun bulunmasıdır. Biyodizel içindeki oksijen arttıkça NO_x emisyon değerleri de artmaktadır [26]. NO_x yağmur damlalarına temas etmesiyle asit yağmurlarına neden olmaktadır. NO_x emisyonları insan sağlığı için oldukça zararlıdır [36].

Uçucu organik bileşik (VOC) emisyonu: Bu bileşikler buharlaşmaya uygun karbon bazlı bileşikler olup insan ve hayvan sağlığı açısından zararlı sera gazları içerisindedirler [26].

PM emisyonu: silindir içinde gerekli miktarda hava bulunmaması sonucunda hava ile yakıtın zamanında karışamaması sonucu karbonun iyi yanamamasıyla ortaya çıkan islerdir [26].

Uyar [106] haşhaş yağından transesterifikasyon yöntemiyle üretmiş olduğu haşhaş yağı biyodizelinin emisyon değerlerini incelemiştir. Yapmış olduğu çalışmada B100 biyodizeline dizele göre; NO_x %25,7, CO₂ %2,6 oranında artış, CO %45,1, HC %62,6 ve is %51 oranında azalma olmuştur.

Dizel emisyon değerleri ile biyodizel emisyon değerleri kıyaslandığında çok büyük farklılıklar olduğu görülmektedir. Biyodizelin emisyon değerleri PM, HC, CO, SO₂ ve CO₂ değerleri dizele göre düşük çıkarken sadece NO_x değeri dizele göre yüksek çıkmıştır. Biyodizel dizel emisyon değerlerinin kıyaslanması ve biyodizel karışımlarının emisyon değerleri üzerine yapmış olduğu etki Tablo 1.23’de verilmiştir.

Tablo 1. 23. Biyodizel karışımlarının emisyon değerleri üzerine etkisi [112]

Karışım	Emisyonlar					
	PM	HC	CO	NO _x	SO ₂	CO ₂
B100(%)	-47,19	-67,36	-48,11	10,29	-100	-76,40
B90(%)	-43,70	-63,49	-44,59	9,21	-90	-68,76
B80(%)	-39,99	-59,16	-40,84	8,15	-80	-61,12
B70(%)	-36,04	-54,33	-36,83	7,10	-70	-53,48
B60(%)	-31,82	-48,92	-32,54	6,05	-60	-45,84
B50(%)	-27,33	-42,86	-27,97	5,02	-50	-38,20
B40(%)	-22,54	-36,10	-23,08	4,0	-40	-30,6
B30(%)	-17,43	-28,53	-17,87	2,98	-30	-22,92
B20(%)	-11,99	-20,06	-12,30	*	-20	-15,28
B10(%)	-6,18	-10,59	-6,35	*	-10	-7,64
B5(%)	-3,14	-5,44	-3,23	*	-5	-3,82
B2(%)	-1,27	-2,21	-1,30	*	-2	-1,53
B1(%)	-0,64	-1,11	-0,65	*	-1	-0,76

1.8.11. Biyodizelin Depolanması ve Taşınması

Biyodizel taşıma ve depolama açısından dizele göre daha güvenlidir. Fakat biyodizelin asfalt ile teması sonucunda asfaltı yumuşatma etkisinden dolayı dolum sırasında dikkatli olunmalıdır. Dizel yakıtlar taşınmaları esnasında belirli oranlarda biyodizel karıştırılarak daha güvenli hale getirebilirler [106].

Biyodizelin depolanmasında herhangi bir sorun yoktur. Biyodizel soğuk iklim şartlarında depolama kurallarına uymak şartı ile en az 1 yıl süre ile depolanabilir. Depolama için petro-dizelin depolandığı tanklar ve ortamlar kullanılabilir [100,106]. Depodaki boru bağlantı noktalarında keçe, conta türü sızdırmazlık elemanları kullanılması gerekirse, biyodizel ile uyumlu Viton B tipi elastomerik malzemelerin kullanımı önerilmektedir [126]. Uzun süreli depolanmış biyodizelin kullanımından önce pH'ı ve yoğunluğu kontrol edilmelidir. Biyodizel tankları mümkün ise tamamen dolu tutulmalıdır. Bunu yapmaktaki amaç biyodizel ile havanın temasını en aza indirmektir. Eğer biyodizel nemli ve ılık iklimde depolanacak ise biyodizel depo tanklarına katkı maddesi ilave etmek gerekir. Biyosit olarak adlandırılan ve sıvı halde

zehir olan bu madde, depo içerisindeki mikroorganizmaları yok etmekte kullanılır. Yakıt tankının içerisine ilave edilecek olan biyosit miktarı 50-60 g'dır [100,106,117].

1.8.12. Biyodizelin Toksik Etkisi

Biyodizelin olumsuz bir toksik etkisi bulunmamaktadır. Biyodizelin ağızdan alınması durumunda öldürücü doz 17,4 g biyodizel/kg vücut ağırlığı iken bu değer tuz için 10 kat daha fazla olup 1,75 tuz/kg vücut ağırlığıdır. Biyodizelin insanlara temas etmesi sonucunda sabuna göre %4'lük daha az toksik etkiye sahip olduğu görülmüştür. Biyodizel toksik olmamasına karşın kullanımında dizel standart için zorunlu olan standart koşulların (göz koruyucu, havalandırma sistemleri vb.) kullanılması önerilmektedir [123].

1.8.13. Biyodizelin Tarımla İlişkisi ve Tarıma Olan Katkıları

Gazi Mustafa Kemal ATATÜRK'ün "*Milli ekonominin temeli tarımdır*"[124] sözüyle ülkelerin ekonomik bağımsızlıklarının temelinin tarım olduğu net bir şekilde anlaşılmaktadır. Tarımsal olarak kendi kendine yetemeyen ülkelerin tam bağımsızlığından bahsetmek mümkün değildir. İnsanoğlunun vazgeçilmez olarak gördüğü bu sektör son yıllarda enerji ve gıda güvenliğinin ana kaynağı olarak görülmektedir Dünyada yapılan tarımsal uygulamalarda enerji bitkilerinin payı giderek artmaktadır [95].

Avrupa ülkelerinde tarım yapılabilir alanlar toplamı ile biyodizel üretimi karşılaştırıldığında; küçük tarım alanlarına sahip ülkelerin biyodizel üretiminin geniş tarım alanlarına sahip ülkelerinkinden çok daha fazla olduğu görülmektedir. Türkiye'de tarım yapılabilir alanların bu ülkelerdekinden daha fazla olmasına rağmen biyodizel üretiminin daha az olduğu görülmektedir [91].

Tablo 1. 24. Tarım yapılabilir alanlar ile biyodizel üretiminin karşılaştırılması [91]

	Almanya	Fransa	İspanya	Polonya	Yunanistan	Türkiye
Tarım Yapılabilir Alan (ha)	11.900.000	18.510.000	13.700.000	12.140.000	2.630.000	23.830.000
Biyodizel Üretimi(ton)	3.017.000	1.703.000	1.105.000	779.000	138.000	74.000

Biyodizel bir tarım projesidir. Biyodizel sektöründe yaşanan durgunlukların yağlı tohum ekilişinde (özellikle aspir ve kanola) azalmalara neden olduğu da belirlenmiştir. Biyodizel harmanlamasının yağlı tohum ekim alanlarının büyümesine yansıdığından tarımsal açıdan hayati önem taşımaktadır [91].

Ülkemizde arazi miktarının %15-20'lik kısmı nadas için boş bırakılmaktadır. Bu nadas alanları ileri tarım teknikleri yardımıyla nadastan vazgeçmektedir. Bu tekniklerden biri olan münavebe yardımıyla nadas alanları azaltılarak biyodizel üretiminde kullanılabilecek yağ bitkileri ekimi artırılabilir [104].

Biyodizelin tarıma olan katkıları ;

- Tarımsal üretimde çeşitliliği sağlayarak ekolojiye olumlu katkıda bulunması ve sürdürülebilir tarımsal yapı oluşturmaları
- Organik tarımın gelişimini desteklemesi
- Yağ bitkileri tarımını yaygınlaştırarak gıdadaki yağ açığını kapatması
- Ekim nöbetini yaygınlaştırarak toprak verimliliğini artırması
- Çiftçilerin en büyük gideri enerji ihtiyacını kendisinin üretmesini sağlaması,
- Yağlık tohumun yağlık çekirdeklerinin dışındaki kısmı ve biyoyakıt üretiminden geriye kalan organik karakterli atıkların hayvan yemi olarak kullanımı ile hayvancılığın gelişiminin temini
- Tarımsal ürünlerin sanayi ve enerjiye entegrasyonu ile sözleşmeli tarıma yol açması olarak sıralanabilir [95,100,104].

2. MATERYAL METOT

2.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan haşhaş (*papaver somniferum* L.) yağı Afyon Bolvadin’de bulunan Sönmez Haşhaş Ürünleri firmasından temin edilmiştir. Haşhaş yağı nötralizasyon işlemi Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Biyoyakıt Laboratuvarında yapılmıştır. Haşhaş yağı ve nötralize edilmiş haşhaş yağı biyodizel üretimi transesterifikasyon yöntemi ile yine aynı laboratuvarda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2. 1. Haşhaş yağı

2.1.1. Araştırmada Kullanılan Cihazlar

Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Biyoyakıt Laboratuvarında bulunan, yoğunluk ölçüm cihazı, kinematik viskozite ölçüm cihazı, parlama noktası tayin cihazı, soğuk akış özelliği tayin cihazı, su içeriği tayin cihazı, kalorimetre cihazı, renk analizi tayin cihazı, laboratuvar tipi karıştırıcı, hassas terazi, sıcaklık kontrollü manyetik karıştırıcı, etüv, kronometre, dijital termometre ve pH ölçüm cihazı kullanılmıştır. Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümünde bulunan bakır şerit korozyonu cihazı kullanılmıştır.

2.1.1.1. Yoğunluk Ölçüm Cihazı

Sıvıların yoğunluklarını ölçmek için KEM Kyoto Marka DA-645 model cihaz kullanılmıştır. Cihaz 0-93 °C ölçüm sıcaklığı, 0.00000 – 3.00000 g/cm³ ölçüm aralığına sahiptir. Cihaz $\pm 0,00005$ g/cm³ yoğunluk, $\pm 0,003$ °C sıcaklık ölçme hassasiyetine sahiptir. Cihaz ASTM D 1250, 1475, 4052, 4806, 5002, 5798, 5931 ve ISO 12185, 15212 standartlarında ölçüm yapmaktadır.



Şekil 2. 2. Yoğunluk ölçüm cihazı

2.1.1.2. Kinematik Viskozite Ölçüm Cihazı

Sıvıların viskozitelerini ölçmek için Polyscience marka 7306A12E model viskozite ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihaz $\pm 0,05$ °C derece sıcaklık hassasiyetine sahip ve ASTM D445 standartlarına göre ölçüm yapmaktadır.



Şekil 2. 3. Kinematik viskozite ölçüm cihazı

2.1.1.3. Parlama Noktası Tayin Cihazı

Yakıtların parlama noktalarını ölçmek için RapidTester marka RT-1 model cihazı kullanılmıştır. -30 ile 300 °C derece arasında ölçüm yapmaktadır. ASTM D3243, ASTM 3278, ASTM 3828, IP303 ve ISO 3679, 3680 standartlarına göre parlama noktası tayini yapabilmektedir.



Şekil 2. 4. Parlama noktası tayin cihazı

2.1.1.4. Soğuk Akış Özelliği Tayin Cihazı

Sıvıların soğuk akış özelliğini ölçmek için LAB-KITS marka PT-SYD-510F1 model cihaz kullanılmıştır. 0 ile -70 °C arasında ölçüm yapabilmekte ve $\pm 0,5$ °C hassasiyete sahiptir. ASTM D97, ASTM D2500, ISO 3015, ISO 3016 VE IP 309 standartlarında ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 2. 5 Soğuk akış özelliği tayin cihazı

2.1.1.5. Su İçeriği Tayin (Karl-Fischer Titrasyon) Cihazı

Yakıtların su muhtevalarını ölçmek için Kem Kyoto Electronics marka MKC-520 model cihaz kullanılmıştır. 0,1 µg ile 100 mg arasında ölçüm yapabilmektedir. %0,3 ölçüm hassasiyetine sahiptir



şekil 2. 6. Su muhtevası tayin (Karl-Fischer Titrasyon) cihazı

2.1.1.6. Kalorimetre Cihazı

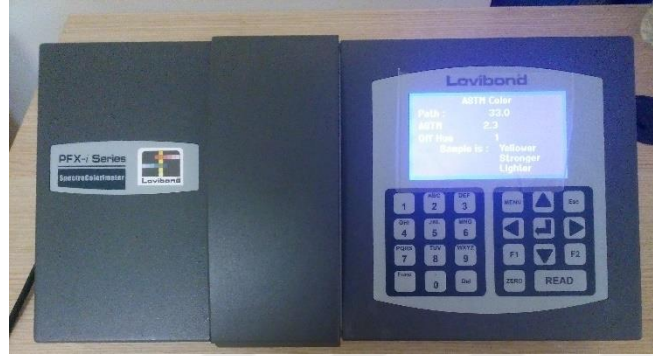
Yakıtların alt ısı değeriğini ölçmek için IKA marka C200 model kalorimetre cihazı kullanılmıştır. Cihaz 30 barda 20-25 C ortam sıcaklığında 40000 Joule'e kadar ölçüm yapabilmektedir. 0,0001 C sıcaklık hassasiyetine sahiptir. DIN 51900, ISO 1928, ASTM D240, ASTM D4809, ASTM D5865, ASTM D1989, ASTM D5468, ASTM E711, GOST 147, GOST 21261 standartlarına göre ölçüm yapılmaktadır.



şekil 2. 7. Kalorimetre cihazı

2.1.1.7. Renk Analizi Tayin Cihazı (tintometer)

Yakıtların ve yağların renklerini analiz edebilmek için Lovibond marka renk analiz cihazı kullanılmıştır.



Şekil 2. 8. Renk analiz cihazı

2.1.1.8. Laboratuvar Tipi Karıştırıcı

Yakıtların hazırlanması için, özellikle büyük hacimdeki sıvıların karıştırılması için VELP Scientifica marka DLS F20100155 model laboratuvar tipi karıştırıcı kullanılmıştır. Devri 50-2000 d/d aralığında ayarlanabilmektedir. Standart pervaneli tip karıştırıcı mili ve tutucusu ile komple bir settir.

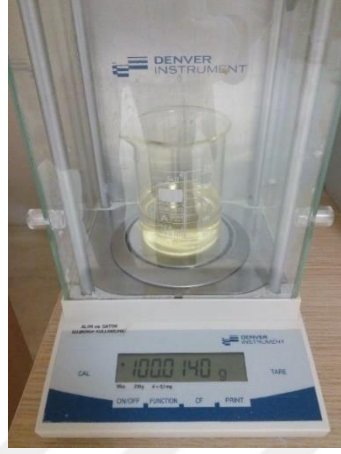


Şekil 2. 9. Laboratuvar tipi karıştırıcı

2.1.1.9. Hassas Terazı

Biyodizel transesterifikasyon işleminde ve yağın nötralizasyon işleminde gerekli kimyasalların ve materyallerin ağırlıklarının ölçümünde Denver Instrument marka TP-

214 model hassas terazi kullanılmıştır. Cihaz maksimum 210 g ölçebilmektedir ayrıca 10-30 °C ortam sıcaklığında 0,0001 g hassasiyetle ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 2. 10. Hassas terazi

2.1.1.10. Sıcaklık Kontrollü Manyetik Karıştırıcı

Biyodizel transesterifikasyonu, yağın nötralizasyonu ve serbest yağ asidi ölçüm işleminde IKA marka C-MAG HS7 model sıcaklık kontrollü manyetik karıştırıcı kullanılmıştır. Cihaz 5 ile 40 °C ortam sıcaklığında 100-1500 d/d ve 50 ile 500 °C arasında çalışmaktadır.



Şekil 2. 11. Sıcaklık kontrollü manyetik karıştırıcı

2.1.1.11. Etüv

Cam malzemelerin kurutulmasında Elektro-Mag marka M6040P model 0-300 °C sıcaklık aralığına sahip etüv kullanılmıştır.

2.1.1.12. Kronometre

Transesterifikasyon işleminde gerekli sürenin ölçümünde ve kinematik viskozitenin hesaplanmasında HİTRAX RUN marka, 40 dakika kapasiteli, 0,01 saniye hassasiyetli kronometre kullanılmıştır

2.1.1.13. Termometre

Çalışmada sıcaklık ölçümleri için dijital ve civa sütunlu termometreler kullanılmıştır. Dijital termometre Hanna Checktemp marka 0,1°C hassasiyetli, 0,2 °C doğruluğa sahip -50 ile +150°C sıcaklık aralığında ölçüm yapabilen kablolu problu tip termometredir.

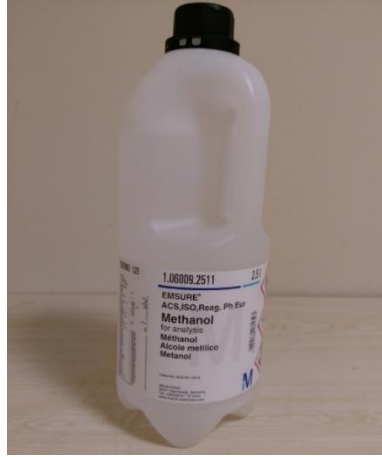


Şekil 2. 12. Termometre

2.1.2. Araştırmada Kullanılan Kimyasal Maddeler

2.1.2.1. Metil Alkol (CH₃OH)

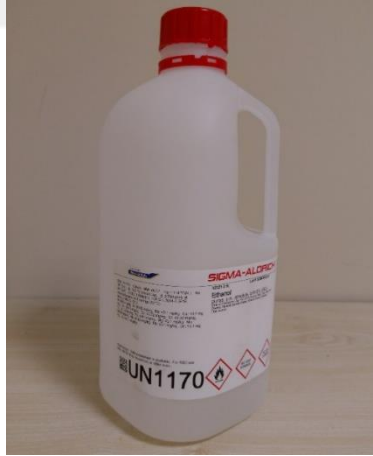
Haşhaş yağından ve Nötralize haşhaş yağından transesterifikasyon işlemini yapmak için MERCK marka 1.06009.2511 kodlu metil alkol (metanol) kullanılmıştır. Metil alkol 64°C kaynama noktasına sahiptir. 20°C'deki yoğunluğu 0,791-0,793 kg/l ve moleküler ağırlığı 32,04 g/mol dür. Metil alkol CH₃OH formülü ile gösterilmektedir.



Şekil 2. 13. Metil alkol (CH_3OH)

2.1.2.2. Etil Alkol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$)

Serbest yağ asidinin hesaplanmasında SIGMA-ALDRICH marka 32221 kodlu etil alkol kullanılmıştır. Etil alkol 78°C kaynama noktasına, -114°C donma noktasına sahiptir. 25°C 'deki yoğunluğu $0,789\text{ g/ml}$ ve moleküler ağırlığı $46,06\text{ g/mol}$ dür. Etil alkol $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ formülü ile gösterilmektedir.



Şekil 2. 14. Etil alkol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$)

2.1.2.3. Sodyum Hidroksit (NaOH)

Transesterifikasyon işleminde katalizör olarak MERCK marka 1.06498.5000 kodlu sodyum hidroksit kullanılmıştır. Sodyum hidroksit $319-322^\circ\text{C}$ erime noktasına sahiptir. 20°C deki yoğunluğu $2,13\text{ g/cm}^3$ ve moleküler ağırlığı 40g/mol 'dür. NaOH kimyasal formülü ile gösterilmektedir.



Şekil 2. 15. Sodyum hidroksit (NaOH)

2.1.2.4. Fosforik Asit (H_3PO_4)

Nötralizasyon işleminde Koray Kimya'nın üretmiş olduğu saflık değeri %85'den büyük olan fosforik asit kullanılmıştır.



Şekil 2. 16. Fosforik asit (H_3PO_4)

2.1.2.5. Ağartma Toprağı

Ağartma toprağı sıvıların renklerinin açılması ve istenmeyen partiküllerin uzaklaştırılması için kullanılan özel bir topraktır. Dünyanın dört bir tarafındaki yüzlerce yağ fabrikasında da kullanılmaktadır. Grade F 160 çok maksatlı bir ağartma toprağıdır, aktivitesi yüksektir ve daha çok sarı kırmızı renklerin hakim olduğu, pamuk tohumu yağı, ayçiçeği yağı ve madeni yağda kullanılmaktadır. Yağların içerisinde ki istenmeyen partiküllerin çöktürülmesi işleminde Mohen firmasının ürettiği Grade F 160 Ağartma toprağı kullanılmıştır.



Şekil 2. 17. Ağartma toprağı

2.1.2.6. Diethyl Ether ($\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{O}$

Yağların serbest yağ asit sayısını ölçmede kullanmak için VWR CHEMICALS marka diethyl ether kullanılmıştır. Diethyl ether $-123\text{ }^\circ\text{C}$ erime noktası , $-40\text{ }^\circ\text{C}$ parlama noktası sıcaklığına sahiptir. $20\text{ }^\circ\text{C}$ deki yoğunluğu $0,7135\text{ g/cm}^3$ ve moleküler ağırlığı $74,12\text{ g/mol}$ dır.



Şekil 2. 18. Diethyl ether ($\text{CH}_3\text{CH}_2)_2\text{O}$

2.1.2.7. Potasyum Hidroksit (KOH)

Yağların serbest yağ asit değerlerini ölçmek için NORATEKS marka Potasyum Hidrosit kullanılmıştır.



Şekil 2. 19. Potasyum hidroksit (KOH)

2.1.2.8. Fenolftalein ($C_{20}H_{14}O_4$)

Yağların serbest yağ asit değerlerini ölçmek için NORATEKS marka fenolftalein kullanılmıştır.



Şekil 2. 20. Fenolftalein ($C_{20}H_{14}O_4$)

2.2. Metot

2.2.1. Haşhaş Yağı ve Elde Edilen Ürünlerin Asitlik Değeri Ölçümü

Asit sayısı ölçüm öncesi yağ fiziksel olarak gözlemlenmiştir. Yağ içindeki yabancı maddeler tortular filtreleme işlemi ile yağ içinden uzaklaştırılmıştır. Ölçüm işlemi için 5,0358 g yağ erlene alınmıştır. Daha sonra cam mezür içine 25 ml diethyl ether ile 25 ml etil alkol alınarak erlene konulmuştur daha sonra erlenin içine 3 damla fenolftalein yağa eklenmiştir. Bu karışım sıcaklık kontrollü manyetik karıştırıcıya alınıp

karıştırılmaya başlanmıştır, bu sırada bürete alına KOH damla damla karışım renginde pembeleşme oluncaya kadar eklenmeye devam edilmiştir [127].



Şekil 2. 21. Serbest yağ asitliği tayini

Pembeleşme noktası ile damlalıktaki ilk nokta asında ki KOH farklı alınmıştır. Bu fark 5,1 ml olarak ölçülmüştür. Asitlik değeri aşağıda verilen denklem uygulanarak elde edilmiştir. Serbest yağ asidi miktarı ise denklem sonucu asitlik değerinin yarısı alınarak elde edilmiştir.

$$\text{Asitlik Değeri} = \left(\frac{\text{Damlalıktaki Fark}}{\text{Alınan Yağın Ağırlığı}} \right) \times 5,6 \quad [127]$$

2.2.2. Haşhaş Yağı Nötralizasyonu

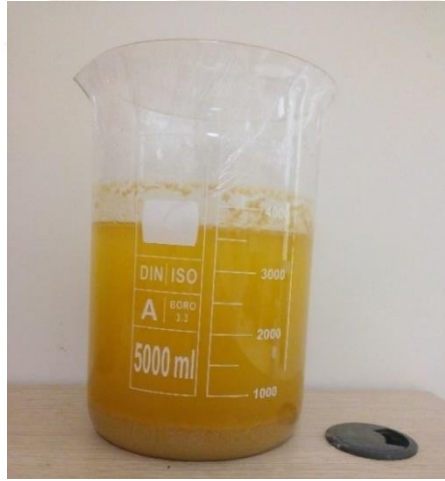
Nötralizasyon için haşhaş yağı 5 litrelik beher içine alınmıştır daha sonra beher sıcaklık kontrollü karıştırıcıya alınarak 100 °C'ye kadar ısıtılmıştır. Yağ 100 °C'ye ulaştıktan sonra sabit sıcaklıkta (100 °C) 2 saat beklemiştir. Burada ki amaç yağ içinde bulan suyu uzaklaştırmaktır [128].

Yağ içerisinde bulan su uzaklaştırıldıktan sonra yağ sıcaklığının 85 °C ye kadar düşmesi için beklenilmiştir. 85 °C'deki yağa, yağın %0,2'lik hacmi kadar fosforik asit eklenmiştir ve 10 dakika karıştırma işlemi devam etmiştir. Karıştırma işlemi devam ederken yağın hacimsel olarak %5'i kadar saf su ve saf suyun 1/3 ü kadar NaOH bir vida kapaklı şişenin içinde NaOH'lerin çözülmesi için karıştırılmıştır. 10 dakika sonunda elde edilen NaOH ve saf su karışımı yağın içine eklenerek 5 dakika daha

kariştırılmıştır. 5 dakika sonunda kariştırıcı ve ısıtıcı kapatılmış ve 3 saat fosfor bileşiklerinin cökmesi için beklenmiştir. Bekleme sonunda cöken fosfor bileşikleri ile yağın ayırma işlemi yapılmıştır [128].



şekil 2. 22. Yağa fosforik asitin ve NaOH su cözeltisinin eklenmesi



şekil 2. 23 Fosforik asit ve NaOH su cözeltisinin eklenmesi sonucunda oluşan fosfor bileşikleri

Ayrı bir kaba alınan yağ tekrar 85 °C'ye kadar ısıtılmıştır. Aynı sıcaklıktaki hacimsel olarak %20 si kadar saf su ile duşlama yöntemiyle yıkama işlemi yapılmıştır. Yıkama işlemi sonrasında 3 saat beklenilmiş ve su ile yağ ayırma hunisi yardımıyla ayrılmıştır [128]. Ayrıma işlemi sonrası yıkama işlemi aynı şekilde tekrarlanarak ikinci yıkama işlemi yapılmıştır.

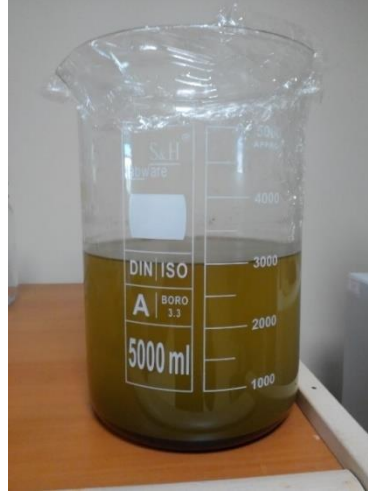


Şekil 2. 24. Yıkama sonrası elde edilen yağ ve yıkama suyu, yağ faz farkı

Yıkama ve ayrıştırma sonrası behere alınan yağ 100 °C'de 2 saat ısıtılarak yıkama sonrasında kalan su moleküllerinin yağdan uzaklaştırılmıştır. 2 saat sonunda yağ sıcaklığının 85 °C'ye düşmesi için beklenmiştir. İstenilen sıcaklığa gelen yağ düşük devirde kısa bir süre karıştırılmış daha sonra karıştırıcı hızı 1000 d/d ayarlanarak yağın %2 si kadar ağartma toprağı eklenmiştir. Elde edilen ağartma toprağı ve yağ karışımı sabit sıcaklıkta (85 °C'de) sabit devirde 45 dakika karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi sonunda beherin ağzı hava almayacak şekilde kapatılarak toprağın çökmesi için 3 saat bekletilmiştir. Çökme işlemi sonrası yağ üstten bir kap yardımıyla alınarak filtre kâğıdı yardımıyla süzölmüş ve içinde kalabilecek toprak veya yabancı maddelerden arındırılmıştır [128].



Şekil 2. 25 Kurutma işlemi sonrasında yağa ağartma toprağının eklenmesi



Şekil 2. 26. Yağ içerisinde çökelen ağartma toprağı



Şekil 2. 27. (D) nötrale haşhaş yağı, (E) haşhaş yağı

2.2.3. Transesterifikasyon Reaksiyonu Adımları

Alkol ve katalizörün karıştırılması: Katı katalizör, kısa zincirli bir alkol ile birlikte gerekli miktarlarda vidalı bir kapakta çözülmesi sağlanarak alkol/katalizör çözeltisi hazırlanmıştır.

Reaksiyon: Sıcaklık kontrollü manyetik karıştırıcının üstüne konulan yağın istenilen reaksiyon sıcaklığına ulaşması için beklenilmiştir. İstenilen sıcaklığa ulaşan yağın içine alkol/katalizör çözeltisi dökülmüş ve sıcaklık kontrollü manyetik karıştırıcının devri ayarlanmıştır. Reaksiyon süresi tamamlandıktan sonra elde edilen ürün ayırma hunisine alınmıştır.

Biyodizel ile Gliserolün Ayrışması: Reaksiyon tamamlandıktan sonra oluşan iki ana ürün gliserol ve biyodizeldir. Bu iki ana ürünü ayırmak için genelde ayırma hunisi kullanılır. Yoğunluk farkı ve yerçekimi yardımıyla bu iki ürün kolay bir şekilde ayrılmaktadır. Bazı durumlarda bu iki fazı daha hızlı ayırmak amacıyla santrifüj kullanılır.

Ayırma hunisine alınan ürün 15 saat geçtikten sonra ayırma hunisinin boşaltma vanası açılarak gliserol ayrı bir kaba alınmıştır ve ayırma hunisi içinde biyodizel kalmıştır. Kalan biyodizel tekrar 75 °C'ye kadar ısıtılmış ve tepkimeye girmeyen alkollerin uzaklaşması sağlanmıştır. Isıtma işlemi sonrası 15 saat beklenmiş ve ayırma hunisi yardımıyla kalan gliserollerde ayrılmıştır[112].



Şekil 2. 28. Transesterifikasyon reaksiyonu sonunda ayırma hunisine alınan biyodizellerin gliserolle oluşturduğu faz farkı

Biyodizelin Yıkanması: Biyodizel ile saf su aynı sıcaklıkta (50 °C) olacak şekilde ısıtılmıştır. Isıtılan biyodizel tekrar ayırma hunisine alınmıştır ve termometre ile biyodizelin sıcaklığı ölçülmüş ve saf su ile aynı sıcaklıkta olduğu teyit edilmiştir. Yağın hacimsel olarak %20'si kadar saf su duşlama yöntemi kullanılarak biyodizel yıkanmıştır.

Yıkamanın amacı, biyodizel içerisinde reaksiyona girmeyen alkol, kalan yağ asitleri, Na⁺, K⁺ iyonları, katalizör madde ve ayrıştırma esnasında bünyede kalma ihtimali olan gliserolün uzaklaştırılmasıdır [112].



Şekil 2. 29. Biyodizelin duşlama yöntemiyle yıkanması sonucu oluşan faz farkı ve yıkama sonucu ayırma hunisinin dibine çökelen bir miktar gliserol

Biyodizel ile yıkama suyunun ayrıştırılması ve kurutma işlemi: Yıkama işlemi tamamlandıktan 12 saat sonra su ve biyodizelin ayırma işlemi yapılmıştır. Ayırma işlemi sonrası 120 °C’de 2 saat kurutma işlemi yapılarak biyodizel içinde kalan su molekülleri biyodizelden uzaklaştırılmıştır [112].

2.2.4. Transesterifikasyon Reaksiyonunun Optimizasyonu

Transesterifikasyon reaksiyonunda katalizör olarak NaOH, alkol olarak metanol kullanılmıştır. Tüm deneylerde 100 g yağ kullanılmıştır. Bu deneylerin tümü Yozgat Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Biyoyakıt Laboratuvarında yapılmıştır.

Transesterifikasyon reaksiyonunda;

- Katalizör oranı
- Alkol/Yağ Oranı
- Reaksiyon Sıcaklığı
- Reaksiyon Süresi

optimizasyon işlemi yapılmıştır.

Optimizasyon işlemi başlamadan önce haşhaş yağı biyodizeli ve nötrale haşhaş yağı biyodizeli üretimi için; ağırlıkça % 0,5 katalizör oranı, ağırlıkça %20 alkol/yağ oranı, 60 °C sıcaklık, 60 dakika süre, 600 d/d devir belirlenmiştir.

2.2.4.1. Katalizör Oranının Optimizasyonu

Katalizör oranının optimizasyonunda her bir yağ için 5 farklı değer belirlenmiştir. Bu değerler yağın ağırlıkça; HY için; %0,5 - %0,75 - %1 - %1,25 - %1,5, NHY için; %0,25 - %0,5 - %0,75 - %1 - %1,25 olarak belirlenmiştir. Diğer parametreler (alkol yağ oranı ağırlıkça %20, sıcaklık 60 °C, süre 60 dakika) sabit tutularak 5 farklı katalizör miktarında biyodizel üretimi yapılarak optimizasyon işlemi yapılmış ve verimin en yüksek olduğu katalizör miktarı tespit edilerek bir sonraki adım olan alkol/yağ oranının optimizasyonu işlemine geçilmiştir.

2.2.4.2. Alkol/Yağ Oranının Optimizasyonu

Optimum alkol/yağ oranını belirlemek için 5 farklı alkol/yağ oranı belirlenmiştir. Belirlenen alkol/yağ oranları; ağırlıkça %10-%15-%20-%25-%30'dir.

Biyodizel alkol/yağ oranının optimizasyonunda; NHYB için ağırlıkça %0,5 katalizör oranı, 60 °C sıcaklık ve 60 dakika süre sabit tutulmuştur. HYB için ağırlıkça %0,75 katalizör oranı, 60 °C sıcaklık ve 60 dakika süre sabit tutulmuştur. Optimum alkol/yağ oranı tespit edildikten sonra bir sonra sonraki adım olan reaksiyon sıcaklığının optimizasyonu işlemine geçilmiştir.

2.2.4.3. Reaksiyon Sıcaklığının Optimizasyonu

Reaksiyon sıcaklığının optimizasyonu için 5 farklı değer belirlenmiştir. Belirlenen sıcaklıklar; 30, 40, 50, 60, 70 °C'dir. Optimizasyon işleminde NHYB için ağırlıkça %0,5 katalizör oranı, ağırlıkça %20 alkol yağ oranı, 60 dakika süre sabit tutulmuştur. HYB için ise ağırlıkça %0,75 katalizör oranı, ağırlıkça %20 alkol yağ oranı, 60 dakika süre sabit tutulmuştur.

Belirlenen 5 farklı sıcaklıkta biyodizel üretimi yapılmış ve verimin en yüksek olduğu sıcaklık tespit edilip sürenin optimizasyonu işlemine geçilmiştir.

2.2.4.4. Reaksiyon Süresinin Optimizasyonu

Optimum reaksiyon süresini tespit edebilmek için 30, 45, 60, 75, 90 dakika olmak üzere 5 farklı süre belirlenmiştir. Biyodizel reaksiyon süresinin optimizasyonunda NHYB için ağırlıkça %0,5 katalizör oranı, ağırlıkça %20alkol yağ oranı, 60 °C sıcaklık, HYB için ağırlıkça %0,75 katalizör oranı, ağırlıkça %20 alkol yağ oranı, 60 °C sıcaklık sabit tutulmuştur.

Reaksiyon süresi optimizasyon işlemi yapıp en yüksek verim hesaplanıp transesterifikasyon reaksiyonun optimizasyon işlemi tamamlanmıştır



3. BULGULAR

Bu bölümde yapılan araştırma neticesinde elde edilen sonuçlar başlıklar halinde verilerek tartışma yapılmıştır.

3.1. Yağ ve Yakıtların Analizleri

HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının analizleri yapılmış biyodizel Avrupa Birliği biyodizel standardı EN 14214'e, Amerika biyodizel standardı ASTM D6751'e göre uygunluğu incelenmiştir.

Tablo 3. 1. HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının yakıt özellikleri

		HY	NHY	HYB	NHYB	Dizel
Kinematik Viskozite (40 °C)	mm ² /s	29,33	28,98	4,25	4,06	2,65
Yoğunluk (15°C)	kg/m ³	923,48	924,05	886,45	884,8	824,81
Asit Sayısı	mg KOH/g	2,809	0,168	0,112	0,112	0,113
Bakır Şerit Korozyonu (50 °C'de 3 saat)		1a	1a	1a	1a	1a
Su İçeriği	mg/kg	102,43	399,62	409,44	356,21	37,73
Parlama Noktası	°C	212	203	178	171	60
Bulutlanma	°C	-15	-16	-4	-5	-6
SFTN	°C	-16	-19	-9	-7	-20
Akma Noktası	°C	-20	-24	-13	-12	-36
Donma Noktası	°C	-23	-27	-20	-18	-39
Isıl Değer	MJ/kg	-	-	39,8	39,75	46,07
Renk Tayini ASTM D1500		2,3	0,4	1,3	0,3	0,5
pH		6,009	6,106	8,798	8,893	4,545

3.1.1. Serbest Yağ Asitliği Tayini

Transesterifikasyon işlemi öncesi haşhaş yağının serbest yağ asit değeri 2,809 mgKOH/g olarak ölçülmüştür. Serbest yağ asit değeri yüksek olduğu gözlemlenen haşhaş yağı nötralizasyon işlemi ile serbest yağ asit değeri düşürülmüştür. Haşhaş yağı nötralizasyon işlemi sonunda serbest yağ asit değeri 2,809 mg KOH/g'dan 0,168 mg KOH/g'a düşmüştür. Nötralizasyon işlemi sonunda elde edilen yağ standardın belirlemiş değere uygun hale gelmiştir. Serbest yağ asit sayısı EN 14214 ve ASTM

D6751 0,5 mg KOH/g'dır. Serbest yağ asit sayısı analiz sonuçları Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3. 2. HY, NHY HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının serbest yağ asit sayısı analiz sonuçları

	HY	NHY	HYB	NHYB	Dizel
SYA	2,809	0,168	0,112	0,112	0,113

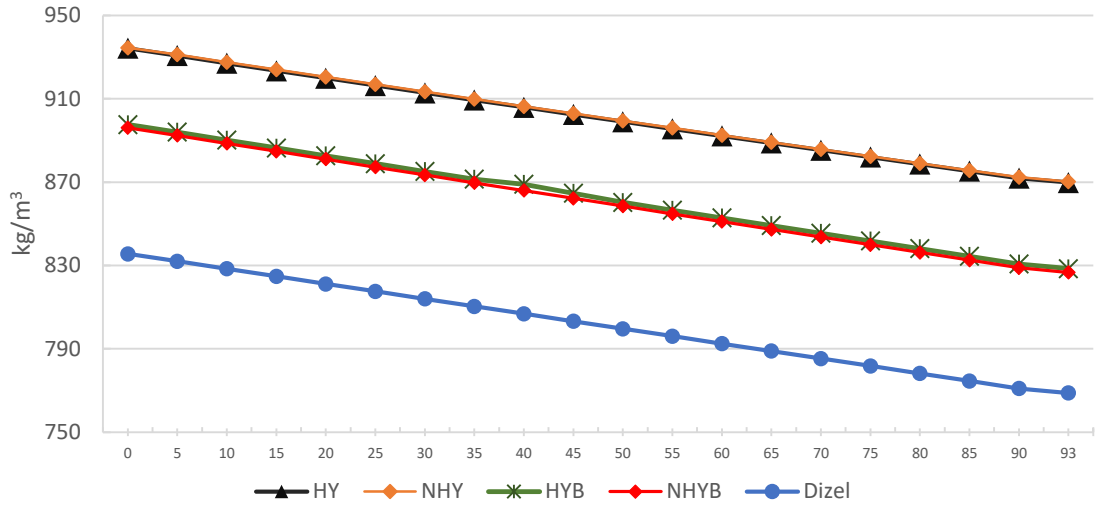
3.1.2. Yağların ve Yakıtların Farklı Sıcaklıklarda Yoğunluk Değerlerinin Belirlenmesi

Ölçüm yapılmadan önce cihaz içinde arta kalan numuneler hegzan, etanol veya aseton ile temizlenmiştir. Cihaz içinde solvent kalıntısı bulunmaması için cihaza kuru hava uygulanarak cihaz içinde kalan solventler uzaklaştırılmıştır. Temizlik sonrası cihaz içine şırınga yardımıyla numune içinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde enjekte edilmiştir ve ölçüm yapılmıştır. Yakıtların ve yağların 0-93 °C derecedeki yoğunlukları 5 °C derece aralıklarla ölçülmüştür.

HY ve NHY'ndan elde edilen biyodizeller EN 14214'ün belirlemiş olduğu parametrelerin içinde bir sonuç vermiştir. HY'nın 15 °C'deki yoğunluğu 923,48 kg/m³ olarak ölçülmüştür. Transesterifikasyon reaksiyonu sonunda elde edilen HYB'nin 15 °C'deki yoğunluğu 886,45 kg/m³'e düşmüştür. NHY'nın 15 °C'deki yoğunluğu 924,05 kg/m³'tür. Transesterifikasyon reaksiyonu sonucunda elde edilen NHYB'nin 15 °C'deki yoğunluğu ise 884,8 kg/m³ olarak bulunmuştur. Yoğunlukların sıcaklığa bağlı olarak azaldığı gözlemlenmiştir.

Aksoy [61] haşhaş yağından transesterifikasyon yöntemi ile üretmiş olduğu haşhaş yağı biyodizelinin 15 °C'deki yoğunluğunu 893 kg/m³ olarak bulmuştur. Rashid U. ve ark. [132] ise haşhaş yağından transesterifikasyon yöntemi ile üretmiş olduğu haşhaş yağı biyodizelinin 15 °C'deki yoğunluğunu 886 kg/m³ olarak ölçmüştür.

Şekil 3.1.'de HY, HYB, NHY, NHYB ve dizel yakıtlarının sıcaklığa bağlı yoğunluk değişim grafiği verilmiştir.



Şekil 3. 1. HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının sıcaklığa bağlı yoğunluk değişimi

3.1.3. Yağların ve Yakıtların Farklı Sıcaklıklarda Kinematik Viskozitelerinin Değerlendirilmesi

Ölçümler öncesi ubbelohde tip viskozite tüpleri aseton ve tolüen ile yıkanmış ve kurutulmaya bırakılmıştır. Viskozite banyosu istenilen sıcaklığa ayarlanmış ve tüpler banyo içine daldırılmıştır. Viskozite tüpü içine yeterli miktarda numune koyulmuş ve puar yardımıyla numune üst rezervuarda işaretli olan kısma kadar çekilmiştir. Numune banyo sıcaklığa (denge sıcaklığı) gelmesi için beklenmiştir. Denge sıcaklığına ulaştıktan sonra puarlar çıkartılıp numune yerçekimi yardımıyla da tüp içinde akmaya başlamıştır. Viskozite tüpünde işaretli olan iki alan arasında ki akış kronometre yardımıyla ölçülür ve $v=c.t$ formülü ile hesaplanmıştır.

$$v = c.t$$

v = kinematik viskozite mm^2/s

c = tüp constantı mm^2/s^2

t = zaman (s)

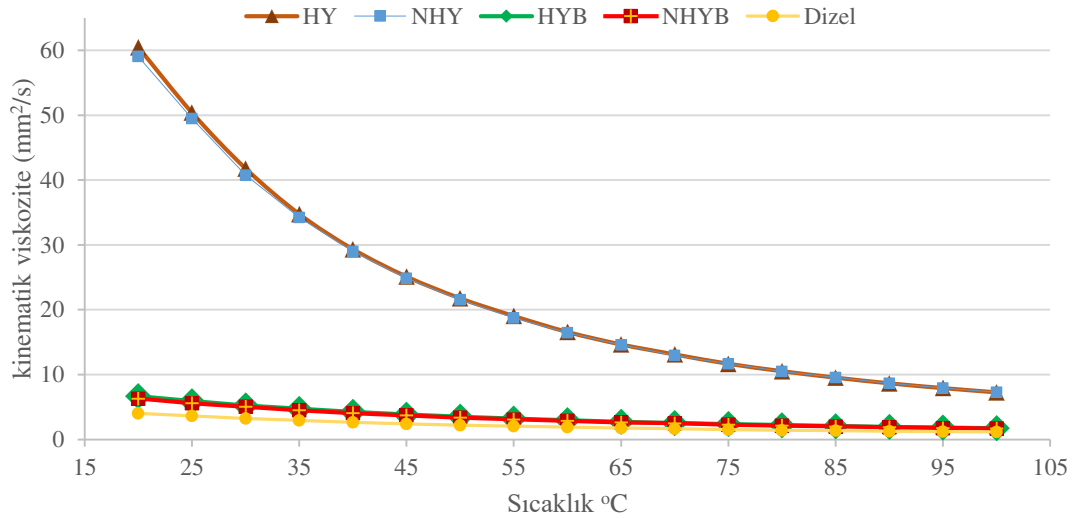
[131]

Ölçümler 20-100 °C derece arasında 5 °C derece fark ile ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde sıcaklığa bağlı olarak viskozitenin düştüğü gözlemlenmiştir. Transesterifikasyon reaksiyonu sonucunda elde edilen yakıtların viskozitelerini düştüğü saptanmıştır. HY ve NHY'larına uygulanan transesterifikasyon reaksiyonu sonucunda 40 °C'deki viskozite değerleri yaklaşık %85 azalmıştır. HYB'nin 40

°C'deki kinematik viskozite değeri 4,25 mm²/s, NHYB'nin ise 4,06 mm²/s olarak hesaplanmıştır. Yağa uygulanan nötralizasyon işleminin kinematik viskozite değerlerine olumlu yönde etki yaptığı görülmektedir. Elde edilen biyodizellerin EN 14214 ve ASTM D6751 standardına uygun olduğu görülmüştür. Yapılan ölçümlerde sıcaklığa bağlı olarak viskozitenin düştüğü gözlemlenmiştir.

Aksoy [61] HY'ndan transesterifikasyon reaksiyonu ile üretmiş olduğu HYB'nin 40 °C'deki kinematik viskozite değerini 4,63 mm²/s olarak ölçmüştür. Rashid U.ve ark [132] ise HY'ndan transesterifikasyon reaksiyonu ile üretmiş olduğu HYB'nin 40 °C'deki kinematik viskozite değerini 4,12 mm²/s olarak ölçmüştür.

Şekil 3.2'de HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının sıcaklığa bağlı kinematik viskozite değişim grafiği verilmiştir.



Şekil 3. 2. HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının sıcaklığa bağlı kinematik viskozite değişim grafiği

3.1.4. Yağların ve Yakıtların Soğuk Akış Özellikleri

Yağların ve yakıtların soğuk akış özellikleri incelenmiştir. Haşhaş yağı ve nötrale haşhaş yağının dizele göre daha düşük sıcaklıklılarda wax kristalleri gözlemlenmiştir. Haşhaş yağı biyodizeli, nötrale haşhaş yağı biyodizeli ve dizel göre birbirlerine yakın sıcaklıklarda bulutlanmaya başlamıştır. SFTN, akma noktası, donma noktası incelendiğinde yağlardan elde edilen biyodizellerin bulutlanma, SFTN, akma ve donma noktası sıcaklıklarında yükselme olmuştur. HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının soğuk akış özellikleri Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3. 3. HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının soğuk akış özellikleri

SOĞUK AKIŞ ÖZELLİKLERİ					
	HY	NHY	HYB	NHYB	DİZEL
BN (°C)	-15	-16	-4	-5	-6
SFTN (°C)	-16	-19	-9	-7	-20
AN (°C)	-20	-24	-13	-12	-36
DN (°C)	-23	-27	-20	-18	-39

3.1.5. Yağların ve Yakıtların Parlama Noktası Sıcaklıklarının Değerlendirilmesi

Biyodizelin en önemli avantajlarından biri olan parlama noktası sıcaklıkları haşhaş yağı biyodizeli ve nötralize haşhaş yağı biyodizeline iyi sonuçlar alınmıştır. Transesterifikasyon reaksiyonu sonucu elde edilen biyodizeller dizele göre yaklaşık olarak 3 kat sıcaklıkta parlayarak depolama ve nakliye koşullarında daha güvenli olduğunu ispatlamıştır. Yapılan ölçümlerde HYB'nin parlama noktası sıcaklığı 178 °C olarak ölçülmüştür. Uyar [126] ise HY'ndan üretmiş olduğu HYB'nin parlama noktası sıcaklığını 162,7 °C olarak ölçmüştür. Rashid U. ve ark., [132] ise üretmiş olduğu HYB'nin parlama noktası sıcaklığını 175 °C olarak ölçmüştür. Tablo 3.4.'de HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının parlama noktası sıcaklıkları verilmiştir.

Tablo 3. 4. HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının parlama noktası sıcaklıkları

	HY	NHY	HYB	NHYB	Dizel
Sıcaklık (°C)	212	203	178	171	60

3.1.6. Yağların ve Yakıtların Su İçeriğinin Değerlendirilmesi

HY, NHY, HYB, ve NHYB'nin su içerikleri ASTM D6751 ve EN 14214'ün belirlemiş olduğu değerler arasındadır. Sonuçlar Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3. 5. HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının su içeriği

	HY	NHY	HYB	NHYB	Dizel
Su içeriği (mg/kg)	102,43	399,62	409,44	356,21	37,73

3.1.7. Yağların ve Yakıtların Bakır Şerit Korozyonun Ölçülmesi

HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının bakır şerit korozyonu değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde ASTM D6751 ve EN 14214 standartlarına uygun olduğu görülmüştür.

Yapılan ölçümlerde HYB'nin bakır şerit korozyon derecesi 1a olarak gözlemlenmiştir. Rashid U. ve ark. [132] üretmiş olduğu HYB'nin bakır şerit korozyonu derecesini 1a olarak gözlemlemiştir. Tablo 3.6'da HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının bakır şerit korozyonu değerleri verilmiştir

Tablo 3. 6. HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının bakır şerit korozyonu değerleri

	HY	NHY	HYB	NHYB	Dizel
Bakır Şerit Korozyonu (50 °C'de 3 saat)	1a	1a	1a	1a	1a

3.1.8. Yağların ve Yakıtların Renk Tayini

Dizelin, nötrale haşhaş yağı biyodizelinin, haşhaş yağı biyodizelinin ve haşhaş yağının renk analizleri yapılmıştır. Sonuçlar Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3. 7. NHYB, HYB, NHY, HY ve dizel yakıtlarının renk tayinleri

	NHYB	HYB	NHY	HY	DİZEL
ASTM D1500	0,3	1,3	0,4	2,3	0,5

3.1.9. Biyodizellerin Isıl Değerlerinin Değerlendirilmesi

Haşhaş yağı biyodizeli ve nötrale haşhaş yağı biyodizeli dizele göre yaklaşık %13 daha az alt ısı değere sahip oldukları ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde HYB'nin alt ısı değeri 39,8 MJ/kg olarak ölçülmüştür. Aksoy [61] ise üretmiş olduğu HYB'nin alt ısı değerini 42,085 MJ/kg olarak ölçmüştür. Alt ısı değerleri Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3. 8. HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının ısı değeri

	HYB	NHYB	Dizel
MJ/kg	39,8	39,75	46,07

3.1.10. Yağların ve Yakıtların pH'nın Değerlendirilmesi

Dizel yağlara ve biyodizellere göre daha asidik çıkmıştır. Haşhaş yağı ve nötralize haşhaş yağı asidik çıkarken, transesterifikasyon reaksiyonu sonucu elde edilen biyodizeller bazik çıkmıştır. Reaksiyonda yıkama işlemi sırasında daha fazla yıkama suyu kullanılarak elde edilen biyodizellerin pH değerleri nötre daha yakın sonuçlar elde edilebilir. Sonuçlar Tablo 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3. 9. HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının pH sonuçları

	HY	NHY	HYB	NHYB	Dizel
pH	6,009	6,106	8,798	8,893	4,545

3.2. Transesterifikasyon Reaksiyonuna Uygulanan Optimizasyon Çalışmaları

Haşhaş yağı ve nötralize haşhaş yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimi yapılmıştır. Transesterifikasyon reaksiyonundan maksimum verim elde edebilmek için optimizasyon işlemi yapılmıştır. Optimizasyon sonucu elde edilen verimler ve sonuçlar aşağıda verilmiştir.

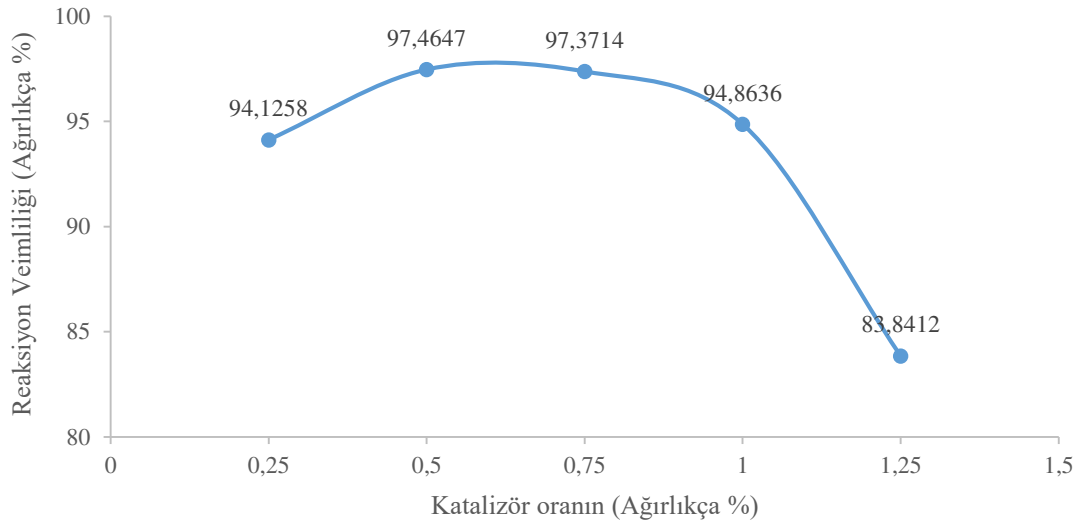
3.2.1. Katalizör Oranının Optimizasyonu

Katalizör seçimi verimi ve reaksiyon süresinin etkilemektedir. Asidik katalizörler bazik katalizörlere göre daha fazla alkole ihtiyaç duymaları ve transesterifikasyon reaksiyonunun daha yavaş gerçekleştiğinden [103] dolayı bazik katalizör olan NaOH kullanılmıştır. Katalizör oranları yağın ağırlıkça %'si olacak şekilde hesaplanmıştır. Katalizör oranının optimizasyonunda her bir yağ için 5 farklı değer belirlenmiştir. Katalizör oranı haşhaş yağı için; ağırlıkça %0,5 - %0,75 - %1 - %1,25 - %1,5, nötralize haşhaş yağı için; ağırlıkça %0,25 - %0,5 - %0,75 - %1 - %1,25 olarak belirlenmiştir. Katalizör oranının optimizasyon işleminde transesterifikasyon reaksiyonunda hem haşhaş yağı hem de nötralize haşhaş yağı için metanol kullanılmıştır. Optimizasyon işleminde sırasıyla en düşük orandan başlanarak 20 g metanol içinde katalizörler (NaOH) çözülerek her bir yağ için 5 farklı metoksit çözeltisi hazırlanmıştır. 100 g yağ sıcaklık kontrollü manyetik karıştırıcının üstüne konulmuş ve yağın 60 °C gelmesi beklenmiştir. 60 °C ulaşan yağın içine hazırlanan metoksit çözeltisi eklenmiştir. Metoksit çözeltisinin eklendiği andan itibaren olmak üzere reaksiyon süresi 60 dakika ve karıştırıcı devri 600 d/d olarak belirlenmiştir. 60 dakika sonunda sıcaklık kontrollü

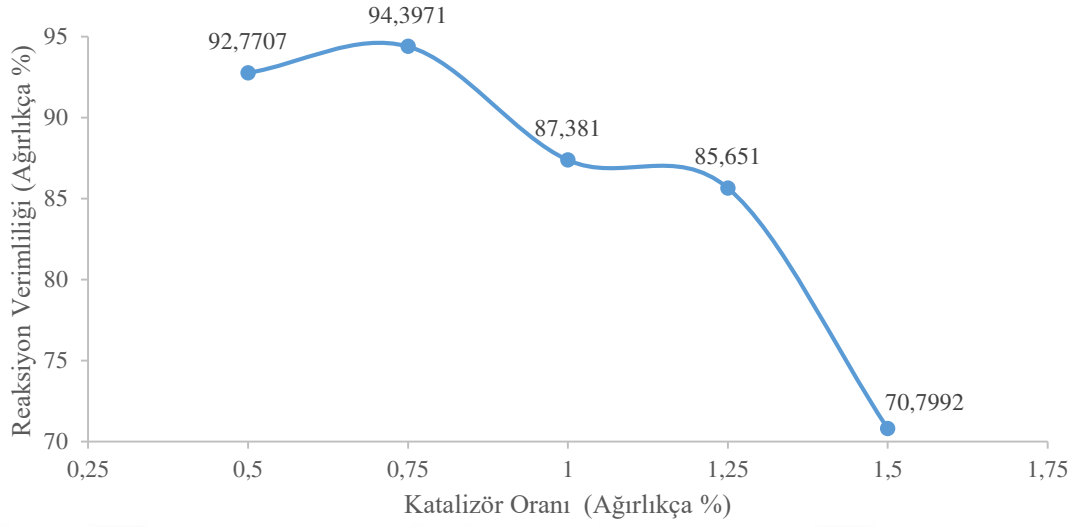
manyetik karıştırıcı kapatılmıştır. Yapılan ayırma, yıkama, kurutma işlemleri sonucunda verim hesaplamaları yapılmıştır.

Katalizör oranının optimizasyonu işleminde haşhaş yağı biyodizeli için en yüksek reaksiyon verimi ağırlıkça %0,75 katalizör oranında %94,3971 olarak hesaplanmıştır. Nötralize haşhaş yağı biyodizeli en yüksek reaksiyon verimi ağırlıkça %0,5 katalizör oranında %97,4647 olarak hesaplanmıştır. Aksoy [61] haşhaş yağından üretmiş olduğu haşhaş yağı biyodizeline en yüksek reaksiyon verimini ağırlıkça %0,5 katalizör oranında %94,13 olarak bulmuştur.

En yüksek reaksiyon verimleri hesaplandıktan sonra alkol/yağ oranının optimizasyon işlemine geçilmiştir. Nötralize haşhaş yağı biyodizeli verim grafiği Şekil 3.3’de, haşhaş yağı biyodizeli verim grafiği ise Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3. 3. Katalizör oranının nötralize haşhaş yağı biyodizeli verimine etkisi.
(Alkol/yağ oranı ağırlıkça %20, Sıcaklık 60 °C, Süre 60 dakika)



Şekil 3. 4. Katalizör oranının haşhaş yağı biyodizeli verimine etkisi. (Alkol/yağ oranı ağırlıkça %20, Sıcaklık 60 °C, Süre 60 dakika)

3.2.2. Alkol/Yağ Oranının Optimizasyonu

Optimum alkol/yağ oranını belirlemek için 5 farklı alkol/yağ oranı belirlenmiştir. Belirlenen oranlar; ağırlıkça %10-%15-%20-%25-%30'dur. Alkol olarak metanol kullanılmıştır.

Katalizör oranının optimizasyonu sonucunda elde edilen veriler sonucunda haşhaş yağı biyodizeli için ağırlıkça %0,75 katalizör oranı, nötralize haşhaş yağı için de ağırlıkça %0,5 katalizör oranında, belirlenen farklı miktardaki alkol için de çözünerek 5'er farklı metoksit çözeltisi hazırlanmıştır.

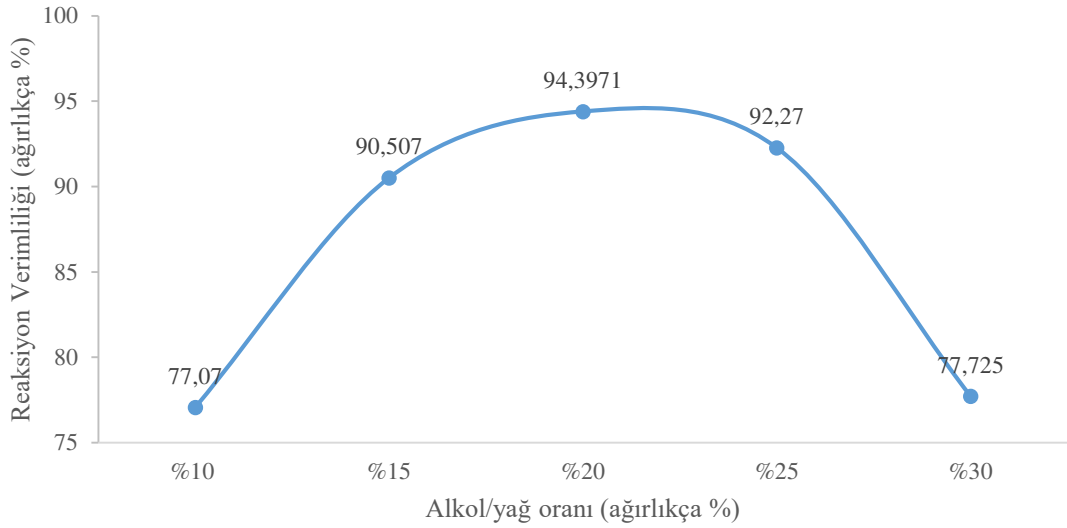
100 g yağ sıcaklık kontrollü manyetik karıştırıcının üstüne alınmış ve yağ sıcaklığının 60 °C'ye ulaşınca hazırlanan metoksit çözeltisi yağın içine dökülmüştür. Metoksitin döküldüğü andan itibaren kronometre yardımıyla 60 dakika tutulmuştur. Sıcaklık kontrollü manyetik karıştırıcı devri 600 d/d olarak ayarlanmıştır. 60 dakika sonunda sıcaklık kontrollü manyetik karıştırıcı kapatılmıştır. Yapılan ayırma, yıkama, kurutma işlemleri sonucunda verim hesaplamaları yapılmıştır.

Haşhaş yağı biyodizeli için maksimum verim ağırlıkça %20 alkol/yağ oranı, ağırlıkça %0,75 katalizör oranının karıştırılması sonucu elde edilen metoksit çözeltisinin eklenmesi ile üretilen biyodizelde hesaplanmıştır. Haşhaş yağı biyodizeli için maksimum verim %94,3971'dir.

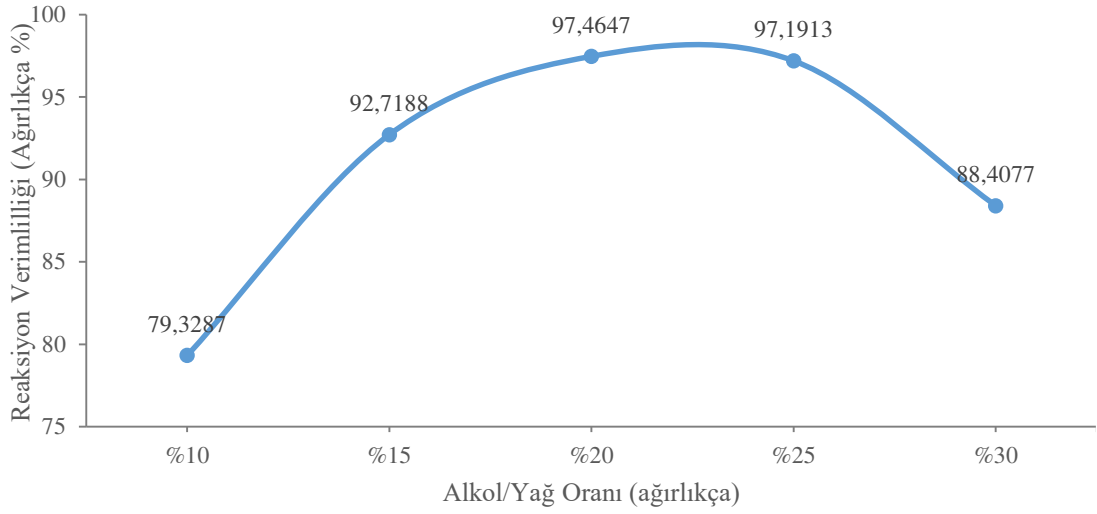
Nötralize haşhaş yağı biyodizeli için maksimum verim ağırlıkça %20 alkol/yağ oranı, ağırlıkça %0,5 katalizör oranının karıştırması ile elde edilen metoksit çözeltisinin eklenmesi ile üretilen biyodizelde hesaplanmıştır. Nötralize haşhaş yağı biyodizeli için maksimum verim %97,4647'dir

Aksoy [61] haşhaş yağı optimizasyon çalışmasında en yüksek reaksiyon verimini ağırlıkça %20 alkol/yağ oranının içinde ağırlıkça%0,5 katalizör oranın çözünmesi sonucu elde edilen metoksit çözeltisinden elde ettiği biyodizelde reaksiyon verimini %94,13 olarak hesaplamıştır.

Şekil 3.5'de alkol/yağ oranının haşhaş yağı biyodizeli verimine etkisi, Şekil 3.6'da ise alkol/yağ oranının nötralize haşhaş yağı biyodizeli verimine etkisi grafikleri verilmiştir.



Şekil 3. 5. Alkol/yağ oranının haşhaş yağı biyodizeli verimine etkisi. (Katalizör oranı ağırlıkça %0,75, Sıcaklık 60 °C, Süre 60 dakika)



Şekil 3. 6. Alkol/yağ oranının nötralize haşhaş yağı biyodizeli verimine etkisi. (Katalizör oranı ağırlıkça %0,5, Sıcaklık 60 °C, Süre 60 dakika)

3.2.3. Reaksiyon Sıcaklığının Optimizasyonu

Transesterifikasyon reaksiyonunda kullanılan sıcaklıkların genelde alkolün kaynama noktasına yakın bir sıcaklığa getirilmesi ve oda sıcaklığında da reaksiyonun gerçekleşmesinden dolayı 5 farklı sıcaklık değeri tercih edilmiştir. Bu sıcaklık değerleri; 30-40-50-60-70 °C olarak seçilmiştir.

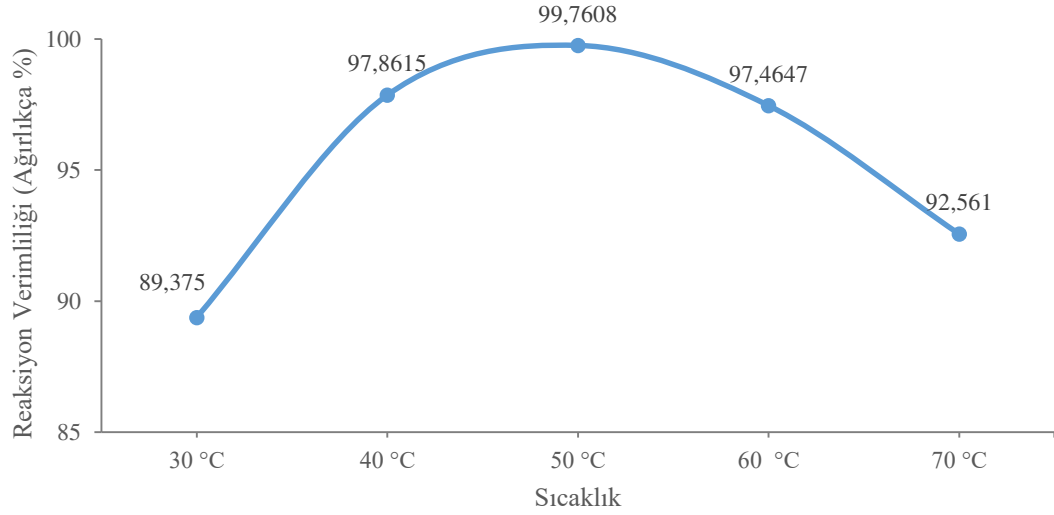
Katalizör ve alkolün optimizasyonu sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda nötralize haşhaş yağı biyodizeli için ağırlıkça %0,5 katalizör oranı, ağırlıkça %20 alkol/yağ oranı, haşhaş yağı biyodizeli için ağırlıkça %0,75 katalizör oranı, ağırlıkça %20 alkol/yağ oranı içinde çözülerek elde edilen metoksit çözeltileri 30-40-50-60-70 °C'deki 5 farklı yağa eklenmiş 60 dakika sonra sıcaklık kontrollü manyetik karıştırıcı kapatılmıştır. Yapılan ayırma, yıkama, kurutma işlemleri sonucunda verim hesaplamaları yapılmıştır.

Transesterifikasyon reaksiyonu sonunda elde edilen verim nötralize haşhaş yağı biyodizeli için ağırlıkça %0,5 katalizör oranı, ağırlıkça %20 alkol/yağ oranı, 60 dakika süre, 50 °C sıcaklıkta %99,7608 olarak hesaplanmıştır. Haşhaş yağı biyodizeli için ise ağırlıkça %0,75 katalizör oranı, ağırlıkça %20 alkol/yağ oranı, 60 dakika süre ve 60 °C sıcaklıkta % 94,3971 olarak hesaplanmıştır.

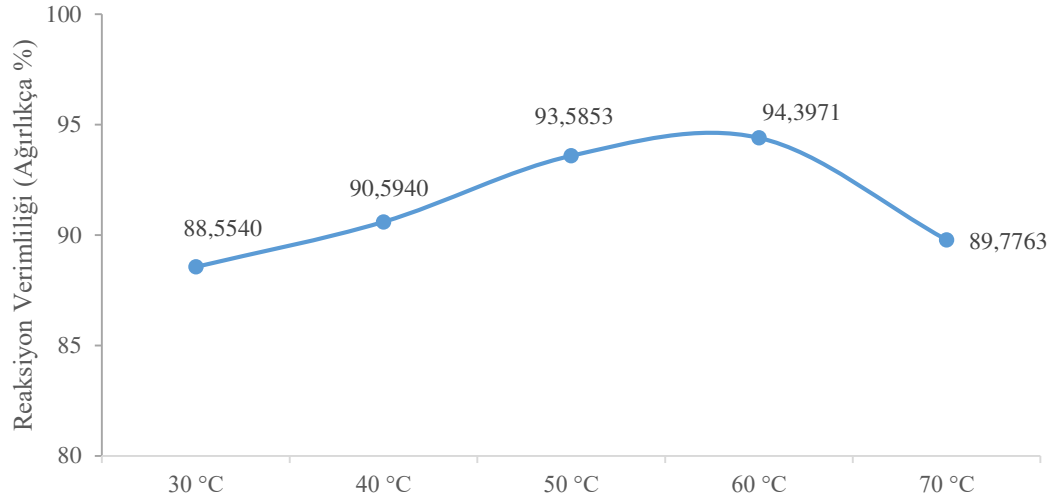
Aksoy [61] haşhaş yağından transesterifikasyon yöntemi ile üretmiş olduğu haşhaş yağı biyodizelinde en yüksek reaksiyon verimini 60 °C sıcaklıkta, %94,13 bulmuştur. Bu reaksiyonu ağırlıkça %0,5 katalizör oranı, ağırlıkça %20 alkol/yağ oranı ve 75 dakika reaksiyon süresinde yapmıştır. Bu çalışmada katalizör olarak NaOH, alkol olarak metanol kullanılmıştır.

Yapılan bu çalışmalar incelendiğinde en yüksek verimlerin ortalama 60 °C sıcaklıklarda olduğu görölmüştür. Yağa uygulanan nötralizasyon işleminin reaksiyon veriminin artmasına ve verimin en yüksek olduğu sıcaklık değeri düşmesine neden olmuştur.

Şekil 3.7’de sıcaklığın nötralizasyon haşhaş yağı biyodizeli verimine etkisi, Şekil 3.8’de sıcaklığın haşhaş yağı biyodizeli verimine etkisi grafiğı verilmiştir.



Şekil 3. 7. Sıcaklığın nötralizasyon haşhaş yağı biyodizeli verimine etkisi. (Katalizör oranı ağırlıkça %0,5, Alkol/yağ oranı ağırlıkça %20, Süre 60 dakika)



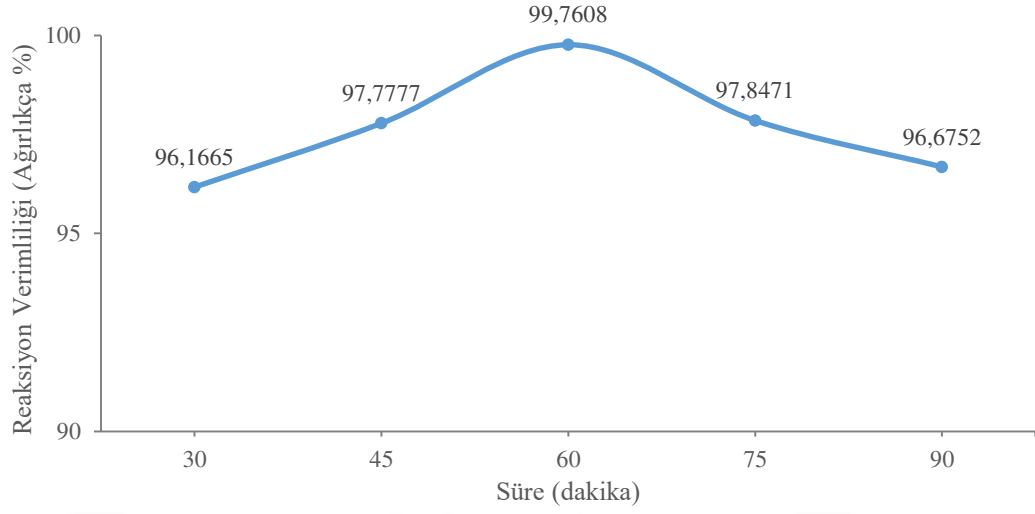
Şekil 3. 8. Sıcaklığın haşhaş yağı biyodizeli verimine etkisi. (Katalizör oranı ağırlıkça %0,75, Alkol/yağ oranı ağırlıkça%20, Süre 60 dakika)

3.2.4. Reaksiyon Süresinin Optimizasyonu

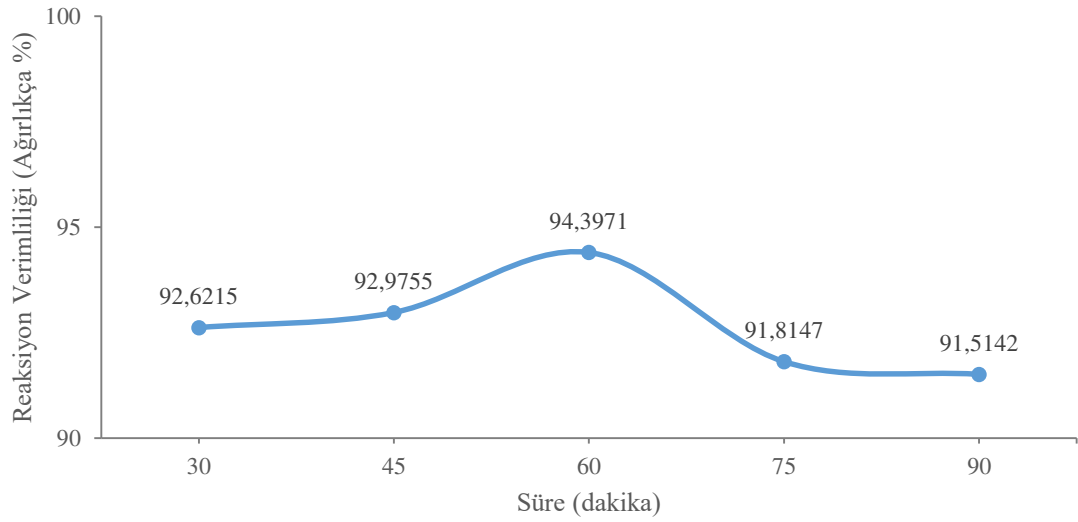
Reaksiyon sürelerinin kısa olması reaksiyon verimini düşürürken viskozite değerlerinin yüksek çıkmasına sebep olmaktadır. En uygun verimi bulabilmek için 30, 45, 60, 75 ve 90 dakika süreleri belirlenmiştir.

Haşhaş yağı biyodizeli için; ağırlıkça %0,75 katalizör oranı, ağırlıkça %20 alkol/yağ oranı, 60 °C sıcaklık, Nötralize haşhaş yağı için ağırlıkça %0,5 katalizör oranı, ağırlıkça %20 alkol/yağ oranı, 50 °C sıcaklık sabit tutularak en kısa süreden başlanarak biyodizel üretimleri yapılmıştır.

Haşhaş yağı biyodizeli ve nötralize haşhaş yağı biyodizeli için verim 30 dakikadan başlayarak 60 dakikaya kadar artmıştır, 60 dakikadan sonra verim düşmeye başlamıştır. Haşhaş yağı biyodizeli için maksimum verim 60 dakika sürede %94,3971, nötralize haşhaş yağı biyodizeli için ise maksimum verim yine 60 dakika sürede %99,7608 olarak hesaplanmış ve optimizasyon işlemi sona ermiştir.



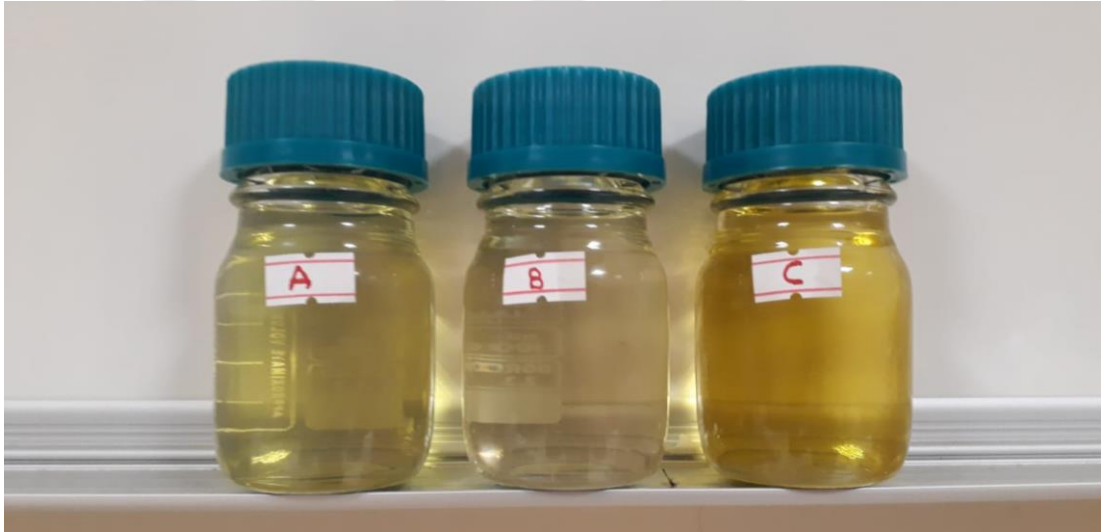
Şekil 3. 9. Reaksiyon süresinin nötralize haşhaş yağı biyodizeli verimine etkisi. (Katalizör oranı ağırlıkça %0,5, Alkol/yağ oranı ağırlıkça %20, Sıcaklık 50 °C)



Şekil 3. 10. Reaksiyon süresinin haşhaş yağı biyodizeli verimine etkisi. (Katalizör oranı ağırlıkça %0,75, Alkol/yağ oranı ağırlıkça %20, Sıcaklık 60 °C)



Şekil 3. 11. HY ve NHY'ına uygulanan optimizasyon çalışmaları sırasında elde edilen biyodizeller



Şekil 3. 12. (A) Dizel yakıtı, (B) NHYB, (C) HYB

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, transesterifikasyon reaksiyonu optimizasyon çalışması yapılarak maksimum biyodizel verimi elde etmek amaçlanmıştır. Elde edilen biyodizeller ASTM D6751, EN 14214 standartları ve referans dizel yakıt ile karşılaştırılmıştır.

Yapılan optimizasyon çalışması sonucunda haşhaş yağı biyodizeli için katalizör oranı ağırlıkça %0,75, alkol/yağ oranı ağırlıkça %20, sıcaklık 60 °C, süre 60 dakikada maksimum verim %94,3971 olarak bulmuştur. Aksoy [61] ise haşhaş yağı biyodizeline uyguladığı optimizasyon çalışmasında en yüksek reaksiyon verimini ağırlıkça %20 alkol/yağ oranı, ağırlıkça %0,5 katalizör oranı ve 60 °C reaksiyon sıcaklığından %94,13 olarak bulmuştur. Bu iki çalışma kıyaslandığında ürettiğimiz haşhaş yağı biyodizelin Aksoy [61]'un ürettiği haşhaş yağı biyodizeline göre çok yakın değerler almasına rağmen bizim ürettiğimiz haşhaş yağı biyodizeli verimi bir miktar yüksek çıkmıştır.

Nötralle haşhaş yağında ise katalizör oranı ağırlıkça %0,5, alkol/yağ oranı ağırlıkça %20, sıcaklık 50 °C, süre 60 dakikada maksimum verim %99,7608 olarak hesaplanmıştır. Burada nötralizasyon işleminin biyodizel verimine olumlu etki ettiği görülmüştür. Nötralizasyon, katalizör oranının azalmasına ve reaksiyon sıcaklığının düşmesine neden olmuştur.

2,809 mg KOH/g serbest yağ asit sayısı olan haşhaş yağı, nötralizasyon işlemi sonucunda 0,168 mg KOH/g düşürülmüştür ve nötralle haşhaş yağı elde edilmiştir. HYB ve NHYB asit sayıları, dizel ile kıyaslandığında ise sonuçlar birbirine çok yakın çıkmıştır.

Haşhaş yağı ve nötralle haşhaş yağının viskozite değerleri yüksek çıkmıştır. HY'nın transesterifikasyon reaksiyonu sonunda viskozite değerleri istenilen düzeylere düşürülmüştür. HYB 40 °C'deki kinematik viskozite değeri 4,25 mm²/s, NHYB'nin ise 4,06 mm²/s olarak ölçülmüştür. Aksoy [61] ürettiği haşhaş yağı biyodizelinin 40 °C'de ki kinematik viskozite değerini 4,63 mm²/s olarak ölçmüştür. Bu iki çalışma kıyaslandığında her iki haşhaş yağı biyodizelinin kinematik viskozite

değeri standartların içinde olsa da, elde etmiş olduğumuz haşhaş yağı biyodizelinin kinematik viskozite değeri dizel yakıtının kinematik viskozite değerine daha yakındır.

HY'nın 15°C'deki yoğunluğu 923,4 kg/m³, NHY yoğunluğu 924,87 olarak ölçülmüştür. Transesterifikasyon reaksiyonu sonucunda elde edilen biyodizellerin yoğunlukları düşürülmüştür. HYB'nin 15°C'deki yoğunluğu 886,4 kg/m³, NHYB yoğunluğu ise 884,8 kg/m³ olarak ölçülmüştür. Aksoy [61] üretmiş olduğu haşhaş yağı biyodizelinin 15°C'deki yoğunluğu 893 kg/m³ olarak ölçmüştür. Bu iki çalışma kıyaslandığında her iki haşhaş yağı biyodizelinin yoğunlukları standartların içinde olsa da, elde etmiş olduğumuz haşhaş yağı biyodizelinin yoğunluk değeri, dizel yakıtının yoğunluk değerlerine daha yakındır.

Parlama noktası sıcaklığı HY 212 °C, NHY 203 °C, HYB 178 °C, NHYB 171 °C olarak ölçülmüştür. Bura da nötralizasyon işleminin ve transesterifikasyon reaksiyonun parlama noktası sıcaklığını düşürdüğü görülmüştür. Elde edilen biyodizellerin dizele göre daha yüksek sıcaklıklarda parlamış ve biyodizelin dizele göre daha güvenli olduğu tekrar ispatlanmıştır. Uyar [126] ise HY'ndan üretmiş olduğu HYB'nin parlama noktası sıcaklığını 162,7 °C olarak ölçmüştür. Bu iki çalışma kıyaslandığında üretmiş olduğumuz HYB'in, Uyar [126]'ya göre bir miktar daha yüksek çıkmıştır.

Yağların ve yakıtların soğuk akış özellikleri incelendiğinde reaksiyon sonucunda elde edilen yakıtların soğuk akış sıcaklıklarında bir miktar yükselme meydana gelmiştir. Dizele kıyasla elde edilen HYB ve NHYB'nin daha yüksek sıcaklıklarda bulutlanmaya başlasa bile diğer soğuk akış özellikleri göz önünde bulundurulduğunda kış aylarında Türkiye'nin kıyı kesiminde kullanılması daha uygun olacaktır.

Nötralizasyon işlemi sonucunda elde edilen NHYB'i HYB'ine göre viskozite, yoğunluk, parlama noktası değerlerinde iyi sonuçlar alırken ısı değeri de ise birbirine çok yakın değerler elde edilmiştir. HYB ve NHYB ASTM D6751 ve EN 14214 standartlarını sağlamıştır. El edilen sonuçlar göz önüne alındığında HYB ve NHYB dizel motorlarda alternatif bir yakıt olarak kullanımının mümkün olacağı anlaşılmaktadır.

Ülkemizin petrol konusundaki dışa bağımlılığı düşünülürse biyodizele verilen önem artırılmalıdır. Vergi indirimleri yapılmalı üretim teşvik edilmelidir.

Türkiye'nin yıllık ham yağ, yağlı tohum, küspe ithalat verileri, göz önünde bulundurulduğunda, çiftçiye öngörülebilirlik sağlayacak politikalar ve mekanizmalar geliştirilmelidir, yağ bitkisi ekim alanı arttırılmalı ve açık kapatılmaya çalışılmalıdır. Yağ oranı yüksek farklı yağ bitkilerinin ekim denemeleri yapılmalıdır.

Bitkisel ve hayvansal yağ fiyatları düşünüldüğünde biyodizel üretim maliyetinin büyük kısmının ham madde girdileri oluşturduğundan dolayı bitkisel ve hayvansal yağların biyodizel üretiminde kullanılması maliyeti artıracaktır. Bundan dolayı biyodizel üretiminin yaklaşık %85 olan yağ maliyetini düşürmek için daha çok bitkisel ve hayvansal atık yağlara yönelmelidir. Atık yağlardan üretilen biyodizellerin yakıt özellikleri bakımından olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için kanola, aspir ve haşhaş yağları gibi yakıt özelliklerini iyileştiren yağlarla karışım yapılarak biyodizel üretmek daha uygun olacağı düşünülebilir.

KAYNAKÇA

- 1.Berksoy T., Akbaş Doğan D., Yenilenebilir Enerjide Kamu Politikaları ve Türkiye, Journal Of Life Economics, 5(3), 2018
- 2.Özer S., Bütanol Kullanımının Dizel Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin DeneySEL Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2010
- 3.Sezek M., Endüstri Bitkileri ve Bitki Artıklarının Biyoyakıt Olarak Kullanımı, Alinteri Zirai Bilimler Dergisi, 33(1), 105-111, 2018
- 4.Çelikkaya A., Dünyada Yenilenebilir Enerji Yatırımlarına Sağlanan Vergi Teşviklerinin Değerlendirilmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi , 20(1), 357-384, 2018
- 5.Erdoğan S. ve ark., Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Üretimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi Üzerine Ampirik Bulgular, Ömer Halisdemir Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 11(2), 233-246, 2018
- 6.Tanattı N.P. ve ark., Biyodizel Atıksularında Elektrokoagülasyon Yöntemi İle MEOH ve KOİ Gideriminin Araştırılması, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22 (2), 602~608, 2018
- 7.Ölçüm T., Biyodizel Teknolojisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2006
- 8.Cing Yıldırım S., Kanat T., Biyodizel Eldesinde Kullanılmak Üzere Oleaginous Maya Hücrelerinden Farklı Kültür Tipi ve Ortamlarda Lipit Üretimi, Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi C- Yaşam Bilimleri ve Biyoteknoloji, 7(2), 227-238, 2018
- 9.Düzgün Ö., Balık Yağından Biyodizel Üretimi ve Motorlarda Test Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2015
- 10.Anonim,
https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/EnerjiGorunumu2018_2_0.pdf
01.01.2019
- 11.Anonim, <http://www.tmo.gov.tr/Upload/Document/hashassektorraporu2017.pdf>
01.01.2019
- 12.Koç S., Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Piyasasında Uygulanan Teşviklerin Yatırımcılar Açısından Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 2018
- 13.Acaravcı A., Erdoğan S., Yenilenebilir Enerji, Çevre ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Seçilmiş Ülkeler için Ampirik Bir Analiz, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi, 13(1), 53-64, 2018

- 14.Okur A., Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Potansiyeli ve Ekonomik Büyüme’ye Katkısı, Yüksek Lisans Tezi, Amasya Üniversitesi, Amasya, 2018
- 15.Anonim, <https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf> 28.12.2018
- 16.Anonim, <https://setav.org/assets/uploads/2017/04/YenilenebilirEnerji.pdf> 28.12.2018
- 17.Kaya K., Şenel M.C., Koç. E., Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi, Technological Applied Sciences, 13(3), 219-234, 2018
- 18.Sülükçüler S., Yenilenebilir Enerji Potansiyelinin Ortaya Çıkmasında Kamu Teşviklerinin Etkisi: OECD Ülkeleri ve Türkiye Karşılaştırması, Yüksek Lisans Tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa, 2018
- 19.Anonim, http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2017/10/GFR-Full-Report-2017_webversion_3.pdf 01.01.2019
- 20.Tütüncü H., Transesterifikasyonla Balık Yağı Metil Esteri Sentezinin Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 2013
21. Şahin A., Hardal Yağından Elde Edilen Biyodizelin Motor Performansına Etkileri ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 2014
22. Uskutoğlu T. ve ark., Pıtrak (*Xanthium strumarium* L.) Bitkisinin Farklı Açılardan Değerlendirilmesi, Anadolu : Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü dergisi,28(1), 113-118, 2018
- 23.Özalp H.B., Balık Atıklarından Yağ Eldesi ve Biyodizel Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, 2011
- 24.Uzun G., Yağ Asidi Katkılı Kolza Yağından Biyodizel Üretimi ve Üretilen Biyodizellerin Karakteristik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2018
- 25.Şen S., Hayvansal Yağlardan Biyodizel Üretimi ve Dizel Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2012
- 26.Aygün A., Hint Yağından Biyodizel Eldesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2009
- 27.Akay F., Atık Zeytinyağından Elde Edilen Biyodizelin Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 2017

- 28.Kiani S., Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretiminde Yüzey Aktif Maddelerin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, 2014
- 29.Azi H., Bir Dizel Motorda Hint Yağı Biyodizeli ve Dietil Eter Kullanımının Motor Performansına ve Emisyonlara Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Batman Üniversitesi, Batman, 2017
- 30.Topal E., Karma Yemlere Karıştırılan Biyodizel Yan Ürünü Gliserolün Etlik Piliçler Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, 2009
- 31.Yıldız M., Biyodizel Prosesi Yan Ürünü Gliserinin Katalitik Hidrojenasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2010
- 32.Erdoğan S., Biyodizel Üretimi Sırasında Yan Ürün Olan Gliserolün Ruminant Beslemede Enerji Kaynağı Olarak Kullanımı, Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi, 24(1), 94-100, 2014
- 33.Öztürk A., Biyodizel Yan Ürünü Gliserolün Değerli Kimyasallara Dönüştürülmesi Üzerine Kinetik Çalışmalar, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2013
- 34.Anonim, <https://www.bysd.org.tr> 11.12.2017
- 35.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
- 36.Demir V.G., Mikrodalga Isıtmalı Bir Biyodizel Reaktör Tasarımı ve Pilot Ölçekli Prototip Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir, 2018
- 37.Oğuz H., Ögüt H., Çiftçi Şartlarına Uygun Bir Biyoizel Üretim Tesisinin Tasarım ve İmalatı, Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 1(1), 21-27, 2005
- 38.Anonim, http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001 24.12.2018
- 39.Anonim, <https://www.bysd.org.tr/tr/istatistikler> 12.12.2018
- 40.Böke H., Haşhaş (*Papaver somniferum* L.) Mikro-Rna’larının (miRNA) Tanımlanması ve miRNA Hedef Gen Ekspresyon Analizlerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 2013
- 41.Çopuroğlu M., Çözücü Prosesi İle Pamuk ve Haşhaş Saplarının Özütlenmesi ve Fitokimyasal Olarak Karşılaştırılmalı Analizlerinin Yapılması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2015
- 42.Shiwan M.S., Afganistan’da Haşhaş Üretimini Sonlandırma Politikalarının Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2017

43. Keçeci A., Haşhaş (*Papaver somniferum* L.) Yağ Endüstrisi Yan Ürünüden Sıvı Yakıt Üretiminin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2006
44. Anonim, <http://www.tmo.gov.tr/Upload/Document/Hashasileilgiligenelbilgiler.pdf> 01.01.2019
45. Anonim, <http://www.tmo.gov.tr/Upload/Document/hashaskatologtr.pdf> 01.01.2019
46. Kadioğlu Y., Uşak'ta Haşhaş Tarımının Coğrafi Özellikleri, Eastern Geographical Review, 18, 165-185, 2007
47. Arslan Y. ve ark., Afyon (Opium) Alkaloidleri ve Önemi, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 17(1-2), 2008
48. Anonim, <http://www.fao.org/faostat/en/#data/> 12.12.2018
49. Anonim, [https://www.tbmm.gov.tr/tutanaklar/KANUNLAR_KARARLAR/kanuntbmmc012/kanuntbmmc012/kanuntbmmc01202253.pdf](https://www.tbmm.gov.tr/tutanaklar/KANUNLAR_KARARLAR/kanunbmmc012/kanuntbmmc012/kanuntbmmc01202253.pdf) 01.01.2019
50. Kahraman M., Türkiye'de Haşhaşta Uygulanan Politikalar ve Haşhaşın Türkiye İçin Önemi, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, 2011
51. Anonim, <http://tarim.kalkinma.gov.tr/wp-content/uploads/2014/10/2013hashassektorraporu.pdf> 01.01.2019
52. Anonim, <https://biruni.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul> 22.11.2018
53. Doğramacı S., Bazı Haşhaş (*Papaver somniferum* L.) Çeşitlerinin Melezlerinde Verim ve Verim Öğeleri Üzerine Heterosis Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 2013
54. Anonim, <http://www.tmo.gov.tr/Upload/Document/hashassektorraporu2017.pdf> 01.01.2019
55. Günlü H., Öztürk Ö., Bor Uygulamasının Bazı Haşhaş (*Papaver somniferum* L.) Çeşitlerinin Verim ve Kalitesi Üzerine Etkisi – I1,2 (Kalite Özellikleri ve Bitki Bor Konsantrasyonları), Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 22 (44), 56-63, 2008
56. Yıldırım P., Haşhaş Ezmesi Kullanımının Ekmek Kalitesi Üzerinde Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 2016
57. Anonim, <https://www.1organik.com/hashas-hashasin-faydalari.html> 01.01.2019
58. Davulcu B., Haşhaş Tohumu Ezmesinin Reolojik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, 2012
59. Şahin N.S., Mermer Atıkları Katalizörlüğünde Haşhaş Yağından Biyodizel Eldesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 2015

- 60.Şahan M., Haşhaş (*Papaver somniferum* L.) Tohumundan Lipaz Enziminin Saflaştırılması ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, 2018
- 61.Aksoy L., Opium poppy (*Papaver somniferum* L.) oil for preparation of biodiesel: Optimization of conditions, Applied Energy, 88, 4713-4718, 2011
- 62.İnan Ş., Haşhaşta (*Papaver somniferum* L.) Bazı Tarımsal Özellikler İle Yağ ve Morfin Miktarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, Aydın, 2013
- 63.Aras Servan M., Bazı Alkali (Baz) Katalizörlerinin Hazırlanması, Karakterizasyonu ve Bu Katalizörler Varlığında Yağlardan Transesterleşme Tepkimesi İle Biyodizel Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2011
- 64.Aksoy L., Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Biyodizel ve Üretim Prosesleri, Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2, 45-52, 2010
- 65.Keskin M., Türkiye’de Biyodizel Üretiminde Karşılaşılan Sorunlar ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Hatay, 2013
- 66.Mesut E., Atık Ayçiçeği Yağından Biyodizel Üretimi ve Ön Isıtma Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2011
- 67.Ünsal M., Kesikli Proseste Biyodizel Üretiminin Optimizasyonu ve En Uygun Teknikle Üretilmesi, Doktor Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze, 2010
- 68.Sabancı A. ve ark., Türkiye’de Biyodizel ve Biyoetanol Üretiminin Tarım Sektörü Açısından Değerlendirilmesi, Ziraat Mühendisliği VII. Teknik Kongresi Bildiriler Kitabı, 11-15 Ocak 2010, Ankara, 1-19
- 69.Özçelik A.E., Aspir Biyodizelinin ve Motorinle Karışımlarının Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Yağlama Yağına Etkilerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2011
- 70.Çengelci E., Hayvansal Yağlardan Elde Edilen Biyodizelin Motor Performans ve Emisyonlarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyonkarahisar, 2011
- 71.Çildir O., Çanakçı M., Çeşitli Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretiminde Katalizör ve Alkol Miktarının Yakıt Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(2), 367-372, 2006
- 72.Akbin H.M., Kanola Yağından Hidrotalsite Tutuklanmış Lipaz İle Biyodizel Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 2012
- 73.Özdemir Z.Ö., Mutlubaş H., Biyodizel Üretim Yöntemleri ve Çevresel Etkileri, Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2, 129-143, 2016

- 74.Kafadar A.B, Yağlardan Biyodizel Eldesine Etki Eden Faktörlerin Araştırılması, Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, 2010
- 75.Rasimoğlu N., Biyodizelin Soğuk Akış Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2011
- 76.Utku S., Biyodizel ve Motorin Karışımlarının Yakıt Kalitesi Özelliklerinin İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2009
- 77.Altuntaş A., Hardal Yağı Biyodizelinde Depolama Süresi ve Şartlarının Yakıt Özellikleri Üzerindeki Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2006
- 78.Aysal F.E. ve ark., Hardal Yağından Biyodizel Üretiminin Optimizasyonu ve Motor Performans Testleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14, 1-9, 2014
- 79.Gülüm M., Bilgin A., Çakmak A., Sodyum Hidroksit (NaOH) ve Potasyum Hidroksit (KOH) Kullanılarak Üretilen Mısır Yağı Biyodizellerinin Optimum Reaksiyon Parametrelerinin Karşılaştırılması, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(3), 503-511, 2015
- 80.Yaşar F., Yosun Yağından Biyodizel Üretimi ve Bir Dizel Motorunda Alternatif Yakıt Olarak Kullanılması, Doktora Tezi, Batman Üniversitesi, Batman, 2016
- 81.Alçelik N., Atık Yağlardan Üretilen Biyodizelin Tek Silindirli Bir Dizel Motorun Performans, Egzoz Emisyonları ve Titreşimine Olan Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Düzce, 2017
- 82.Yağoğlu H., Bir Dizel Motorunda Yakıt Olarak Euro Dizel-Biyodizel-Biyoetanol Karışımlarının Kullanımının Motor Performansı ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2015
- 83.Akgül G., Sözer S., Culfa M., Atık Yağlardan Biyodizel Üretiminde Yenilikçi Biyokömür Katalizörü, Türk Bilim Araştırma Vakfı, 10(4), 29-39, 2017
- 84.İpteş N., Biyodizel Üretilmesinde Doğal Zeolit Katalizörlerin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Kocaman Üniversitesi, Muğla, 2014
- 85.Kesgin C., Fındık Yağından Ultrasonik Yöntemle Biyodizel Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2011
- 86.Keskin F., Kanola Yağından Ultrasonik Yöntemle Biyodizel Üretimi ve Dizel Motorda Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2015
- 87.Yiğit A., Dizel Motorlarda Kanola Yağı Metil Esteri Kullanımının Performans ve Emisyonlara Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2009

- 88.Uludağ V.K., Biyodizel Kullanımında Püskürtme Avansının Performans ve Emisyonlara Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2010
- 89.Seyhaneyıldız Can Ş., *Botryococcus Braunii* ve *Spirulina Platensis* Mikroalglerinden Temiz ve Yenilenebilir Bir Enerji Çeşidi Olan Biyodizelin Elde Edilmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, İzmir, 2010
- 90.Oğuz H., Tarım Kesiminde Yaygın Olarak Kullanılan Dizel Motorlarında Fındık Yağı Biyodizelinin Yakıt Olarak Kullanım Olanaklarının İncelenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2004
- 91.Anonim,
http://www.yegm.gov.tr/duyurular_haberler/document/biyodizel_calistay_sonuc_raporu.pdf 01.01.2019
- 92.Anonim,http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_final_.pdf 01.01.2019
- 93.Anonim,
20.12.2018 <https://www.eia.gov/beta/international/data/browser/#?showdm=y>
- 94.Anonim,
01.01.2019 http://www.fao.org/docrep/i9166e/i9166e_Chapter9_Biofuels.pdf
- 95.Horuz A., Korkmaz A., Akınoğlu G., Biyoyakıt Bitkileri ve Teknolojisi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Dergisi 3 (2) 69 – 81, 2015
- 96.Anonim, <https://www.kimyahaberleri.com/mustafa-kemal-ataturk-82-yil-once-biyoyakit-teknolojisini-kullaniyordu/> 01.01.2019
- 97.Anonim,
01.01.2019 <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/09/20110927-4.htm>
- 98.Anonim,
01.01.2019 <http://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-107/yillik-sektor-raporu>
- 99.Yaşar B., Türkiye’de Biyodizel Üretiminde Maliyeti ve Yaşanan Sorunlar, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES’2008, İstanbul , 17-19 Aralık 2008
- 100.Altınsoy A.S., Biyodizel Üretimi, Motorlarda Kullanımı ve Türkiye’deki Kaynakların İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2007
- 101.Anonim,
<https://intweb.tse.org.tr/standard/standard/Standard.aspx?081118051115108051104119110104055047105102120088111043113104073084102053067102078106115113074088> 01.01.2019
- 102.Alptekin E., Hayvansal Atık Yağlardan Biyodizel Üretimi ve Bir Dizel Motorda Kullanımının İncelenmesi, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, 2013

- 103.Efe Ş., Biyodizelin Silindir İçi Karakteristiklerine Etkileri ve Wavelet Analiz Tekniğı İle Çevrimsel Farklara Etkilerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum,2014
- 104.Çıtak M., Bir Dizel Motorunda Mtbe Katkılı Biyodizel Kullanımının Deneyssel Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya 2014
- 105.Çiçek F., Fungal Lipid Üretimi: Optimizasyon Çalışmaları ve Biyozidel Üretiminde Kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Giresun Üniversitesi, Giresun, 2012
- 106.Yurdaarmağan N., Çeşitli Bitkisel Yağlardan Biyodizel Üretiminde Katalizör ve Alkol Miktarı Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, 2009
- 107.Eryılmaz T., Hardal Yağı Biyodizelinde Farklı Karışım Oranlarının Dizel Motorlarda Performans Etkisi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2009
- 108.Arslan M., Laboratuvar Ölçekli Biyodizel Üretim Tesisinin Projelendirilerek İmal Edilmesi ve Yabani Zeytinden (Oleaoleaster) Üretilecek Biyodizelin Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 2015
- 109.Öztürk U., Seramik Kaplanmış Bir Dizel Motorunda Biyodizel Kullanımının Deneyssel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2010
- 110.Deniz Ç., Biyodizel Dizel Karışımlarının Bazı Fiziksel Özelliklerinin Biyodizel Oranı İle Değişimi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2013
- 111.Erel F.P., Biyodizel Üretiminde Ters Lojistik Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, 2014
- 112.Özgün A.K., Atık Kızartma Yağı ve Nötralize Atık Kızartma Yağından Üretilen Biyodizel ve Karışımlarının Motor Performans ve Egzoz Emisyonlarının Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, Yozgat, 2014
- 113.Kaya A., Kızartma Atığı Yağlarından Süperkritik Alkol Transesterifikasyon Yöntemi İle Biyodizel Elde Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2007
- 114.Kaya M., Biyodizel-Dizel Karışımı Kullanılan Bir Dizel Motorda Püskürtme Basıncının Performans ve Emisyonlara Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul, 2010
115. Sabancı A., Atal M., Yaşar A., Türkiye’de Biyodizel Kullanım Olanakları, Tarım Makinaları Bilimi Dergisi, 2(1), 33-39, 2006

- 116.Çengelci E., Bayrakçeken H., Aksoy F., Hayvansal ve Bitkisel Yağlardan Elde Edilen Biyodizelin Dizel Yakıtı ile Karşılaştırılması, Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3(1), 43-53, 2011
- 117.Koç M., Biyodizel Üretimine Uygun Türkiye’de Yetişen ve Yetiştirilecek Bitkilerin ve Biyodizel Teknolojilerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2011
- 118.Anonim, <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2017/06/20170616-8.htm>, 01.01.2019
- 119.Anonim, http://www.emo.org.tr/ekler/5aa4bd09c07d8b2_ek.pdf, 01.01.2019
- 120.Aydın M., Afşar M., Çelik M.B., Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Atık Biyodizel Kullanımının Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkisi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 871-878, 2017
- 121.Yüksek L. ve Ark., Atık Yağ Biyodizelinin Farklı Sıkıştırma Oranlarındaki Dizel Motorlarda Kullanımının Uygunluğunun Araştırılması, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 9(2), 765-774, 2018
- 122.Nayır M.M., Kanola Yağından Baz Katalizli Transesterifikasyon Yöntemi İle Biyodizel Üretiminde Reaksiyon Parametrelerinin Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, 2018
- 123.Üstün S., Hayvansal Yağlardan Biyodizel Elde Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2006
- 124.Anonim, <http://ziraat.akdeniz.edu.tr/ataturk-ve-tarim/> 26.11.2018
- 125.Topal S., Atık Kızartma Yağından Ultrasonik Yöntemle Biyodizel Üretimi ve Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Karabük, 2014
- 126.Uyar M., Transesterifikasyon Yöntemiyle Üretilen Biyodizel Yakıtlarının Üzerine MnO₂, Dodekanol, Propilen Glikol Katkı Maddelerinin Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2013
- 127.Zhang Q. ve ark., Acid Value Determination and Pre-Esterification of Crude *Eurphoria latyrus* L. Oil, World Journal of Engineering and Technology, 3, 70-75, 2015
- 128.Eryılmaz T. ve ark., Investigation of the Performance and Emission Values of Non-Standard Fuels at Diesel Engines, Tarım Makinaları Bilim Dergisi(Journal of Agricultural Machinery Science),6(1), 45-53, 2010
129. ASTM D6751-07a, Standard Specification For Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) For Middle Distillate Fuels, United States
130. ASTM D975-07b, Standard Specification for Diesel Fuel Oils, United States

131. ASTM D445-06, Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids (and Calculation of Dynamic Viscosity), United States
132. Rashid U. ve ark., Synthesis and characterization of poppy seed oil methyl esters, Chinese Journal of Chemical Engineering 24, 1087–1096, 2016



ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında İzmir’de doğan Ramazan IRGIN, ilk ve orta öğrenimini Durmuş Yaşar İlköğretim Okulu, lise öğrenimini Rotary Anadolu Ticaret Meslek Lisesinde tamamlamıştır. 2011 yılında kazandığı Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümünü 2015 yılında başarıyla bitirmiştir.

2015 yılında yüksek lisans eğitimine Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalında başlamıştır. Doç. Dr. Tanzer ERYILMAZ danışmanlığında hazırladığı “Haşhaş (*Papaver somniferum* L.) Yağından Biyodizel Üretimine Etki Eden Parametrelerin Optimizasyonu” başlıklı tezini başarıyla sunmuştur.

İletişim Bilgileri

Adres: Yakakent Mah. Çiğli/İZMİR

Telefon: +90 554 496 4767

E-posta: rmznirgin@gmail.com

EKLER

HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının farklı sıcaklıklardaki kinematik viskozite değerleri (mm²/s)

Sıcaklık	HY	NHY	HYB	NHYB	Dizel
20	60,44854	59,0762	6,684989	6,310079	4,044354
25	50,37811	49,50001	5,902328	5,602814	3,616357
30	41,77365	40,73414	5,253316	5,06239	3,25537
35	34,74444	34,21198	4,720645	4,505628	2,943173
40	29,33344	28,98558	4,250792	4,064805	2,653518
45	25,11021	24,84191	3,850487	3,722327	2,419757
50	21,76099	21,54815	3,515885	3,377964	2,21564
55	19,03193	18,74737	3,225192	3,106181	2,057534
60	16,57498	16,47539	2,970074	2,885613	1,888003
65	14,64973	14,56537	2,733865	2,643679	1,75769
70	13,11422	12,96955	2,543809	2,507944	1,634787
75	11,67517	11,65619	2,374905	2,284548	1,529795
80	10,53259	10,50339	2,214655	2,145672	1,433758
85	9,536157	9,535342	2,073635	2,01088	1,350382
90	8,662795	8,658409	1,943192	1,889285	1,270712
95	7,925324	7,946432	1,831978	1,764861	1,216672
100	7,267017	7,26996	1,734867	1,686626	1,146883

HY, NHY, HYB, NHYB ve dizel yakıtlarının farklı sıcaklıklardaki yoğunluk değerleri (kg/m³)

Sıcaklık °C	HY	NHY	HYB	NHYB	Dizel
0	934,24	934,53	897,63	896,13	835,58
5	930,7	931,27	894,01	892,39	832,05
10	927,04	927,62	890,22	888,58	828,41
15	923,48	924,05	886,45	884,8	824,81
20	919,94	920,47	882,66	881,01	821,17
25	916,38	916,88	878,9	877,23	817,58
30	912,87	913,37	875,16	873,46	814
35	909,39	909,88	871,43	869,71	810,4
40	905,92	906,39	868,97	865,98	806,84
45	902,46	902,91	864,72	862,26	803,25
50	899,02	899,45	860,29	858,53	799,66
55	895,59	896,02	856,56	854,79	796,1
60	892,17	892,59	852,86	851,08	792,51
65	888,78	889,17	849,17	847,36	788,93
70	885,38	885,78	845,48	843,65	785,36
75	882,04	882,39	841,82	839,94	781,8
80	878,64	879,05	838,13	836,29	778,19
85	875,26	875,69	834,45	832,59	774,61
90	871,89	872,33	830,77	828,86	770,98
93	869,85	870,3	828,55	826,69	768,8

HY, HYB, NHY, NHYB ve dizel yakıtlarının farklı sıcaklıklardaki özgül yoğunlukları (t/t)

Sıcaklık °C	HY	NHY	HYB	NHYB	Dizel
0	934,39	934,68	897,77	896,27	835,71
5	930,73	931,3	894,04	892,42	832,07
10	927,32	927,9	890,49	888,85	828,66
15	924,31	924,87	887,25	885,6	825,55
20	921,59	922,12	884,25	882,59	822,65
25	919,1	916,9	881,51	875,83	820,01
30	916,86	917,36	878,98	877,28	817,56
35	914,85	915,33	876,66	874,93	815,27
40	913,02	913,49	874,51	872,77	813,17
45	911,38	911,83	872,51	870,77	811,19
50	909,9	910,34	870,69	868,91	809,34
55	908,59	909,03	869	867,2	807,66
60	907,41	907,83	867,43	865,62	806,05
65	906,41	906,81	866,01	864,17	804,58
70	905,51	905,91	864,71	862,84	803,22
75	904,79	905,16	863,54	861,62	801,97
80	904,15	904,56	862,46	860,57	800,78
85	903,61	904,07	861,49	859,55	799,7
90	903,22	903,68	860,63	858,65	798,69
93	903	903,49	860,14	858,15	798,1

HY, HYB, NHY, NHYB ve dizel yakıtlarının farklı sıcaklıklardaki özgül yoğunlukları (t/4)

Sıcaklık °C	HY	NHY	HYB	NHYB	Dizel
0	934,27	934,56	897,66	896,16	835,61
5	930,73	931,3	894,04	892,42	832,07
10	927,07	927,65	890,25	888,61	828,43
15	923,51	924,08	886,48	884,83	824,83
20	919,97	920,5	882,69	881,04	821,19
25	916,41	916,91	878,93	877,26	817,6
30	912,9	913,4	875,19	873,49	814,02
35	909,42	909,91	871,46	869,74	810,42
40	905,95	906,42	867,74	866,01	806,86
45	902,49	902,94	864	862,29	803,27
50	899,05	899,48	860,31	858,56	799,68
55	895,62	896,05	856,59	854,82	796,12
60	892,2	892,61	852,89	851,1	792,53
65	888,81	889,2	849,2	847,39	788,95
70	885,41	889,81	845,51	843,68	785,38
75	882,06	882,42	841,85	839,97	781,82
80	878,67	879,07	838,16	836,32	778,21
85	875,29	875,72	834,46	832,61	774,62
90	871,92	872,36	830,79	828,88	771
93	869,88	870,33	828,57	826,65	768,82