

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

**Yüksek Lisans Tezi**

**TAVUK YAĞI METİL ESTER ÜRETİMİNİN OPTİMİZASYONU  
VE MOTOR PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİ**

**Bilal YUMAK**

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

**Yozgat 2016**



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

**Yüksek Lisans Tezi**

**TAVUK YAĞI METİL ESTER ÜRETİMİNİN OPTİMİZASYONU  
VE MOTOR PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİ**

**Bilal YUMAK**

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

**Bu tez çalışması Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri  
Koordinatörlüğü tarafından 2013FBE/T145 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Yozgat 2016**

T.C.  
BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEZ ONAYI**

Enstitümüzün Makine Mühendisliği Anabilim Dalı 70110913004 numaralı öğrencisi Bilal YUMAK'ın hazırladığı “**Tavuk Yağı Metil Ester Üretiminin Optimizasyonu ve Motor Performansı Üzerine Etkisi**” başlıklı Yüksek Lisans tezi ile ilgili Tez Savunma Sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 13/01/2016 Çarşamba günü saat 12:00'de yapılmış, tezin onayına oy birliği ile karar verilmiştir.

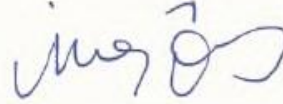
Başkan : Yrd. Doç. Dr. Mevlüt ARSLAN



Üye : Yrd. Doç. Dr. Tanzer ERYILMAZ (Danışman)



Üye : Yrd. Doç. Dr. İlker ÖRS



**ONAY:**

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 18/01/2016 tarih ve 01 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



Doç. Dr. Fuar KÖKSAL  
Müdür

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>v</b>
<b>ŞEKİLLER LİSTESİ</b> .....	<b>vi</b>
<b>TABLolar LİSTESİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR</b> .....	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Biyodizel ve Biyobenzin Üretimi, Türkiye'deki Durumu.....	2
1.2. Bitkisel Yağlar.....	5
1.3. Hayvansal Yağlar.....	6
1.4. Hayvansal ve Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerini İyileştirme Yöntemleri.....	8
1.4.1. Seyreltme Yöntemi.....	8
1.4.2. Mikro Emülsiyon Oluşturma Yöntemi.....	9
1.4.3. Piroliz Yöntemi.....	9
1.4.4. Süperkritik Yöntem.....	9
1.4.5. Transesterifikasyon Yöntemi.....	10
1.5. Biyodizel Standartları.....	10
1.6. Biyodizelin Malzemelere Etkisi.....	13
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI</b> .....	<b>15</b>
<b>3. MATERYAL VE METOT</b> .....	<b>28</b>
3.1. Materyal.....	28
3.1.1. Araştırmada Kullanılan Alet ve Cihazlar.....	29
3.1.1.1. Hidrolik Dinamometre.....	29
3.1.1.2. Yakıt Tüketimi Ölçümü.....	30
3.1.1.3. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazları.....	31
3.1.1.4. Yoğunluk Ölçüm Cihazı.....	32
3.1.1.5. Kinematik Viskozite Ölçüm Cihazı.....	32
3.1.1.6. Parlama Noktası Tayin Cihazı.....	33
3.1.1.7. Su Muhtevası Tayin (Karl-Fischer Titrasyon) Cihazı.....	34
3.1.1.8. Kalorimetre Cihazı.....	34

3.1.1.9. Homojenizatör.....	35
3.1.1.10. Laboratuvar Tipi Karıştırıcı.....	36
3.1.1.11. Hassas Terazî.....	36
3.1.1.12. Isıtıcılı Manyetik Karıştırıcı.....	37
3.1.1.13. Etüv.....	38
3.1.1.14. Buzdolabı.....	38
3.1.1.15. pH Metre.....	39
3.1.1.16. Renk Ölçer.....	39
3.1.1.17. Otomatik Akma, Bulutlanma ve SFTN Tayin Cihazı.....	40
3.1.1.18. Kronometre.....	40
3.1.1.19. Termometre.....	40
3.1.2. Araştırmada Kullanılan Kimyasal Maddeler.....	41
3.1.2.1. Metil Alkol.....	41
3.1.2.2. Sodyum Hidroksit (NaOH).....	41
3.2. Yöntem.....	42
3.2.1. B2 ve B20 Yakıt Karışımlarının Hazırlanması.....	42
3.2.2. Yakıtların Depolanması.....	43
3.2.3 Motor Performans Deneyleri.....	43
3.2.3.1. Deneysel Verilerin Hesaplanması.....	44
3.2.3.1.1. Motor Momenti.....	44
3.2.3.1.2. Güç.....	44
3.2.3.1.3. Özgül Yakıt Tüketimi.....	45
3.2.3.1.4. Volümetrik Verim.....	45
3.2.3.1.5. Termik Verim.....	45
3.2.3.1.6. Hava Fazlalık Katsayısı.....	45
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>47</b>
4.1. Parametrelerin Verim Üzerine Etkileri ve Yakıtın Fiziksel Özellikleri.....	47
4.1.1. Metanol/Yağ Oranının Biyodizel Verimi Üzerine Etkisi.....	47
4.1.2. Katalizör Miktarının Biyodizel Verimi Üzerine Etkisi.....	47
4.1.3. Reaksiyon Sıcaklığının Verim Üzerine Etkisi.....	48
4.1.4. Reaksiyon Süresinin Biyodizel Verimi Üzerine Etkisi.....	49
4.2. Tavuk Yağı, Tavuk Yağı Biyodizeli ve Karışımlarının Yakıt Özellikleri.....	50
4.3. Yakıtların Farklı Sıcaklıklardaki Yoğunluk ve Kinematik Viskozite Değerleri.....	51

4.4. Depolama Koşullarının Yakıt Özelliklerine Etkisi.....	53
4.4.1. Kinematik Viskozite Değişimleri.....	53
4.4.2. Yoğunluk Değişimleri.....	54
4.4.3. Kalori Değişimleri.....	55
4.4.4. Renk Değişimleri.....	55
4.4.5. Su Muhtevası Değişimi.....	56
4.4.6. pH Değişimi.....	57
4.4.7. Parlama Noktası Değişimi.....	58
4.4.8. Bulutlanma, SFTN, Akma ve Donma Noktalarının Değişimi.....	59
4.5. Motor Karakteristik Sonuçları.....	63
4.5.1. Moment Değişimi.....	63
4.5.2. Güç Değişimi.....	64
4.5.3. Özgül Yakıt Tüketimi.....	64
4.5.4. Volümetrik Verim.....	65
4.5.5. Termik Verim.....	66
4.5.6. Hava Fazlalık Katsayısı.....	67
4.5.7. Egzoz Emisyon Değişimleri.....	68
4.5.7.1. CO <sub>2</sub> Emisyonu.....	68
4.5.7.2. O <sub>2</sub> Emisyonu.....	69
4.5.7.3. CO Emisyonu.....	70
4.5.7.4. NO <sub>x</sub> Emisyonu.....	70
4.5.7.5. Duman Koyuluğu.....	72
4.5.7.6. Egzoz Gazı Sıcaklığı.....	73
4.5.7.7. Gürültü Değerleri.....	74
<b>5.SONUÇLAR.....</b>	<b>76</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>78</b>

# TAVUK YAĞI METİL ESTER ÜRETİMİNİN OPTİMİZASYONU VE MOTOR PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİ

**Bilal YUMAK**

**Bozok Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**2016; Sayfa: 85**

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

## ÖZET

Bu çalışmada, tavuk yağından metil alkol ve NaOH katalizörü kullanılarak transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretim süreci optimize edilmiştir. Üretilen tavuk yağı biyodizeli hacimsel olarak %20 ve %2 oranlarında dizel yakıtı ile karıştırılarak B20 ve B2 formunda yakıtlar elde edilmiş ve özellikleri belirlenmiştir. Aynı zamanda B100, B20, B2 ve dizel yakıtları cam, plastik ve metal kaplarda, ışısız ortamda, 4 ve 25°C ortam sıcaklıklarında 6 ay süre ile depolanarak 2 aylık periyotlarla yakıt özellikleri ölçülmüştür. B100, B20 ve B2 yakıtları tek silindirli, su soğutmalı, 4 zamanlı, 12 BG, direk enjeksiyonlu bir dizel motorda denenerek dizel yakıtıyla karşılaştırılmış ve moment, güç, özgül yakıt tüketimi, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>, duman koyuluğu ve gürültü emisyonları incelenmiştir. Çalışma sonucunda B100, B20 ve B2 yakıtlarının fiziksel özellikleri dizel motorda kullanılmasıyla elde edilen motor performans değerleri standart dizel yakıtı ile benzer özellikler göstermiştir. En yüksek tork B2 yakıtında 1400 1/min'de 34.42 Nm iken, dizel yakıtında 1400 1/min'de 33.86 Nm, B20 yakıtında 1500 1/min'de 33.29 Nm ve B100 yakıtında ise 1400 1/min'de 31.49 Nm'dir. Minimum özgül yakıt tüketimi 1500 1/min'de B100 yakıtında 244.413 g/kWh, B2 yakıtında 265.589 g/kwh, dizel yakıtında 279.610 g/kWh ve B20 yakıtında 289.024 g/kWh olarak ölçülmüştür. Termik verim değerleri 1500 1/min'de B100 yakıtında %36.411, B2 yakıtında %30.464, B20 yakıtında %28.307 ve dizel yakıtında %28.226'dır. Egzoz emisyon değerleri biyodizel oranının artışıyla CO, CO<sub>2</sub>, duman koyuluğu ve egzoz gazı sıcaklıkları düşüş gösterirken, O<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub> emisyon değerlerinde artış göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Biyodizel, transesterifikasyon, tavuk yağı, optimizasyon, depolama, yakıt özellikleri, motor performansı, egzoz emisyonları.



# OPTIMIZATION OF METHYL ESTER PRODUCTION FROM CHICKEN FAT AND EFFECTS OF FUEL ON ENGINE PERFORMANCE

**Bilal YUMAK**

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

**2016; Page: 85**

**Supervisor: Assist. Prof. Dr. Tanzer ERYILMAZ**

## ABSTRACT

In this study, biodiesel production process from chicken fat was optimized using methyl alcohol and NaOH. Chicken fat biodiesel was blended volumetrically by 20% and 2% with pure biodiesel to obtain B20 and B2 fuels. Fuel properties of these were determined. On the other hand, B100, B20, B2 and pure biodiesel fuels were stored in dark and glass, plastic and metal containers at 4°C and 25°C for a period of 6 months carrying out bimonthly the measurements on the fuel properties. B100, B20 and B2 fuels were tested in a single cylinder, four-stroke, 12 BG, directly injected diesel engine and parameters such as moment, power, specific fuel consumption, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub> and noise emissions, as well as smoke intensity were investigated. In conclusion to the study, B100, B20 and B2 fuels exhibited similar motor performance and physical properties with standard biodiesel, when used in the diesel motor. Considering the maximum moment values from the fuels, B2 fuel had 34.42 Nm at 1400 1/min; B20 had 33.29 Nm at 1500 1/min; B100 had 31.49 Nm at 1400 1/min; while standard diesel had 33.86 Nm at 1400 1/min. The minimum specific fuel consumption values were measured at 1500 1/min as 244.413 g/kWh for B100, 265.589 g/kWh for B2, 279.610 g/kWh for standard diesel and 289.024 g/kWh for B20. Thermal efficiency was determined at 1500 1/min as 36.411% for B100, 30.464% for B2, 28.307% for B20 and 28.226% for standard diesel. The exhaust emission values depicted that at all revolutions, with increasing amount of the biodiesel in the fuel blend, there was an increase in CO, CO<sub>2</sub>, smoke intensity and exhaust gas temperature, while O<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> emissions were ceased.

**Keywords:** Biodiesel, transesterification, chicken fat, optimization, storage, fuel property, engine performance, exhaust emissions.

## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasında, bana büyük destek veren danışman hocam Sayın Yrd. Do. Dr. Tanzer ERYILMAZ'a ve Arő. Gör. Murat Kadir YEŞİLYURT'a teşekkür ve saygılarımı sunarım. Tez çalıőmam esnasında desteğini eksik etmeyen aileme de teşekkür ederim.

Bu araőtırmayı destekleyen Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne ayrıca teşekkür ederim.



## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1:	Deneylerde Kullanılan Antor 3LD510 Marka Dizel Motor..... 28
Şekil 3.2:	Hidrolik Dinamometre..... 30
Şekil 3.3:	Yakıt Tüketimi için Kullanılan Terazi..... 30
Şekil 3.4:	Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı..... 31
Şekil 3.5:	Yoğunluk Ölçüm Cihazı..... 32
Şekil 3.6:	Kinematik Viskozite Ölçüm Cihazı..... 33
Şekil 3.7:	Parlama Noktası Tayin Cihazı..... 33
Şekil 3.8:	Su Muhtevası Tayin Cihazı..... 34
Şekil 3.9:	Kalorimetre Cihazı..... 35
Şekil 3.10:	Homojenizatör ..... 35
Şekil 3.11:	Mekanik Karıştırıcı..... 36
Şekil 3.12:	Hassas Terazi..... 37
Şekil 3.13:	Isıtıcıli Manyetik Karıştırıcı..... 37
Şekil 3.14:	Etüv..... 38
Şekil 3.15:	Yakıtların Saklanmasıda Kullanılan Buzdolabı..... 38
Şekil 3.16:	pH Metre..... 39
Şekil 3.17:	Renk Ölçer..... 39
Şekil 3.18:	Otomatik Akma, Bulutlanma ve SFTN Tayin Cihazı..... 40
Şekil 3.19:	Metil Alkol..... 41
Şekil 3.20:	Sodyum Hidroksit (NaOH)..... 41
Şekil 3.21:	Metil Ester Üretim Süreci Akış Diyagramı..... 42
Şekil 3.22:	Depolama Kapları..... 43
Şekil 4.1:	Metanol/Yağ oranının biyodizel verimi üzerine etkisi..... 47
Şekil 4.2:	Katalizör miktarının biyodizel verimi üzerine etkisi..... 48
Şekil 4.3:	Reaksiyon sıcaklığının biyodizel verimi üzerine etkisi..... 49
Şekil 4.4:	Reaksiyon süresinin biyodizel verimi üzerine etkisi..... 50
Şekil 4.5:	Tavuk yağı biyodizeli ve karışımlarının farklı sıcaklıklardaki yoğunluk değerleri..... 52
Şekil 4.6:	Tavuk yağı biyodizeli ve karışımlarının farklı sıcaklıklardaki kinematik viskozite değerleri..... 52

<b>Şekil 4.7:</b>	Kinematik viskozite değişimleri.....	53
<b>Şekil 4.8:</b>	Yoğunluk değişimleri.....	54
<b>Şekil 4.9:</b>	Kalori değişimleri.....	55
<b>Şekil 4.10:</b>	Renk değişimleri.....	56
<b>Şekil 4.11:</b>	Su muhtevası değişimi.....	57
<b>Şekil 4.12:</b>	pH değişimi.....	58
<b>Şekil 4.13:</b>	Parlama noktası değişimi.....	59
<b>Şekil 4.14:</b>	Bulutlanma noktası değişimi.....	60
<b>Şekil 4.15:</b>	SFTN değişimi.....	61
<b>Şekil 4.16:</b>	Akma noktası değişimi.....	62
<b>Şekil 4.17:</b>	Donma noktası değişimi.....	62
<b>Şekil 4.18:</b>	Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak Moment Değerlerinin Değişimi.....	63
<b>Şekil 4.19:</b>	Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak Güç Değerlerinin Değişimi.....	64
<b>Şekil 4.20:</b>	Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak Özgül Yakıt Tüketimi Değerlerinin Değişimi.....	65
<b>Şekil 4.21:</b>	Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak Volümetrik Verim Değerlerinin Değişimi.....	66
<b>Şekil 4.22:</b>	Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak Termik Verim Değerlerinin Değişimi.....	67
<b>Şekil 4.23:</b>	Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak Hava Fazlalık Katsayısı Değerlerinin Değişimi.....	68
<b>Şekil 4.24:</b>	Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak CO <sub>2</sub> Emisyon Değerlerinin Değişimi.....	69
<b>Şekil 4.25:</b>	Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak O <sub>2</sub> Emisyon Değerlerinin Değişimi.....	70
<b>Şekil 4.26:</b>	Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak CO Emisyon Değerlerinin Değişimi.....	71
<b>Şekil 4.27:</b>	Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak NO <sub>x</sub> Emisyon Değerlerinin Değişimi.....	72
<b>Şekil 4.28:</b>	Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak Işık Absorblama Katsayısı Değerlerinin Değişimi.....	73
<b>Şekil 4.29:</b>	Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak Egzoz Gazı Sıcaklığı Değerlerinin Değişimi.....	74
<b>Şekil 4.30:</b>	Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak Gürültü Değerlerinin Değişimi.....	75

## TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Tablo 1.1:</b> Motorine Katılacak Otobiyodizel Miktarları ve Uygulamaya Geçiş Tarihleri.....	3
<b>Tablo 1.2:</b> Yağlı Tohumlu Bitkilerin Türkiye'deki Ekiliş, Hasat, Üretim ve Verim Değerleri.....	4
<b>Tablo 1.3:</b> Dünyada En Fazla Üretimi Yapılan Yağ Bitkileri ve Yağ İçerikleri.....	6
<b>Tablo 1.4:</b> Hayvansal yağlardaki yağ asidi oranları.....	7
<b>Tablo 1.5:</b> TS EN 14213 Standardında Yer Alan Testler ve Yöntemleri.....	11
<b>Tablo 1.6:</b> TS EN 14214 Standardında Yer Alan Testler ve Yöntemleri.....	12
<b>Tablo 1.7:</b> TS 3082 EN 590 Standardında Yer Alan Testler ve Yöntemleri.....	13
<b>Tablo 1.8:</b> Biyodizelin Çeşitli Malzemelerle Uyuşabilirliği.....	14
<b>Tablo 3.1:</b> Test Motorunun Teknik Özellikleri.....	29
<b>Tablo 3.2:</b> Egzoz Emisyon Cihazlarının Teknik Özellikleri.....	31
<b>Tablo 4.1:</b> Denemelerde Kullanılan Yakıtların Bazı Fiziksel Özellikleri.....	51

## SİMGELER VE KISALTMALAR

**API** : Amerikan Petroleum Institute

**ASTM** : American Society for Testing and Material

**B** : Saatlik Yakıt Tüketimi

**B100** : Hacimsel Olarak %100 Biyodizel

**B20** : Hacimsel Olarak %20 Biyodizel

**B2** : Hacimsel Olarak %2 Biyodizel

**b<sub>e</sub>** : Özgül Yakıt Tüketimi

**CEN** : Committee for European Normalisation

**CFPP** : Cold Filter Plug Point

**DI** : Direkt İnjeksiyon

**DIN** : Deutsches Institut für Normung

**EPDK** : Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu

**EN** : Avrupa Standartları (Europeane Norm)

**E-10**: (%10 Biyoetanol+ %90 Benzin)

**E-85**: (%85 Biyoetanol+ %15 Benzin)

**F** : Hidrolik Güç Frenin Moment Kolu Üzerinden Teraziye Uyguladığı Kuvvet

**HC** : Hidrokarbon

**Hu** : Yakıt Alt Isıl Değeri

**H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>** : Fosforik Asit

**ISO** : Uluslararası Standartlar Organizasyonu

(International Organization for Standardization)

**KOH** : Potasyum Hidroksit

**L** : Hidrolik Frenin Moment Kolu Uzunluğu

**m/m** : Kütlesel Oran

**M<sub>e</sub>** : Motor Döndürme Momenti

**n** : Motorun Çalışma Devir sayısı

**N<sub>e</sub>** : Efektif Motor Gücü

**NO<sub>x</sub>** : Azot oksit

**SFTN** : Soğuk Filtre Tıkanma Noktası

**SO<sub>2</sub>** : Kükürtdioksit

**V/V** : Hacimsel Oran

**V<sub>v</sub>** : Volumetrik Verim

**ÖTV** : Özel Tüketim Vergisi

**P** : Motor Gücü

**TSE** : Türk Standartları Enstitüsü

**T<sub>v</sub>** : Termik Verim

**λ** : Hava Fazlalık Katsayısı

**C**: Cam Kap

**D**: Dizel yakıtı (İlk harf)

**D**: Dolap (İkinci ve üçüncü harf)

**E**: Etüv

**M**: Metal kap

**P**: Plastik kap

## 1. GİRİŞ

Günümüz koşullarında toplumsal yaşamı doğrudan ve dolaylı olarak etkileyen enerji üretim ve tüketiminin planlı yapılması gerekir. Ülkelerin ve bu alanda yetkili uluslararası kuruluşların kısa, orta ve uzun vadeli planları ve stratejileri yapılmaktadır. Bu kapsamda güvenli, sürdürülebilir, çevreci ve ekonomik enerji kaynakları kullanımının stratejik önemi de artmıştır.

Ülkelerin ekonomik ve sosyal kalkınması ve çağdaş yaşam standartlarına ulaşabilmeleri için en önemli ihtiyaçlardan birisi ucuz, temiz, güvenilir ve kolay elde edilebilen farklı enerji kaynakları sağlamaktır. Bu kapsamda, yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları ile etkin ve ucuz üretim/kullanım teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik yoğun araştırmalar sürdürülmektedir. Artan nüfus, refah seviyesinin yükselmesi, şehirleşme ve endüstrileşme, uzun yıllardır fosil yakıtlarla karşılanan enerji ihtiyacının daha da fazlalaşmasına neden olmaktadır. Fosil yakıt rezervlerinin yakın gelecekte tükeneceği gerçeği ve bunun bir sonucu olarak fiyatların devamlı artmasının yanı sıra, bu yakıtların yanmaları sonucu çevreye verdikleri zararlar ve insan sağlığı üzerindeki etkileri de önem kazanmaktadır [1].

Yapılan bir araştırmada, dünya petrol rezervlerinin 41 yıl, kömür rezervlerinin 218 yıl, doğal gaz rezervlerinin ise 63 yıl ömrü kaldığı bildirilmektedir. Türkiye’de ise kullanılan enerjinin %47’si ham petrolden karşılanmakta ve petrol tüketiminin %97’si ithal yollarla karşılanmaktadır. Ülkemiz, her yıl 23.2 milyon ton ham petrol, 5.7 milyon ton da petrol ürünü ithal etmektedir. Öte yandan, petrol rezervlerinin gittikçe azaldığı düşünülürse, petrole alternatif olabilecek motor yakıtlarının bulunması ve uygulamaya konulmasını zorunlu hale gelmiştir. Burada bulunulacak alternatif yakıtın mevcut teknolojide önemli bir yapısal değişiklik gerektirmeden doğrudan kullanılması önem taşımaktadır [2].

Konvansiyonel enerji kaynaklarının tükenbilir nitelikte olması, ilaveten ülkemiz açısından bu kaynakların ithalata dayanması (dışa bağımlılık) enerji arzındaki risk unsurunu artırmaktadır. Diğer bir ifade ile petrol ve doğal gazın çok büyük oranda başka ülkelerden alınması Türkiye açısından her zaman arz risk taşımaktadır. Belirtilen nedenlerle alternatif enerji kaynakları arayış çalışmaları ülkemiz açısından



stratejik öneme sahiptir. Alternatif enerji kaynakları içerisinde yenilenebilir enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli dezavantajı yoğun olmayıp yaygın (extensive) olmalarıdır. Bu durum, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıma sunulması için yoğunlaştırma teknolojilerinin geliştirilmelerini ve bu alandaki Ar-Ge çalışmalarını ve önemli düzeyde yatırımlar yapılmasını gerektirmektedir.

Anılan kapsamda, petrol türevlerinden dizel yakıtının biyodizele, benzin için ise biyobenzine doğru geçiş süreci başlatılmış durumdadır. Tüm dünya ülkelerinde olduğu gibi ülkemizde de biyodizel ve biyobenzin üretimi, araştırmacılar ile bu alanda üretim yapmak isteyen müteşebbislerin ilgisini çekmektedir.

Bu araştırmada, tavuk eti üretim sektöründe ortaya çıkan tavuk yağının biyodizele işlenmesi ve depolamada kullanılan kap malzemelerinin farklı karışımlardaki biyodizel yakıtların özelliklerine etkisinin ortaya konması amaçlanmıştır. Ayrıca yakıt örneklerinin tek silindirli dizel motordaki performansları da araştırılmıştır.

### **1.1. Biyodizel ve Biyobenzin Üretimi, Türkiye'deki Durumu**

Biyodizel; bitkisel kökenli (yemelik olarak kullanılmayan) kolza, ayçiçek, soya, aspir, pamuk gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen bitkisel yağların, hayvansal yağların veya alg yağlarının bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve dizel yakıtı alternatif olarak kullanılabilir ve sürdürülebilir bir yakıttır. Biyodizel petrol içermez; saf olarak veya farklı oranlarda dizel yakıtı ile karıştırılarak yakıt olarak kullanılabilir [3]. Biyodizel, fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından dizel yakıtıyla benzerlikler göstermektedir. Saf olarak biyodizel kullanıldığında B100 olarak isimlendirilirken, %20 biyodizel ve %80 dizel yakıtı içeren bir karışım B20 olarak isimlendirilir [4].

Biyodizel ve dizel yakıtı karışım oranları bazında aşağıda belirtilen şekilde gösterilmektedir:

B2:	%2 Biyodizel + %98 Dizel
B5:	%5 Biyodizel + %95 Dizel
B20:	%20 Biyodizel + %80 Dizel
B50:	%50 Biyodizel + %50 Dizel
B100:	%100 Biyodizel

Saf biyodizel ve dizel-biyodizel karışımları herhangi bir dizel motorunda, motor üzerinde herhangi bir modifikasyona gerek kalmadan veya küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilirdiği belirtilmektedir [3].

EPDK'nın 27.09.2011 tarih ve 28067 sayılı resmi gazetede yayımladığı tebliğe göre motorine biyodizel karıştırılması Tablo 1.1' de verilen programa göre artan yüzdelerle mecburi olacaktır. Bu kararda önemli bir husus, biyodizel üretiminin yerli yağlı tohum üretiminden yapılması şartının konulmuş olmasıdır [5].

**Tablo 1.1.** Motorine Katılacak Otobiyodizel Miktarları ve Uygulamaya Geçiş Tarihleri

1/1/2014 tarihi itibariyle	En az %1 (V/V)
1/1/2015 tarihi itibariyle	En az %2 (V/V)
1/1/2016 tarihi itibariyle	En az %3 (V/V)

EPDK tarafından yapılan bu düzenleme kamuoyunda çok büyük tartışmalara yol açmıştır. Bazıları bu düzenlemenin doğru olduğunu savunurken, bazıları da alınan kararın yağ talebini artıracığını, gıda amaçlı yağ fiyatları üzerinde yukarı yönlü bir baskı oluşturacağını savunmuşlardır. Bu tartışmaların sonrasında EPDK yeniden bir düzenleme yapmak zorunda kalmış, 25.06.2013 tarih ve 28688 sayılı resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren son düzenlemeyle dizel yakıtına biyodizel harmanlama zorunluluğu kaldırılmıştır [6].

TÜPRAŞ'ın geleceğe yönelik tahminleri kullanarak 2015 yılında 15.8 milyon ton olacağı tahmin edilen motorin talebi dikkate alınırsa 330000 ton biyodizel üretilmesi gerekecektir. Bu üretim aynı zamanda tarım sektörünü de ilgilendirdiği için, biyodizel üretiminin yapılacağı yağlı tohum türü, ekimi için gerekecek tarım alanı önemli olacaktır [5]. Türkiye iklim ve toprak özellikleri itibariyle önemli bir yağlı tohumlu bitki üretim potansiyeline sahiptir. Fakat yağlı tohumlu bitki üretimi

yeterince yaygınlaşmadığı için dışa bağımlılık devam etmektedir [7]. Türkiye'de ekimi yapılan yağlı tohumlu bitkilerin ekiliş, hasat, üretim ve verim değerleri Tablo 1.2' de verilmiştir. Gıda sektörünün de ihtiyacı olan yağlı tohumlarla rekabet edecek bir duruma gelmesi ve geçmişte biyodizel adı altında yapılan sahte akaryakıt faaliyetlerinin önlenmesi için gereken tedbirler alınmalıdır [5].

**Tablo 1.2.** Yağlı Tohumlu Bitkilerin Türkiye'deki Ekiliş, Hasat, Üretim ve Verim Değerleri [8]

Yağlı Tohumlu Bitkiler		2010	2011	2012	2013	2014
<b>Soya</b>	Ekilen Alan (da)	234.727	264.209	315.990	432.600	343.178
	Hasat Edilen Alan (da)	234.716	264.209	315.990	432.600	343.178
	Üretim (ton)	86.540	12.260	122.114	180.000	150.000
	Verim (kg/da)	369	387	386	416	437
<b>Yerfıstığı</b>	Ekilen Alan (da)	274.500	254.711	373.881	399.428	333.289
	Hasat Edilen Alan (da)	274.400	254.711	371.949	399.426	333.289
	Üretim (ton)	97.310	90.416	122.780	141.263	123.600
	Verim (kg/da)	355	355	330	354	371
<b>Ayçiçeği</b>	Ekilen Alan (da)	5.514.000	5.560.000	5.046.160	5.202.600	6.574.576
	Hasat Edilen Alan (da)	5.513.890	5.559.221	5.046.160	5.201.381	6.574.576
	Üretim (ton)	1.170.000	1.170.000	1.200.000	1.380.000	1.637.900
	Verim (kg/da)	212	210	238	265	249
<b>Susam</b>	Ekilen Alan (da)	318.242	266.455	292.063	248.070	263.496
	Hasat Edilen Alan (da)	318.042	266.455	289.491	247.849	263.496
	Üretim (ton)	23.460	18.000	16.221	15.457	17.716
	Verim (kg/da)	74	68	56	62	67
<b>Aspir</b>	Ekilen Alan (da)	135.000	131.668	155.918	292.920	443.050
	Hasat Edilen Alan (da)	134.978	131.644	155.898	292.599	443.050
	Üretim (ton)	26.000	18.228	19.945	45.000	62.000
	Verim (kg/da)	193	138	128	154	140
<b>Kolza</b>	Ekilen Alan (da)	312.496	268.298	295.421	311.272	321.330
	Hasat Edilen Alan (da)	312.322	268.298	295.421	311.091	321.330
	Üretim (ton)	106.450	91.239	110.000	102.000	110.000
	Verim (kg/da)	341	340	372	328	342
<b>Pamuk tohumu</b>	Ekilen Alan (da)	4.806.500	5.420.000	4.884.963	4.508.900	-
	Hasat Edilen Alan (da)	4.804.393	5.419.523	4.884.963	4.508.900	-
	Üretim (ton)	1.272.800	1.527.360	1.373.440	1.287.000	1.391.200
	Verim (kg/da)	265	282	281	285	297
<b>Keten</b>	Ekilen Alan (da)	-	-	180	-	-
	Hasat Edilen Alan (da)	-	-	180	-	-
	Üretim (ton)	-	-	13	-	-
	Verim (kg/da)	-	-	72	-	-
<b>Kenevir</b>	Ekilen Alan (da)	221	140	64	7	10
	Hasat Edilen Alan (da)	221	140	64	7	10
	Üretim (ton)	7	8	4	1	1
	Verim (kg/da)	32	57	63	143	100
<b>Haşhaş</b>	Ekilen Alan (da)	518.970	549.110	135.106	322.773	-
	Hasat Edilen Alan (da)	518.970	549.110	135.106	322.773	-
	Üretim (ton)	36.910	45.077	3.844	19.244	16.223
	Verim (kg/da)	71	82	28	60	61

Biyodizel araştırmaları ve üretimi konusundaki gelişmeler dünya ölçeğinde devam ederken biyobenzin konusundaki gelişmeler daha çok Amerika kıtasında yoğunlaşmıştır. Biyobenzinin bileşenleri petrol türevi benzin ve biyoetanoldür. Biyoetanolün hammaddesi şeker pancarı, mısır, buğday ve odunsu bitkiler gibi şeker, nişasta veya selüloz özlü tarımsal ürünlerdir. Bu ürünlerin fermantasyonu ile elde edilen ve benzinle belirli oranlarda harmanlanarak kullanılan alternatif bir yakıttır.

Biyoetanol berrak, renksiz ve karakteristik bir kokuya sahip bir sıvıdır. Yüksek oktanlı bir yakıt olup kaynama noktası 78.5°C, donma noktası -114.1°C'dir. Biyoetanol 20°C'de 0.789 gr/ml yoğunluğa sahiptir. Benzinli motorlarda herhangi bir modifikasyona ihtiyaç duyulmadan %10 miktarında harmanlanarak kullanılabilir. Biyoetanolün en yaygın iki kullanım şekli,

E-10(%10Biyoetanol+ %90 Benzin)

E-85(%85 Biyoetanol+ %15 Benzin)'dir.

Biyobenzin olarak isimlendirilen bu yakıtlar ABD ve Brezilya'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Dünya biyoetanol üretimi 76 milyar litre olup bunun 41 milyar litresini ABD, 26 milyar litresini de Brezilya üretmektedir. AB ülkelerinde ve Ülkemizde üretim ve kullanımı henüz yaygın değildir. Türkiye'de biyoetanol üretimi yapan üç firma bulunmakta olup toplam üretim miktarı 44.239.556 litre dolayındadır. Yurt içi kullanımı yaygın olmadığından bu miktarın yaklaşık %75'i ihraç edilmektedir [9].

## **1.2. Bitkisel Yağlar**

Çok sayıda farklı bitkiden yağ üretilebilmektedir, ancak bunların sadece 100 'e yakın kısmının ticari açıdan önemli düzeyde olduğu kaydedilmiştir. Bunlardan sadece 22 tanesinin dünyada ticari olarak geniş alanlarda üretimi yapılmaktadır. Dünyada elde edilen yağın %95'i 12 bitki türünden üretilmektedir. Ülkemizde tropik yağlık bitkiler (hindistan cevizi=kopra, palm çekirdeği, Brezilya palmi=Babassa) dışındaki bütün yağlık bitkiler yetişmektedir. Elde edilmiş kaynağına göre, bitkisel yağ kaynakları ikiye ayrılırlar:

1.Yağlı tohumlarda elde edilen yağlar: ayçiçeği, çigit, susam, kolza, aspir, soya fasulyesi gibi tohumlardan elde edilen yağlardır.

2.Yağlı meyvelerden elde edilen yağlar: zeytin, badem, fındık, palm meyvesi, hindistan cevizi, ceviz, avokado gibi meyvelerden elde edilen yağlardır [9].

Dünyada en fazla üretimi yapılan yağ bitkileri ve yağ oranları Tablo 1.3'de verilmiştir.

**Tablo 1.3.** Dünyada En Fazla Üretimi Yapılan Yağ Bitkileri ve Yağ İçerikleri [10]

Yağ Bitkisi	Ortalama Yağ Oranı (%)
Hindistan Cevizi (Kopra)	65-68
Brezilya Palmi	60-65
Susam	50-55
Palm Meyvesi	45-50
Palm Çekirdeği (Palm kernel)	45-50
Amerikan Yer Fıstığı	45-50
Kolza Tohumu	40-45
Ayçiçek Tohumu	35-45
Aspir Tohumu	30-35
Zeytin (meyvede)	25-30
Pamuk Tohumu (Çigit)	18-20
Soya Fasulyesi	18-20

### 1.3. Hayvansal Yağlar

Hayvansal yağların üretim miktarı et üretimine bağlı olduğundan çoğu kez kullanılmayan, bazı durumlarda ise atık durumundadır. Bu nedenle hayvan iç yağı, kuyruk yağı, domuz yağı ve kanatlı hayvan yağları gibi hayvansal yağların üretim maliyeti bitkisel yağlara göre çok düşüktür. Belirtilen sebeplerle hayvansal yağlardan biyodizel üretimi konusu araştırmacıların ve yatırımcıların ilgisini çekmektedir. Bazı teknik zorlukları olmakla beraber ASTM ölçütlerine göre hayvansal yağlardan kaliteli biyodizel yapılabileceği belirtilmiştir [11].

Hayvan karkaslarından çıkarılan atık yağlar önce parçalama işleminden geçirilir, sonra pişirilerek yağı çıkarılır. Bu sırada yağ kütlesi içerisinde bulunan patojenler de giderilmiş olur, ayrıca yağ içinde bulunan su buharlaşarak uzaklaştırılır. Pişirme

sonrası ayrılan katı kısımlarda kalan yağlar vidalı pres ile çıkarılarak yağ tamamen ayrılmaktadır. Yağı ayrılan katı kısımlar hayvan yemi üretiminde kullanılmaktadır.

Hayvansal yağlar, doymuş yağlar olduğundan bitkisel yağlara göre daha yüksek sıcaklıklarda sıvılaşır. Bu nedenle hayvansal yağlardan yapılan biyodizel yakıtın bulutlanma sıcaklığı yüksektir. Bununla birlikte hayvansal yağlardan yapılan biyodizelin, petrodizel yakıtta %5 oranına kadar karıştırılabildiği (B5), bu değer altındaki karışım oranının bulutlanma sıcaklığını değiştirmedeği bildirilmiştir [11].

Farklı hayvansal yağlar içinde bulunan yağ asidi oranları Tablo 1.4'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Bu tablodan sığır yağı ve domuz yağının tipik olarak %40 oranında doyduduğu (miristik, palmitik ve stearik asit oranları toplamı), bu oranın tavuk yağında %30-33 oranında kaldığı görölmektedir. Birçok bitkisel yağ oda sıcaklığında ve daha düşük sıcaklıklarda sıvı fazda iken sığır ve domuz yağı katı fazdadır. Tavuk yağı ise oda sıcaklığında sıvı fazda ise de viskoz sıvı karakteri gösterir.

**Tablo1.4.** Hayvansal yağlardaki yağ asidi oranları [11]

Yağ asidi	Sığır yağı	Domuz yağı	Tavuk yağı
Miristik 14:0	1.4-6.3	0.5-2.5	1
Palmitik 16:0	20-37	20-32	25
Palmitoleik 16:1	0.7-8.8	1.7-5	8
Stearik 18:0	6-40	5.24	6
Oleik 18:1	26-50	35-62	41
Linoleik 18:2	0.5-5	3.16	18

Teorik olarak hayvansal yağlarda bulunan doymuş yağ asitleri, üretilen biyodizelin oksitlenme stabilitesine katkı sağlamalıdır. Ancak pratikte hayvan yağları bitkisel yağlara göre daha stabil değildir. Bunun nedeni bitkisel yağlarda bulunan anti-oksidadant bileşenlerin bulunmasıdır. Pişirilmiş hayvan yağlarına yapay anti oksidadantlar katılarak biyodizelin uzun süre bozulmadan kalması sağlanabilmektedir.

Hayvan yağlarından elde edilen biyodizelin yüksek setan sayısına (60'ın üzerinde) sahip olması istenen bir özelliktir. Yüksek setan sayısı motorun daha hızlı ve sessiz çalışmasına neden olmaktadır. Soya fasulyesinden elde edilen biyodizelde setan sayısı 48-52 iken petrol türevi dizel yakıtında bu değer 40-44 arasındadır. Hayvan

yağından üretilen biyodizelin diğer önemli bir yakıt özelliği de çıkan egzoz gazındaki çevre kirlenmesine neden olan gazlara ait değerlerin düşük olmasıdır. Ancak NOx gazları petrol dizeline göre biraz fazladır.

Hayvansal yağlarda sülfür içeriğinin yüksek olması onların biyodizele işlenmesinde en önemli engel olarak görülmektedir. Otoyollarda satılan biyodizel yakıt karışımlarında en fazla 15 ppm'e kadar izin verilmektedir. Oysa bazı sığır yağı örneklerinde bu değer 100 ppm'in üzerine çıktığı kaydedilmiştir. Ancak biyodizele dönüşüm sırasında bu oranın yaklaşık yarısına düştüğü belirtilmiştir. Kalan kükürt miktarının uzaklaştırılması için vakumlu distilasyon yönteminin kullanılabileceği önerilmektedir [11].

#### **1.4. Hayvansal ve Bitkisel Yağların Yakıt Özelliklerini İyileştirme Yöntemleri**

Bitkisel yağların dizel yakıtına işlenmesinde ve dizel motorlarında kullanılabilmesi için en önemli zorluk, viskozite ve yoğunluk değerlerinin yüksek olmasıdır. Yüksek viskoziteli yakıtlarda püskürtme sırasında yakıtın atomize olması zorlaşmaktadır. Bu yüzden enjektörlerde problemler çıkmaktadır. Gerekli kimyasal işlemlere tabi tutularak viskozitesinin düşürülmesi gerekir. Bitkisel yağların dizel yakıtına alternatif olarak işlenmesi için, öncelikle viskozite probleminin çözülmesi gerektiği belirtilmektedir. Literatür ve bu alandaki teknoloji incelendiğinde, viskozitenin düşürülmesi için aşağıdaki beş yöntemin kullanıldığı görülür [12].

- 1.Seyreltme Yöntemi
- 2.Mikro Emülsiyon Oluşturma Yöntemi
- 3.Piroliz Yöntemi
- 4.Süper Kritik Yöntem
- 5.Transesterifikasyon Yöntemi

##### **1.4.1. Seyreltme Yöntemi**

Seyreltme yönteminde, viskoziteyi düşürücü bir çeşit modifikasyon tekniği uygulanmaktadır. Bitkisel yağların içerisine belirli oranlarda motorin ve/veya organik bileşikler katılarak yağın viskozitesini düşürülmek amacıyla hazırlama yöntemidir. Karışım oranı karışım yakıtın özelliklerinin istenen standartlar içinde

kalacak şekilde ayarlanmalıdır. Genel olarak yağların birbiriyle iyi bir karışım yapma özellikleri olduğundan, bu teknikle kullanılan karışımlar kolaylıkla hazırlanmaktadır. Ayrıca bitkisel yağ ve motorin karışımlarının depolanmasında herhangi bir problem ve karışımda faz ayrışması bildirilmemiştir. Ancak karışımın doğrudan püskürtmeli dizel motorlarında uzun süreli çalışmalarda enjektör tıkanmasına neden olduğu kaydedilmiştir [13].

#### **1.4.2. Mikro Emülsiyon Oluşturma Yöntemi**

Bu yöntemde, metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkoller kullanılarak bitkisel yağlar mikro emülsiyon haline getirilmektedir. Mikro emülsiyon yöntemi ile hazırlanan yakıtların ısı değerlerinin, alkol içermeleri nedeniyle dizel yakıtına oranla daha düşük olduğu belirtilmektedir. Bu da motor gücünde bir miktar düşmeye neden olmaktadır. Başka bir sakıncası da, alkollerin setan sayısının düşük olması yüzünden hazırlan emülsiyonun setan sayısının da düşük olmasına neden olur ve bu durum düşük sıcaklıklarda karışımın ayrışma eğilimi artırmaktadır [14].

#### **1.4.3. Piroliz Yöntemi**

Piroliz, organik maddelerin oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıkta parçalanarak ayrışmasıdır. Piroliz ile parçalanarak elde edilen yakıt transesterifikasyon ile elde edilenden daha ucuza mal edilebilmektedir. Örneğin; piroliz de ham madde olarak toplu yemek yapılan yerlerin atık yağları, transesterifikasyon prosesinin yağ atıkları ve yemek yağı üreten fabrikaların yağ ürünleri kullanılabilir. Piroliz yöntemi yakıt elde etme yanında özellikle endüstriyel atıklar ve şehir atıklarının değerlendirilmesi için kullanılan bir yöntemdir. Bir çok Avrupa ülkesinde bu yöntemle şehir çöplerinden yanıcı gaz elde edilmektedir. Pirolizin diğer yöntemler arasında uygulaması kolay ve verimli bir yöntem olduğu bildirilmiştir [15].

#### **1.4.4. Süperkritik Yöntem**

Bu yöntem, yüksek sıcaklıklarda kısa sürede karışım içerisindeki istenen nitelikteki bileşenin ayrılması esasına dayanır ve işlem, 240 saniye gibi kısa bir sürede gerçekleşmektedir. Bu yöntemde (transesterifikasyon prosesi için) kullanılan alkolün kritik sıcaklığı ve kritik basıncının önemli olduğu belirtilmiştir [16].



#### **1.4.5. Transesterifikasyon Yöntemi**

Bu yöntemde, bitkisel ve hayvansal yağları oluşturan trigliseritler parçalanarak bir ester dönüşümü gerçekleştirilir. Transesterifikasyon adı verilen bu reaksiyonda organik yağlar, metil alkol gibi bir alkolle, bir katalizör eşliğinde reaksiyona girerek biyodizel elde edilir. Bitkisel ham yağın asidik özelliği ne kadar yüksek ise kullanılacak katalizör miktarının da ona göre fazla olması gerekir. Biyodizel üretiminde yaygın olarak metil alkol kullanılmaktadır. Bunun nedeni diğer alkollere göre daha iyi sonuç vermesidir. Bununla birlikte, etanol, izopropil alkol ve bütil alkol gibi farklı alkollerle de kullanılabilir. Transesterifikasyon, işlemi bitkisel yağların viskozitelerini önemli ölçüde düşürdüğünden, dizel motorlarında kullanıldığında yakıt atomizasyonu, yanma ve yakıt karakteristikleri, işlenmemiş bitkisel yağlara göre daha iyi sonuç verdiği kaydedilmiştir [17, 18].

#### **1.5. Biyodizel Standartları**

Standardizasyon diğer alanlarda olduğu gibi *Biyodizel* alanında da ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır. Bu amaçla Avrupa Standardizasyon Teşkilatı CEN (Committee for European Normalisation) 1997 yılında Yağ Asidi Metil Esterlerin yakıt olarak dizel motorlarda kullanımı için standart geliştirmiştir. Bu alandaki öneriler, biyodizelle ilgili çalışmalarını desteklemek ve biyodizel kullanan, motor parçalarının garantisini sağlamaya yönelik olmuştur. Biyodizel alanındaki standardizasyon çalışmaları, ekolojik özelliklerin yakıt özelliklerini sıklıkla etkilemesinden kaynaklanmış ve yakıt özelliklerini stabil hale getirme alanında olmuştur.

Biyodizelin dizel yakıtlara alternatif olabilmesinin şartı, kalite değerlerinin motorin ile rekabet edebilir olmasıdır. İyi bir üretim prosesi ile biyodizel, motorine yakın değerler göstermektedir.

Biyodizel kullanımının yaygınlaşması ilgili standartları da beraberinde getirmiştir. Bir çok ülke biyodizel ile ilgili standartlarını hazır hale getirmiştir. Ülkemizde de biyodizel ile ilgili standartlar, 27.09.2005 tarihinde TS EN 14213 (Tablo 1.4), 29.06.2009 tarihinde TS EN 14214 (Tablo 1.5) nolu standartlar olarak kabul edilmiş ve Türk Standartları arasına girmiştir. Motorin ve karışımlarla ilgili olan standart ise

27.09.2005 tarihinde kabul edilen TS 3082 EN 590 (Tablo 1.6) standardı kullanılmaktadır [18].

**Tablo 1.5.** TS EN 14213 Standardında Yer Alan Testler ve Yöntemleri [19]

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney Yöntemi
		En az	En çok	
Ester içeriği	%(m/m)	96.5	-	EN 14103
Yoğunluk, 15 °C'ta	kg/m <sup>3</sup>	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viskozite, 40 °C'ta	mm <sup>2</sup> /s	3.5	5	EN ISO 3104
Parlama noktası	°C	120	-	ISO 3105 EN ISO 3679
Kükürt içeriği	mg/kg	-	10.0	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	%(m/m)	-	0.30	EN ISO 10370
Sülfatlanmış kül içeriği	%(m/m)	-	0.02	ISO 3987
Su içeriği	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	EN 12662
Oksidasyon kararlılığı, 110°C'ta	h	4.0	-	EN 14112
Asit sayısı	mg KOH/g	-	0.5	EN 14104
İyot sayısı	g iyot/100 g	-	130	EN 14111
Çoklu doymamış (>=4 çift bağ)	%(m/m)	-	1.0	
Metil esterleri				
Monogliserit içeriği	%(m/m)	-	0.80	EN 14105
Digliserit içeriği	%(m/m)	-	0.20	EN 14105
Trigliserit içeriği	%(m/m)	-	0.20	EN 14105
Serbest gliserol	%(m/m)	-	0.02	EN 14105 EN 14106
Soğuk filtre tıkanma noktası	°C	-		EN 116
Akma noktası	°C	-	0	ISO 3016
Net yanma ısısı ( hesaplanmış)	Mj/kg	35	-	DIN 51900-1 DIN 51900-2 DIN 51900-3

**Tablo 1.6.** TS EN 14214 Standardında Yer Alan Testler ve Yöntemleri [20]

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney Yöntemi
		En az	En çok	
Ester içeriği	%(m/m)	96.5	-	EN 14103
Yoğunluk, 15 °C'ta	kg/m <sup>3</sup>	860	900	EN ISO 3675
Viskozite, 40 °C'ta	mm <sup>2</sup> /s	3.50	5.00	EN ISO 12185
Parlama noktası	°C	101	-	EN ISO 3104
Kükürt içeriği	mg/kg	-	10.0	EN ISO 2719
Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	%(m/m)	-	0.30	EN ISO 3679
Setan sayısı		51	-	EN ISO 20846
Sülfatlanmış kül içeriği	%(m/m)	-	0.02	EN ISO 20884
Su içeriği	mg/kg	-	500	EN ISO 10370
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	EN ISO 5165
Bakır şerit korozyonu, 50 °C'ta 3 saat	Derece	Sınıf 1		ISO 3987
Oksitlenme kararlılığı, 110°C'ta	h	6.0	-	EN ISO 12937
Asit sayısı	mg KOH/g	-	0.50	EN ISO 12662
İyot sayısı	g iyot/100 g	-	120	EN ISO 2160
Linolenik asit metil esteri	%(m/m)	-	12.0	pr EN 15751
Çoklu doymamış (>=4 çift bağ)	%(m/m)	-	1.0	EN 14112
Metil esterleri				EN 14104
Metanol içeriği	%(m/m)	-	0.20	EN 14105
Monogliserit içeriği	%(m/m)	-	0.80	EN 14111
Digliserit içeriği	%(m/m)	-	0.20	EN 14103
Trigliserit içeriği	%(m/m)	-	0.20	EN 14105
Serbest gliserol	%(m/m)	-	0.02	EN 14105
Toplam gliserol	%(m/m)	-	0.25	EN 14106
Grup I metaller (Na+K)	mg/kg	-	5.0	EN 14105
Grup II metaller (Ca+Mg)	mg/kg	-	5.0	EN 14538
Fosfor içeriği	mg/kg	-	4.0	EN 14108
				EN 14109
				EN 14538
				EN 14107

**Tablo 1.7.** TS 3082 EN 590 Standardında Yer Alan Testler ve Yöntemleri [21]

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney Yöntemi
		En az	En çok	
Setan sayısı		51	-	EN ISO 5165
Setan indisi		46	-	EN ISO 4264
Yoğunluk, 15 °C'ta	kg/m <sup>3</sup>	820	845	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Polisilikaromatik hidrokarbonlar	%(m/m)	-	11	EN 12916
Kükürt	mg/kg	-	350	EN ISO 20846
			(31.12.2004'e kadar) veya 50	EN ISO 20847 EN ISO 20884
Parlama noktası	°C	55'ten yüksek	10.0	EN ISO 20846 EN ISO 20884
			-	EN 22719
Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	%(m/m)	-	0.30	EN ISO 10370
Kül	%(m/m)	-	0.01	EN ISO 6245
Su	mg/kg	-	200	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	-	24	EN 12662
Bakır şerit korozyonu (3 h, 50°C'ta )	Derece	-	1	EN ISO 2160
Oksidasyon kararlılığı	g/m <sup>3</sup>	-	25	EN ISO 12205
Yağlama özelliği, düzeltilmiş aşınma izi çapı(wsd1.4) 60 °C'ta	µm	-	460	EN ISO 12156-1
Viskozite, 40 °C'ta Damıtma	mm <sup>2</sup> /s	2	4.5	EN ISO 3104
250 °C'ta elde edilen %(V/V)	%(V/V)	-	<65	EN ISO 3405
250 °C'ta elde edilen %(V/V)	%(V/V)	85	-	
%95'in elde edildiği sıcaklık	°C	-	360	
Yağ asidi metil esterleri (YAME)	%(V/V)	-	5	EN 14078

### 1.6. Biyodizelin Malzemelere Etkisi

Biyodizel orta dereceli bir çözücüdür. Boyalı yüzeyler ile teması halinde boyayı çözebilir. Biyodizelin bu çözücü özelliğinden dolayı araçlardaki kullanımında yakıt deposuna konulmadan evvel, deponun temizliğini ve bakımını yapmak gerekir. Aksi takdirde motorinden kaynaklanan depodaki tortuları çözmekte, yakıt filtresi ve enjektörlerde tıkanıklığa sebep olmaktadır [17].

Depolama yapmadan önce depolama tankında su var ise uzaklaştırılmalıdır. Ayrıca depolama tankındaki bakır, pirinç, bronz, kurşun, kalay ve çinko biyodizel ile okside olabilir ve tortulaşma meydana getirebilir. Bakır borular, pirinç regülatörler ve bakır rekorlarda kurşun ve çinko kaplamalardan kaçınılmalıdır ve bu malzemeler çelik ya da alüminyum olanlarla değiştirilmelidir [17, 22]. Uzun süreli depolanmış

biyodizelin kullanımından önce pH'ı test edilmeli ve pH'ının 7-10 sınırları içinde olmasına dikkat edilmelidir. Yine aynı şekilde uzun süre beklemiş biyodizelin kullanımından önce özgül ağırlığının 0.9 g/cm<sup>3</sup>'ü aşp aşmadığı belirlenmelidir. Biyodizel tankları mümkünse tamamen dolu tutulmalıdır. Bunu yapmaktaki amaç biyodizel ile havanın temasını en aza indirmektir [23]. Biyodizelin çeşitli malzemeler ile uyuşabilirliği Tablo 1.2'de verilmiştir.

**Tablo 1.8.** Biyodizelin Çeşitli Malzemelerle Uyuşabilirliği [22]

<b>Materyal</b>	<b>BXX</b>	<b>Dizel Yakıtına Göre Malzemeye Etkisi</b>
<b>Teflon</b>	B100	Küçük Değişme
<b>Naylon 6/6</b>	B100	Küçük Değişme
<b>Nitril</b>	B100	%20 Sertlik Azalması
	B100	%18 Şişmede Artış
<b>Viton A401-C</b>	B100	Küçük Değişme
<b>Viton GFLT</b>	B100	Küçük Değişme
<b>Fluorosilicon</b>	B100	Sertlikte Küçük Değişme
	B100	%7 Şişmede Artış
<b>Polyurethane</b>	B100	Sertlikte Küçük Değişme
	B100	%6 Şişmede Artış
<b>Polypropylene</b>	B100	%10 Sertlikte Azalma
	B100	%8-15 Şişmede Artış
<b>Polyvinyl</b>	B100	Çok Kötü
	B50	Kötü
	B40	Kötü
	B30	Kötü
	B20	Aynı
	B10	Aynı
<b>Tygon</b>	B100	Kötü

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Konu ile ilgili daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, farklı bitkisel yağlardan elde edilen biyodizel özelliklerinin incelendiği görülmüştür. Hayvansal yağlardan elde edilen biyodizel özelliklerinin belirlenmesine yönelik araştırmalara daha sonra başlandığı, bu nedenle yapılan araştırmaların sınırlı sayıda olduğu söylenebilir. Fiyatının oldukça düşük olması nedeniyle, bir endüstri kolu haline gelen tavuk üretiminde ortaya çıkan tavuk yağından biyodizel yakıtı elde edilmesi daha ekonomik ve uygulanabilir gözükmektedir. Biyodizel konusunda yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Oğuz [24], yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında ayçiçek yağını seyreltme yöntemi uygulayarak direk enjeksiyonlu, 3 silindirli ve 43 kW gücünde bir dizel motorda denemiştir. Ayçiçek yağı ile dizel yakıtını hacimsel olarak %20, %30, %40, %50, %60, %70 ve %80 oranlarında karıştırmış, elde edilen yakıtların yakıt özelliklerini belirlemiştir. Sonuç olarak motor performansında önemli bir değişikliğin olmadığını fakat özgül yakıt tüketiminde artışların meydana geldiğini belirtmiştir. Emisyon değerlerinde ise özellikle duman yoğunluğunda önemli miktarda azalmaların meydana geldiğini belirtmiştir.

Thompson ve ark. [25], çalışmalarında kanola yağından transesterifikasyon yöntemi ile kanola yağı metil esteri ve kanola yağı etil esteri üreterek oda sıcaklığında ve dış ortam sıcaklığında cam ve çelik kaplarda 24 ay depolayarak her üç ayda bir yakıt özelliklerini (peroksit sayıları, asit sayıları, yoğunlukları, viskoziteleri ve ısı değerleri) incelemiştir. 2 yıl depolama sonucunda kanola yağı metil ve etil esterlerini, yeni ürettikleri kanola yağı metil ve etil esterlerini ve referans yakıtı olarak düşük kükürtlü dizel yakıtı ile bir dizel motorda deneyerek motor performanslarını incelemiştir.

Fröhlich [26], çalışmasında ham ketencik yağı, ayçiçek yağı ve kanola yağlarından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üreterek 18 ay süresince -20°C'de hava geçirmez çelik bir kapta dış hava koşullarında ve konteynırda bekletmiş ayda bir 1 saat kapların kapaklarını açarak havalanmasını sağlayarak belli aralıklarla yakıt özelliklerini incelemiştir.

Mittelbach ve Gangl [27], çalışmalarında kanola ve atık kızartma yağı biyodizellerini farklı depolama koşullarında 200 gün bekletmişler ve depolama koşullarının biyodizellerin termal oksidatif stabilitelere, peroksit sayılarına, nötralizasyon sayılarına ve viskozitelerine etkilerini incelemişlerdir.

Oğuz [28], doktora tez çalışmasında fındık yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretmiş ve yakıt özelliklerini tespit etmiştir. Fındık yağı biyodizelinin 15°C'deki yoğunluğunu 0.881 g/cm<sup>3</sup>, parlama noktasını 128°C, 50°C'deki kinematik viskozitesini 15 cSt, ısı değeri 9380 cal/g, kül içeriğini ağırlıkça %0.01, distilasyon (ilk nokta) sıcaklığını 230°C, distilasyon bozunma noktasını 306°C olarak tespit etmiştir. Ayrıca fındık yağı biyodizelini 4 zamanlı, 4 silindirli, 60 kW gücünde direk püskürtmeli TUMOSAN 4D39T dizel bir motorda deneyerek dizel yakıtı ile karşılaştırmış, motor performansında önemli oranlarda değişimin olmadığını, güçte çok az bir düşme özgül yakıt tüketiminde ise %10.2'lik bir artışın olduğunu belirtmiştir.

Altuntaş [17], çalışmasında özellikle başka tür tohumların hasadı sırasında istenmeyen bir bitki olarak elde edilen siyah hardal tohumundan elde edilen yağ ile biyodizel üretimi gerçekleştirmiştir. Elde edilen hardal yağı biyodizelini dizel yakıtı ile hacimsel olarak %20 ve %2 oranlarında karıştırarak karışım yakıtlar elde etmiştir. B100, B20, B2 ve 2 nolu dizel yakıtlarını 1.5 litrelik cam kaplara koyarak ışık almaması için dış taraflarını alüminyum folyo ile sarmıştır ve depolama için hazır hale gelen kapları iklimlendirme dolabı içerisinde 25°C sıcaklıkta ve %60 nemli ortamda muhafaza etmiştir. Hardal yağı biyodizelinin depolanması neticesinde yakıt özelliği bakımından 3 aylık bir depolama sürecinde kararlılık gösterdiği ve yoğunluk, viskozite ve korozif etkisinde önemli bir değişiklik olmamasına karşın akma, donma ve bulutlanma noktaları ile parlama noktalarında bazı değişimlerin olduğunu tespit etmiştir.

Fedai [29], çalışmasında transesterifikasyon yöntemiyle baz katalizör kullanarak kanola yağı metil esteri üretimine sıcaklık, katalizör derişimi, alkol oranı ve reaksiyon süresi parametrelerinin etkilerini inceleyerek optimum koşulları belirlemiştir. Su ile yıkama işlemi yerine magnezyum silikatla (kuru yıkama) saflaştırma işlemi yöntemini kullanmıştır. Yapılan analizlerin incelenmesiyle kanola

yağından biyodizel üretimindeki optimum reaksiyon koşulları 55°C, %25 metanol, %1.05 NaOH ve 1 saat reaksiyon süresi olduğunu ve bu koşullarda ester dönüşüm verimini %99.22 tespit ettiğini belirtmiştir. Sonuçta optimum koşullarda üretilen biyodizelin TS EN 14214 standardına uygun, dizel yakıt yerine kullanılabilen kadar iyi özelliklerde olduğunu belirtmiştir.

Leung ve ark. [30], çalışmalarında farklı depolama koşullarında kanola biyodizelinin bozunabilirlik karakteristiklerini incelemiştir. 12 biyodizel örneğini 3 gruba bölmüşler ve farklı sıcaklık ve çevre koşullarında düzenli aralıklarla 52 hafta ölçüm yapmışlardır. 52 hafta sonunda 4°C ve 20°C'de biyodizelin %10'undan azı, yüksek sıcaklıklarda ise %40'a yakınının bozunduğunu tespit etmişlerdir.

Öğüt ve Oğuz [23], biyodizelin taşıma ve depolama açısından güvenli olduğunu, petrodizelin taşınması sırasında güvenliğini artırmak amacıyla içerisine belli oranda biyodizel karıştırılması uygulamaları yapıldığını ancak biyodizelin kara yolundaki asfaltı yumuşatma ve eritme etkisinin olduğunu bu nedenle depolara ve tanklara biyodizel doldurulurken dikkatli olunması gerektiğini bildirmişlerdir. Biyodizelin depolanmasında herhangi bir sorunla karşılaşmadığını, soğuk iklim şartlarında depolama kurallarına uymak şartı ile en fazla 6 ay süreyle depolanabileceğini, depolama tankındaki bakır, pirinç ve bronz malzemelerin çelik yada alüminyum olanlarla değiştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Biyodizelin nemli ve ılık iklimde depolanacak ise biyodizel depo tanklarına katkı maddesi olarak biosit (sıvı formda bir zehir) ilave etmek depo içerisindeki mikro organizmaları yok edebileceğini, biosit miktarının ise 50-60 gram olması gerektiğini, dökülen bu miktarın depo 3 defa boşalana kadar etkisini sürdürebileceğini bildirmişlerdir. Eğer dizel motor 2 haftadan daha uzun bir süre kullanılmayacak ise deponun yakıtla doldurulması ve depo içerisine 50-60 gram biosit veya biyostat konulması gerektiğini, biyostatın ılık ve nemli bölgelerde bakteri gelişimini mümkün mertebe engellemek için yakıt içerisine periyodik olarak ilave edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Bouaid ve ark. [31], çalışmalarında yüksek oleikli ayçiçek yağı, atık kızartma yağı, yüksek ve düşük erüsic asit içeren *Brassica carinata* yağlarından transesterifikasyon metodu ile biyodizeller üreterek 30 ay süresince oda sıcaklığında cam şişelerde beyaz ve sarı ışığa maruz bırakmışlar; biyodizellerin asit sayıları, peroksit sayıları,



viskoziteleri, iyot sayıları ve toplam kirliliklerini tespit etmişlerdir. Sonuç olarak bekleme süresinin artması ile asit sayıları, peroksit sayıları, viskoziteleri ve toplam kirliliklerinde artış, iyot sayılarında ise azalış olduğunu belirtmişlerdir.

Karaca ve Aytaç [32], yağların fiziksel ve kimyasal özelliklerini içerdikleri yağ asitlerinin oranları ve kompozisyonlarının belirlediğini, yağ bitkilerinin yağ asitleri kompozisyonunun sürekli sabit kalmayıp; türlere özgü karakteristik gösterdiği gibi, birçok faktöre bağlı olarak sürekli değiştiğini belirtmişlerdir. Yağ bitkilerinin yağ asitleri kompozisyonunda hangi koşullarda nasıl bir değişim meydana geleceğinin bilinmesinin yağ kalitesi açısından önemli olduğunu, yağ asitleri kompozisyonunun bilinmesinin ise yağların kullanım amaçlarına göre üretim yapılmasını, istenilen tiplerin uygun bölgelerde yetiştirilmesi ve amaca uygun yağlar üretilmesinin mümkün olabileceğini bildirmişlerdir.

Oğuz ve ark. [33], çalışmalarında soya yağı, kanola yağı ve palm yağından biyodizel üreterek kinematik viskozite, yoğunluk, parlama noktası, bulutlanma noktası, akma noktası, donma noktası ve bakır şerit korozyon fiziksel özelliklerini belirlemişler ve bu biyodizel yakıtlarını 3 silindirli, 4 stroklu, 30 kW TÜMOSAN (Türk Motor Sanayi A.Ş.) marka dizel motorda denemişlerdir. Sonuçta elde ettikleri yakıtların kinematik viskoziteleri, yoğunlukları, parlama noktaları, bulutlanma noktaları, akma noktaları, donma noktaları ve bakır şerit korozyonları DIN-TSE EN 14214 standartlarında verilen limit değerler arasında olduğunu belirtmişlerdir. Motor denemelerinde ise biyodizel yakıtlarının özgül yakıt tüketimleri dizel yakıtına göre yüksek, egzoz duman koyuluğu değerleri düşük çıktığını, buna karşın tork, saatlik yakıt tüketimi ve güçte kayda değer bir farkın olmadığını tespit etmişlerdir.

Karabulut [34], çalışmasında Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde pamuğun işlenmesiyle yan ürün olarak elde edilen pamuk yağından biyodizel üretimine etki eden sıcaklık, katalizör miktarı, alkol oranı, katalizör çeşitleri, reaksiyon süresi parametrelerini incelemiştir. Optimum üretim şartlarının 60°C reaksiyon sıcaklığı, %0.8 katalizör miktarı, 1:4 yağ-alkol oranında olduğunu tespit etmiştir.

Bora ve ark. [35], mahua yağı metil esterinin yakıt özelliklerine depolama şartlarının, süresinin (1 yıl) ve farklı antioksidanların [3-Tert-Butyl-4-Hydroxyanisole (BHA),

2,6-di-Tert-Butyl-4-Methyl-phenol (BHT) ve Propyl Gallate (PrG)] etkilerini incelemişlerdir.

Das ve ark. [36], karanja yağı metil esterini 180 gün boyunca farklı koşullarda (oda şartlarında ağzı açık ve kapalı kaptta, karanlık şartlarda ağzı açık ve kapalı kaptta, metal ağzı açık ve kapalı kaptta ve 100-500 ppm Tert-Butylated Hydroxyanisole (BHA) eklenmiş, oda şartlarında ağzı kapalı ve 100-500 ppm Tert-Butylated Hydroxy toluen (BHT) eklenmiş, oda şartlarında ağzı kapalı ve 100-500 ppm Propyl galate (PrG) eklenmiş, oda şartlarında ağzı kapalı ve 1000 ppm Tert-Butylated Hydroxyanisole (BHA) eklenmiş, oda şartlarında ağzı kapalı ve 1000 ppm Tert-Butylated Hydroxy toluen (BHT) eklenmiş, oda şartlarında ağzı kapalı ve 1000 ppm Propyl galate (PrG) eklenmiş) depolayarak yakıt özelliklerindeki değişimleri belirlemişlerdir.

Eryılmaz [18], çalışmasında, yabani hardal tohumunun ve bundan vidalı pres yardımıyla elde edilen ham yağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemiştir. Bu yağdan transesterifikasyon yöntemi ile yabani hardal yağı metil esteri (YHME) üretimini gerçekleştirmiştir. Elde edilen B100 formundaki biyodizeli hacimsel olarak %20 ve %2 oranlarında motorinle karıştırarak, B20 ve B2 formunda yakıtlar elde etmiştir. Bütün bu (B100, B20 ve B2) yakıtların fiziksel, kimyasal ve yakıt özelliklerini belirlemiştir. Elde edilen yakıtlar, dört zamanlı, 3 silindirli, 60 BG, direkt püskürtmeli TUMOSAN 3D 29T dizel bir motorda deneyerek motorin ile karşılaştırmış ve moment, güç, yakıt tüketimi, motor gürültü değerleri ve duman koyuluğunu incelemiştir. B100, B20 ve B2 yakıtları kullanıldığı zaman, motorinle mukayese edildiğinde, bütün yakıtlarda maksimum moment 1200 1/min'de gerçekleşip; B100'de %2.39, B20'de %0.81 artış görülmüş, B2'de ise değişim olmamıştır. Maksimum güç ise bütün yakıtlarda 2500 1/min'de, motorine göre; B100'de %5.64, B20'de %2.64 artış görülmüş, B2'de ise değişim olmamıştır. Maksimum güçte B100 kullanılmasıyla, özgül yakıt tüketiminde motorine göre %2.86 artış görülmüş, B20 ve B2 yakıtlarında ise sırasıyla %1.80 ve %2.84 azalma görülmüştür. Motorin, B100, B20 ve B2 yakıtları ile yapılan denemelerde en yüksek toplam verim sırasıyla 1300 1/min'de %34.348, 2000 1/min'de %36.103, 1200 1/min'de %36.911 ve 1200 1/min'de %34.565 olarak belirlemiştir. Motor gürültü

değerleri B100 ve B20 yakıtları kullanılmasıyla motorine göre, belirli devirlerde yükselme ve azalmalar göstermiş, B2 yakıtı kullanıldığında ise diğer yakıtlara göre, bütün devir sayılarında azalma görülmüştür. Duman yoğunluğu bütün devir sayılarında, motorine göre, karışım oranları arttıkça daha fazla azalma gösterdiğini belirtmiştir.

Jham ve ark. [37], yaptıkları araştırmada biyodizel hammaddesi olarak yabancı Brezilya hardalını (*Brassica Juncea* L.) kullanmışlar, metil alkol ve katalizör olarak sodyum metoksit kullanarak ester dönüşüm oranını %94 olarak belirlemişlerdir. Yabancı Brezilya hardalının yağ asidi bileşenleri erusik asit %45.7, linoleik %14.2 ve linolenik %13.0 olarak belirlemişler, bu yağdan ürettikleri biyodizelin setan sayısını 61.1, 40°C'de kinematik viskozitesini 5.33 mm<sup>2</sup>/s, 110°C'de oksidasyon stabilitesini 4.8 saat, bulutlanma noktasını +4°C, akma noktasını -21°C, soğuk filtre tıkanma noktasını -3°C, kükürt içeriğini 11 ppm, kütlece fosfor içeriğini %0.0002 ve iyot sayısını 112 g I<sub>2</sub>/100g olarak tespit etmişlerdir.

Patil ve Deng [38], çalışmalarında gıda niteliği olmayan yüksek serbest yağ asidi içeren bitkisel yağlardan *Jatropha curcas* ve *Pongamia glabra* (karanja) ve gıda niteliği olan mısır ve kanola yağlarından metil alkol ve katalizör olarak KOH kullanarak iki ve tek adımlı transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimini optimize etmişler ve üretilen biyodizellerin yakıt özelliklerini belirlemişlerdir. Maksimum ester dönüşüm verimi *Jatropha curcas* için yaklaşık %90-95, *Pongamia glabra* (karanja) için %80-85, kanola için %80-95 ve mısır için %85-96 olarak tespit etmişlerdir.

Fan ve ark. [39], çalışmalarında ham soya yağı içerisindeki fosforu gidermek için farklı degumming işlemi uygulamışlar ve optimum koşulları belirlemişlerdir. Optimum koşullarda degumming işlemi uygulanmış ham soya yağından transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretmişler ve bu üretilen biyodizelin fosfor içeriğini 0 %m/m, su içeriğini 0 %V/V, asit sayısını 0.20 mgKOH/g, metanol içeriğini 0.0385 %V/V, parlama noktasını >110°C, serbest gliserini 0 %m/m ve toplam gliserini 0.16 %m/m olarak tespit etmişlerdir.

Hoda [40], çalışmasında pamuk yağından metil alkol ve NaOH katalizörü kullanarak transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimini optimize etmiştir. 1 saat reaksiyon süresinde, tüm metanol/yağ molar ve katalizör oranlarında reaksiyon sıcaklığı 50°C'nin altında olduğu zaman reaksiyonun tamamlanamadığını, optimum ester dönüşümünün ise 6:1 metanol/yağ molar oranında, 50 ve 60°C'de gerçekleştiğini tespit etmiştir. 60°C'nin üzerinde ise biyodizelin yıkanmasında bazı zorlukların oluştuğunu söylemiştir.

Kafadar [41], çalışmasında Türkiye'de yetişebilen (mısır, fındık, ayçiçeği, soya) bitkilerin yağlarından ve atık yağlardan transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretimine katalizör, sıcaklık, reaksiyon süresi ve alkol/yağ molar oranı parametrelerinin etkisini incelemiştir. Elde edilen biyodizel örneklerinin yoğunluk, kinematik viskozite, parlama noktası, akma noktası, setan sayısı, iyot sayısı, ısıl değeri ve diğer uluslararası standartlardaki yakıt değerleri tespit edilerek karşılaştırma yapmıştır.

Çılgın [12], yüksek lisans tez çalışmasında menengiç yağından transesterifikasyon yöntemiyle menengiç yağı biyodizeli üretmiş, ürettiği biyodizeli hacimsel olarak %10, %25 ve %50 oranlarında D2 dizel yakıtı ile harmanlayarak karışım yakıtlar elde etmiştir. B10, B25, B50, B100 ve D2 yakıtlarının 40°C'deki kinematik viskozitelerini sırasıyla 3.706, 3.775, 3.892, 4.123 ve 3.666 mm<sup>2</sup>/s; ısıl değerlerini sırasıyla 42714, 42014, 41111, 40010 ve 43350 kJ/kg; 15°C'deki yoğunluklarını sırasıyla 0.836, 0.834, 0.860, 0.885 ve 0.843 g/cm<sup>3</sup>; parlama noktalarını sırasıyla 63, 65, 69, 75 ve 60°C; setan indisi değerlerini sırasıyla 49.54, 50.35, 51.70, 54.4 ve 49 olarak tespit etmiştir.

Gandhi ve Chelladurai [42], ham *Jatropha curcas* yağından tek kademeli alkali katalizör transesterifikasyon metodu ile biyodizel üretimine metanol/yağ molar oranının (5.5:1, 6:1, 6.75:1, 7.5:1 ve 8:1), katalizör/yağ oranının (1.43, 1.68, 1.85, 2.1, 2.35 ve 2.52 %m/m) ve reaksiyon sıcaklığının (50, 55, 60, 65 ve 70°C) etkisini inceledikleri çalışmalarında maksimum verimi %80.5 ile 7.5:1 metanol/yağ molar oranında, 2.09 %m/m katalizör/yağ oranında ve 60°C reaksiyon sıcaklığında tespit etmişlerdir. Ester dönüşüm veriminin düşük olmasını ham *Jatropha curcas* yağı içerisindeki yüksek serbest yağ asidine (13.7 mgKOH/g) bağlamışlardır. Optimum

koşullarda ürettikleri biyodizeli 4 stroklu, dizel motorlu bir jeneratörde denemişler ve yakıt/elektrik verimini maksimum yük koşullarında %24.38 olarak belirlemişlerdir. Böylece *Jatropha curcas* biyodizelinin dizel motorlarda kullanılabilceğini belirtmişleridir.

Kovacs ve ark. [43], ayçiçek yağından, farklı yağ asidi kompozisyonlarına sahip 2 farklı kanola yağından ürettikleri biyodizelleri 30 hafta boyunca depolamışlar ve oksidasyon stabilitesi, asit sayısı, iyot sayısı, su muhtevası, yoğunluk ve kinematik viskozite özelliklerini incelemişlerdir.

Moser [44], çalışmalarında kanola, palm, soya ve ayçiçek yağlarından biyodizeller üretmişler ve 12 ay boyunca 3 farklı sıcaklıkta (-15°C, 22°C ve 40°C) oksidasyon stabiliteyi, kinematik viskoziteyi, düşük sıcaklıkta işletilebilirliği ve iyot sayılarını düzenli aralıklarla ölçmüşlerdir.

Eryılmaz ve ark. [45], çalışmalarında sekiz farklı yağdan (fıstık yağı, ayçiçek yağı, zeytin yağı, üzüm çekirdeği yağı, kanola yağı, aspir yağı, soya yağı ve pamuk yağı) transesterifikasyon metodu ile biyodizel üretmişler ve yakıt özelliklerini (yoğunluk, kinematik viskozite, parlama noktası, su muhtevası, bakır şerit korozyon, soğuk filtre tıkanma noktası, bulutlanma noktası, akma noktası ve kalori değeri) TS EN 14214 standardı ile karşılaştırmışlardır.

Mumtaz ve ark. [46], çalışmalarında atık kızartma yağından kimyasal ve enzimatik transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretimini optimize etmişler, kimyasal transesterifikasyon yönteminde %89 ester dönüşümünü 90 dakika reaksiyon süresinde, 45°C reaksiyon sıcaklığında, %0.75 NaOCH<sub>3</sub> katalizör oranında ve 6:1 metanol/yağ molar oranında elde etmişlerdir. NOVOZYME-435 kullanarak gerçekleştirdikleri enzimatik transesterifikasyon yönteminde %95.9 ester dönüşümünü 32.50°C reaksiyon sıcaklığında 60 saat reaksiyon süresinde, %0.75 NOVOZYME-435 ve 6:1 metanol/yağ molar oranında elde etmişlerdir.

Ndana ve ark. [47], çalışmalarında depolamanın hint yağı (*Ricinus communis*), kauçuk (*Heavea brasiliensis*), pamuk (*Gossypium hirsutum*), tespah ağacı tohumu (*Azadirachtaindica*), soya (*Glycin max*) ve jatrofa (*Jatropha curcas*) yağlarından

Üretilen biyodizellerin fiziko-kimyasal özelliklerine olan etkilerini açık hava şartlarında 10 ay süre ile incelemişlerdir. Jatropha yağı metil esteri, hint yağı metil esteri, soya yağı metil esteri, tespih ağacı tohumu yağı metil esteri, pamuk yağı metil esteri ve kauçuk yağı metil esteri için peroksit sayıları sırasıyla 126.60, 71.75, 77.80, 111.65, 59.65 ve 162.55 meq/kg; kinematik viskoziteleri sırasıyla 6.80, 7.94, 6.723, 6.37, 5.87 ve 7.09 cSt; asit sayıları sırasıyla 0.85, 0.66, 0.77, 0.72, 0.49 ve 1.19 mgKOH/g; parlama noktaları sırasıyla 100, 110, 104, 108, 122 ve 97°C; yoğunlukları sırasıyla 0.8902, 0.8893, 0.8898, 0.8861, 0.8856 ve 0.8929 gr/cm<sup>3</sup>; ısıl değerleri ise sırasıyla 39.22, 36.20, 36.826, 39.19, 39.26 ve 36.77 MJ/kg olarak tespit etmişlerdir. 10 aylık periyot sonucunda tüm biyodizellerin peroksit sayıları, kinematik viskoziteleri ve asit sayılarında artış, parlama noktaları, yoğunlukları ve ısıl değerlerinde azalış meydana geldiğini bildirmişlerdir.

Reşitoğlu ve ark. [48], yağ tutuculardan aldıkları atık yağlardan sülfürik asit katalizörü kullanarak esterifikasyon yöntemiyle biyodizel dönüşüm verimine metanol/yağ oranının, asit katalizör miktarının, reaksiyon süresinin ve reaksiyon sıcaklığının etkisini incelemişlerdir. Atık kızartma yağlarının yüksek serbest yağ asidi (%65) içermesi nedeniyle esterifikasyon yöntemini tercih etmişlerdir. %93.98 ester dönüşüm oranını 9:1 metanol/yağ molar oranında, 9 %m/m sülfürik asit miktarında, 120 dakika reaksiyon süresinde ve 60°C reaksiyon sıcaklığında tespit etmişlerdir. Optimum koşullarda ürettikleri atık kızartma yağı biyodizelini dizel yakıtıyla hacimsel olarak %10, %20, %30, %40, %50 ve %70 oranlarında karıştırarak EN 590 standardında yer alan limit değerler ile karışlaştırmışlar ve %40 karışım oranı uygulandığında motorlarda herhangi bir modifikasyon yapılmadan kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Uzun ve ark. [49], atık kızartma yağından alkali-katalize transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel üretimine katalizör oranı, reaksiyon süresi, metanol/yağ molar oranı, reaksiyon sıcaklığı, katalizör çeşidi (hidroksit, metoksit ve etoksit) ve saflaştırma çeşidi (sıcak su ile yıkama, silika jel ile saflaştırma ve dowex) parametrelerinin etkilerini inceledikleri çalışmalarında %96 biyodizel verimini ve ~%97 ester içeriğini 0.5 %m/m NaOH katalizör oranında, 30 dakika reaksiyon

süresinde, 50°C reaksiyon sıcaklığında, 7.5 metanol/yağ oranında ve distile sıcak su ile yıkayarak elde ettiklerini belirtmişlerdir.

Wang ve ark. [50], çalışmalarında biyodizel üretimi için yeni ve gelecek vadeden gıda niteliği olmayan bir hammadde olan *Datura stramonium* L. yağını (DSO) kullanmışlardır. Önce tohum yağ oranını (21.4 %m/m), asit sayısını (7.93 mg KOH/g) ve yağ asidi kompozisyonunu belirlemişler ardından iki kademeli reaksiyon koşullarında maksimum yağ asidi metil ester verimini (%87) ve YAME içeriğini (98 %m/m)'den daha büyük olarak belirlemişlerdir. Optimum koşullarda elde ettikleri DSO biyodizelini *Jatropha curcas* L. ve hayvansal yağ esaslı biyodizellerin yakıt özellikleriyle karşılaştırdıklarında 40°C'de kinematik viskozitesinin (4.33 mm<sup>2</sup>/s) ve soğuk filtre tıkanma noktasının (-5°C) daha iyi olduğunu belirlemişlerdir.

Ahmad ve ark. [51], çalışmalarında *Brassica alba* (beyaz hardal), *Brassica campestris* (hardal), *Brassica rapa* (kanola) ve *Eruca sativa* (roka tohumu yağı) tohum yağlarından bazik katalizörlü transesterifikasyon yöntemiyle biyodizeller üretmişler, üretilen bu biyodizelleri dizel yakıtı ile hacimsel olarak %5, %10 ve %20 oranlarında harmanlamışlar ve yakıt özelliklerini belilemişlerdir. Beyaz hardal yağı, hardal yağı, kanola yağı ve roka tohum yağı biyodizellerinin (B100) 40°C'de kinematik viskoziteleri sırasıyla 6.719, 6.873, 4.814 ve 7.850 mm<sup>2</sup>/s, 40°C'de yoğunluğunu sırasıyla 0.899, 0.868, 0.870 ve 0.877 g/cm<sup>3</sup>, renk değerlerini sırasıyla ASTM D 1500 standardına göre 2.0, 2.0, 2.0 ve 2.0, parlama noktalarını sırasıyla 110, 80, 115 ve 120°C, akma noktalarını sırasıyla -6, -3, -9 ve -15°C, bulutlanma noktalarını sırasıyla 3, 5, 5 ve 3°C ve kükürt içeriklerini sırasıyla %0.0130, %0.01285, %0.0110 ve %0.0393 olarak belirlemişlerdir.

Fadhil [52], karpuz çekirdeği ham yağından biyodizel üretim sürecini optimize ettiği çalışmasında maksimum biyodizel verimini %93.16 ile kütlece %0.75 KOH katalizör, 6:1 metanol-yağ molar oran, 1 saat reaksiyon süresi ve 60°C reaksiyon sıcaklığı şartlarında elde etmiştir.

Khan ve Shrivastava [53], çalışmalarında pamuk, jatrofa ve tespih ağacı tohumu yağlarını kullanarak transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretmişlerdir. Üretilen yakıtları dizel yakıtı ile hacimsel olarak %20 ve %40 oranlarında harmanlayarak

termal döngüsel koşullarda (15°C-40°C) 6 ay depolayarak yakıt özelliklerinin değişimini incelemişlerdir.

Mazumdar ve ark. [54], çalışmalarında jatrofa (*Jatropha curcas* L.) biyodizelinin depolanmasına ortam koşullarının ve sıcaklığın etkisini incelemişlerdir. 12 ay süresince gerçekleştirdikleri denemelerde jatrofa biyodizelinin farklı sıcaklıklar (4°C, 25°C ve 35°C) ve ortam koşullarında (ışıklı, ışıksız ve açık hava) düzenli aralıklarla asit sayısı, yoğunluk, kinematik viskozite, distilasyon ve buharlaşma sıcaklıklarını tespit etmişlerdir. Sonuçta asit sayısı, yoğunluk, kinematik viskozite, distilasyon ve buharlaşma sıcaklıkları depolama süresinin artması ile artış gösterdiğini; 35°C, açık hava ve ışıklı ortamda bekletilen biyodizelin bozunmasının diğer koşullarda bekletilen biyodizellere göre arttığını göstermişlerdir.

Sadia ve ark. [55], çalışmalarında gıda niteliği olmayan yabani aspir (*Carthamusoxycantha* Bieb.) yağından biyodizel üretmişlerdir. 2 saat reaksiyon süresinde, 65°C reaksiyon sıcaklığında, 5:1 metanol-yağ molar oranında ve NaOH katalizörü kullanarak maksimum biyodizel verimini %84 olarak elde etmişlerdir.

Şahin [4], yüksek lisans tez çalışmasında keten tohumundan vidalı pres yardımıyla keten tohumu ham yağı elde etmiş ve bu elde edilen yağdan transesterifikasyon yöntemiyle biyodizel elde etmiştir. Bu üretilen biyodizeli %50 (B50), %20 (B20), %5 (B5) ve %2 (B2) hacimsel olarak dizel yakıtı ile harmanlamıştır. Dizel, B100, B50, B20, B5, B2 ve ham keten yağının 15°C'deki yoğunluklarını sırasıyla 0.8267, 0.8972, 0.8611, 0.8403, 0.8390, 0.8310 ve 0.9332 g/cm<sup>3</sup>; 40°C'deki kinematik viskozitelerini sırasıyla 2.822, 4.274, 3.300, 3.024, 2.877, 2.851 ve 26.922 mm<sup>2</sup>/s; parlama noktalarını sırasıyla 60, 148, 78, 72, 67, 66 ve >200°C; su içeriklerini sırasıyla 8.7931, 489.42, 238.14, 85.403, 40.686, 31.133 ve 522.37 mg/kg; pH değerlerini sırasıyla 6, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9 ve 6.5; renk değerlerini (ASTM D1500) sırasıyla <0.5, 1.1, 0.8, 0.6, 0.5, 0.5 ve 2.2; kalori değerlerini sırasıyla 47.5, 39.56, 42.27, 46.66, 47.26, 47.39 ve 41.018 MJ/kg; bulutlanma noktalarını sırasıyla -12, -4, -6, -8, -10, -11 ; akma noktalarını sırasıyla -28, -12, -16, -19, -22, -24 ; soğuk filtre tıkanma noktalarını sırasıyla -20, -2, -9, -12, -13, -13 ; bakır şerit korozyonlar ise bütün yakıtlarda 1a olarak tespit etmiştir. Motor denemelerinde elde ettiği maksimum tork değerlerini motorin için 1000 1/min'de 59.6 Nm, B100 için 1200 1/min'de 53.8



Nm; maksimum güç değerlerini motorin için 2100 1/min'de 10.96 kW, B100 için 2000 1/min'de 10.23 kW ve minimum özgül yakıt tüketimini motorin için 1000 1/min'de 231.36 g/kWh, B100 için 1200 1/min'de 296.73 g/kWh olarak tespit etmiştir.

Eryılmaz ve ark. [56], çalışmalarında Yozgat ili şartlarında yetiştirdikleri ülkemiz tescilli aspir (*Cartamus tinctorius* L.) çeşitlerinden Dinçer (dikensiz) çeşidinin tohumlarından ham yağ elde etmişler, elde edilen bu biyodizelin yakıt özelliklerini belirlemişlerdir. Dinçer tohum ham yağ biyodizelinin 15°C'deki yoğunluğu 882.97 kg/m<sup>3</sup>, pH değeri 6, parlama noktası 178°C, bakır şerit korozyon 1a, su içeriği 499.20 mg/kg, ısıl değeri 38.448 MJ/kg, bulutlanma noktası -5.7°C, akma noktası -12.9°C ve donma noktasını -15.8°C olarak tespit etmişlerdir.

Sultana ve ark. [57], ak hardal olarak bilinen *Sinapis alba* L. tohum ham yağından biyodizel üretim sürecini optimize ettikleri çalışmalarında maksimum biyodizel verimini %92 olarak 6:1 metanol-yağ molar oranında, 0.5 gr NaOH katalizöründe, 65°C reaksiyon sıcaklığında ve 75 dakika reaksiyon süresinde tespit etmişlerdir. Optimum koşullarda ürettikleri ak hardal yağı biyodizelinin kinematik viskozitesini (40°C'de) 5.45 cSt, yoğunluğunu (15°C'de) 0.8721 kg/l, asit sayısını 0.242 mgKOH/gm, parlama noktasını 90°C, bulutlanma noktasını -10°C, akma noktasını -13°C ve sülfür içeriğini %0.00432 olarak bulmuşlardır.

Farahani ve ark. [58], çalışmalarında 3 farklı hammaddeden (hayvansal yağ, atık kızartma yağı, kanola yağı) ürettikleri biyodizelleri düşük kükürtlü dizel yakıtı ile hacimsel olarak %2, %5, %10 ve %20 oranlarında harmanlayarak elde ettikleri yakıtları 10 ay boyunca 5°C, 40°C ve termal döngüsel koşullarda depolamışlar ve depolama koşullarının asit sayısı ve kinematik viskozite üzerine etkisini tespit etmişlerdir.

Sugözü ve ark. [59], çalışmalarında %30 hayvansal yağ ve %70 palm yağı karışımlarından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretmişler ve tek silindirli, silindir hacmi 668 (cm<sup>3</sup>), sıkıştırma oranı 21/1, silindir çapı/strok 90/105 (mm), hava soğutmalı, maksimum motor torku 36.7/1800 (Nm/rpm) dizel bir motorda deneyerek

tork, güç, özgül yakıt tüketimi, CO ve NO<sub>x</sub> değerlerine etkisini dizel yakıtı ile karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir.

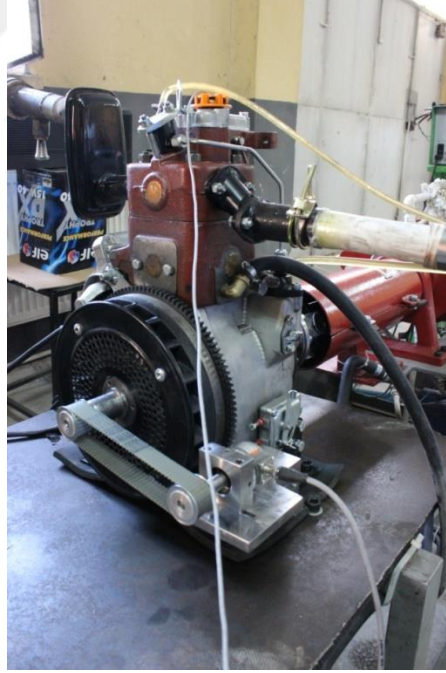
Alptekin ve ark. [60], Biyodizel üretimi için hayvan yağları kullanımının maliyeti önemli ölçüde düşüreceği belirtilerek tavuk yağının bu amaç için daha kullanışlı olduğu, ancak serbest yağ asidi oranlarının yüksek olduğu kaydedilmiştir. Bu nedenle önce bu miktarın % 1'in altına düşürülmesi gerektiği, daha sonra transesterifikasyon ile biyodizel elde edilebileceği bildirilmiştir.

Eryılmaz [61], çalışmasında hayvansal yağdan 2 aşamalı transesterifikasyon yöntemi ile hayvan yağı metil esteri üretmiş, üretilen bu hayvan yağı metil esterini dizel yakıtı ile hacimsel olarak %50, %20, %5 ve %2 oranlarında karıştırarak biyodizel-dizel yakıt karışımları elde etmiş ve kinematik viskozite değerlerini 313.15-373.15 K sıcaklık aralığında belirlemiştir. B100, B50, B20, B5 ve B2 yakıtlarının sıcaklığa bağlı kinematik viskozite değerlerin Arrhenius karışım denklemine göre tahmin etmiş, buna ek olarak MATLAB paket programı ile Andrade denklemini 2 ve 3 sabit ile çözmüş, en yüksek hata oranlarını sırasıyla %9.6252 ve %8.2069 olarak belirlemiştir.

### 3.MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

Deneysel çalışmalarda kullanılan tavuk yağı Erpiliç Entegre Tavukçuluk Üretim Pazarlama ve Tic. Ltd. Şti.'den temin edilmiştir. Tavuk yağlarından biyodizel üretimi transesterifikasyon yöntemi ile Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Biyoyakıt Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Üretilen yakıtlar ve referans olarak kullanılan dizel yakıtının motor performans ve egzoz emisyon değerleri Aksaray Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu Otomotiv Programı Otomotiv Laboratuvarında bulunan tek silindirli Antor 3LD510 marka, 12 BG gücünde ve hidrolik dinamometreye bağlı olan dizel motorda denenmiştir (Şekil 3.1). Bu çalışmada dizel yakıtı BP şirketinden satın alınmıştır. Tablo 3.1'de motora ait teknik özellikler verilmiştir.



Şekil 3.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan Antor 3LD510 Marka Dizel Motor

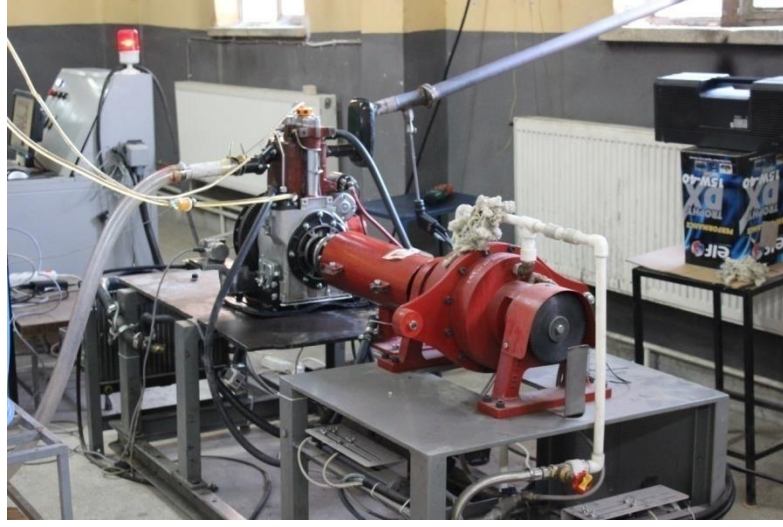
**Tablo 3.1.** Test Motorunun Teknik Özellikleri

Model	3 LD 510
Motor tipi	Dört zamanlı, Direkt enjeksiyonlu
Silindir sayısı	1
Silindir hacmi, cm <sup>3</sup>	510
Çap X Strok, mm X mm	85 X 90
Sıkıştırma oranı	17.5:1
Maksimum motor devri, 1/min	3300
Maksimum motor torku, Nm	32.8
Maksimum motor gücü, kW	9
Soğutma şekli	Su soğutmalı
Enjektör markası – püskürtme basıncı, bar	STANADYNE 41445190 – 190

### 3.1.1.Araştırmada Kullanılan Alet ve Cihazlar

#### 3.1.1.1. Hidrolik Dinamometre

Motor denemelerinde motor performansının belirlenmesi amacıyla Aksaray Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Otomotiv Programı Otomotiv Laboratuvarında bulunan Şekil 3.2'de gösterilen, Net Fren NF150 marka hidrolik dinamometre kullanılmıştır. Dinamometre devir ölçüm aralığı 0-6500 1/min ve tork ölçüm aralığı 0-450 Nm'dir. Deney motorunun çıkış mili bir kaplin vasıtasıyla dinamometreye bağlanmıştır. Motor çalıştırılıp tam yüke getirildikten sonra dinamometrenin kontrol paneli üzerindeki fren düğmesi vasıtasıyla dinamometre içerisindeki suyun uyguladığı sürtünme veya su ile yüzey arasında oluşan ivmelenme ile motor frenlenmektedir. Motorun yüklenmesi anındaki değerler, 1 gr hassasiyetinde, 0–200 kg aralığında ölçüm yapabilen CAS marka, SBA 200L model, yük hücresi kullanılarak okunmuştur. Motor tam yüke getirildikten sonra motorun verdiği güç ve moment değerleri kontrol panelinden okunmaktadır. Dinamometre kontrol ünitesinde tork, motor suyu giriş ve çıkış sıcaklığı, emme havası sıcaklığı, göstergeleri bulunmaktadır.



**Şekil 3.2.** Hidrolik Dinamometre

### 3.1.1.2. Yakıt Tüketimi Ölçümü

Motor performansı ile ilgili en önemli göstergelerden birisi özgül yakıt tüketimidir. Ayrıca hava yakıt oranı ve emisyonların değerlendirilmesi için motora birim zamanda giren yakıt belirlenmelidir. Yakıt tüketimi 2.5 lt kapasiteli bir yakıt deposu ile Dikomsan/FGH-3000 model, 0-3 kg ölçüm kapasiteli, 0.01 g hassasiyetinde dijital terazi ve kronometre ile ölçülmüştür. Deneylerde kullanılan yakıt tüketimi ölçümü düzeneği Şekil 3.3'te verilmiştir.



**Şekil 3.3.** Yakıt Tüketimi için Kullanılan Terazi

### 3.1.1.3. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazları

Egzoz emisyon ölçümlerini belirlemek için Aksaray Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Otomotiv Programı Otomotiv Laboratuvarında bulunan Bosch-BEA 350 model emisyon ölçüm cihazı (Şekil 3.4), duman emisyonu ölçümü için Bosch RTM 430 model duman ölçüm kiti ve CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub> ve egzoz gazı sıcaklığı ölçümleri için ise MRU AIRtair OPTIMA 7 cihazı kullanılmıştır. Egzoz ölçüm cihazlarının teknik özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.4. Egzoz Emisyon Ölçüm Cihazı

Tablo 3.2. Egzoz Emisyon Cihazlarının Teknik Özellikleri

MRU AIRtair OPTIMA 7 egzoz emisyon cihazı teknik özellikleri		
	Ölçüm Aralığı	Hassasiyet
CO	0.....40000 ppm	%5
CO <sub>2</sub>	0.....20,00 (%)	%5
NO <sub>2</sub>	0.....200 ppm	%5
NO	0.....5000 ppm	%5
O <sub>2</sub>	0 .....21,00 (%) hacimsel	%0.2
Max. Gaz Sıcaklığı	0.....750 C	±2
Bosch BEA 350 egzoz emisyon cihazı teknik özellikleri		
Duman koyuluğu	0.....10, 1/m	%1

#### 3.1.1.4. Yoğunluk Ölçüm Cihazı

Yakıtların yoğunluklarının 0-93°C sıcaklık aralığında ölçümü için, Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Biyoyakıt Laboratuvarı'nda bulunan ölçüm aralığı 0.00000 ile 3.00000 g/cm<sup>3</sup>, ölçüm sıcaklık aralığı 0 ile 93°C ve hassasiyeti ±0.00005 g/cm<sup>3</sup> olan Kem Kyoto marka, DA-645 model cihaz kullanılmıştır. Cihaz ASTM D 1250 ve ISO 12185 standarda göre yoğunluk ölçümü yapmaktadır. Cihaz ölçüm yapılan sıcaklıkta g/cm<sup>3</sup> olarak değer vermektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Yoğunluk Ölçüm Cihazı

#### 3.1.1.5. Kinematik Viskozite Ölçüm Cihazı

Yakıtların viskozitelerinin ölçümü 25-100°C sıcaklık aralığında, Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Biyoyakıt Laboratuvarı'nda bulunan çalışma sıcaklığı 5-150°C arasında, ölçüm sıcaklık hassasiyeti ±0.05°C ve okuma doğruluğu ±0.5°C olan Polyscience marka 7306A12E model cihaz kullanılmıştır. Cihaz ASTM D445 standartlarına göre viskozite ölçümü yapılabilmektedir (Şekil 3.6).



**Şekil 3.6.** Kinematik Viskozite Ölçüm Cihazı

#### **3.1.1.6. Parlama Noktası Tayin Cihazı**

Yakıtların parlama noktalarının tayini için, Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Biyoyakıt Laboratuvarı'nda bulunan -30 ile 300°C arasında ölçüm yapabilen RapidTester marka, RT-1 model cihaz kullanılmıştır. Cihaz ASTM D3243, 3278, 3828, IP303 ve ISO 3679, 3680 standartlarına göre parlama noktası tayini yapabilmektedir (Şekil 3.7).



**Şekil 3.7.** Parlama Noktası Tayin Cihazı



### 3.1.1.7. Su Muhtevası Tayin (Karl-Fischer Titrasyon) Cihazı

Yakıtların su muhtevalarını tayin etmek için, Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Biyoyakıt Laboratuvarı'nda bulunan Kem Kyoto Electronics marka, MKC-520 model cihaz kullanılmıştır. Ölçüm aralığı 10 mikrogram-100 mg su aralığındadır. Ölçüm sıcaklığı 5-35°C arasında ve 16 karakterli LCD ekranlıdır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Su Muhtevası Tayin Cihazı

### 3.1.1.8. Kalorimetre Cihazı

Yakıtların ısı değerlerini tespit etmek için Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü Biyoyakıt Laboratuvarı'nda bulunan IKA marka, ölçüm aralığı 40.000 Joule'e kadar olan kalorimetre cihazı kullanılmıştır. Cihaz EN 61010, EN 50082, EN 55014 ve EN 60555 standartlarına göre ölçüm yapılmaktadır (Şekil 3.9).



**Şekil 3.9.** Kalorimetre Cihazı

### **3.1.1.9. Homojenizatör**

Yakıtlarda homojenlik sağlanması ve su içeriğinin tayininden önce, Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Biyoyakıt Laboratuvarı'nda bulunan IKA ULTRA-TURRAX marka T 25 digital model 24000 1/min'e kadar karıştırma devir sayısına sahip homojenizatör kullanılmıştır. Standı, karıştırıcı ve tutucusu ile komple bir settir (Şekil 3.10).



**Şekil 3.10.** Homojenizatör

### 3.1.1.10. Laboratuvar Tipi Mekanik Karıştırıcı

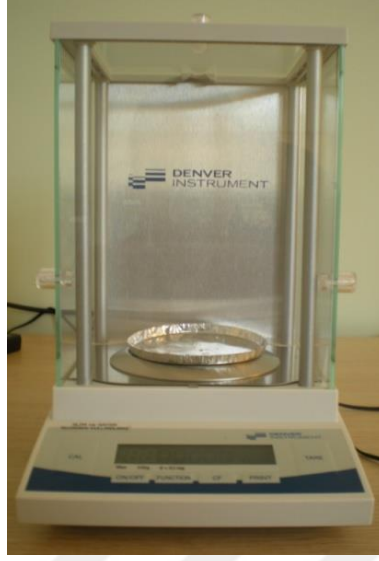
Yakıtların hazırlanması için, Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Biyoyakıt Laboratuvarı'nda bulunan VELP Scientifica marka DLS F20100155 model laboratuvar tipi mekanik karıştırıcı kullanılmıştır. Suya göre 40 litreye kadar sıvı karıştırma kapasitelidir. Devri 50-2000 1/min aralığında, 0-40°C ortam sıcaklığında kullanılabilir. Standı, pervaneli tip karıştırıcı mili ve tutucusu ile komple bir settir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. Mekanik Karıştırıcı

### 3.1.1.11. Hassas Terazî

Yakıt numunelerinin tartımları için, Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Biyoyakıt Laboratuvarı'nda bulunan Denver Instrument marka TP-214 model, 210g kapasiteli, 0.1 mg hassasiyetli ve 10-30°C ortam sıcaklığında ölçüm yapabilen hassas terazî kullanılacaktır (Şekil 3.12).



**Şekil 3.12.** Hassas Terazi

#### **3.1.1.12. Isıtıcılı Manyetik Karıştırıcı**

Tavuk yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimi için Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Biyoyakıt Laboratuvarı'nda bulunan IKA marka C-MAG HS7 model, 100-1500 1/min sahip olan ısıtıcılı manyetik karıştırıcı kullanılmıştır (Şekil 3.13).



**Şekil 3.13.** Isıtıcılı Manyetik Karıştırıcı

### 3.1.1.13. Etüv

Cam malzemelerin kurutulmasında ve yakıtların 25°C'de depolanmasında Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Biyoyakıt Laboratuvarı'nda bulunan Elektro.mag marka M6040P model 0-300°C sıcaklık aralığına sahip etüv kullanılmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Etüv

### 3.1.1.14. Buzdolabı

Yakıtların 4°C'de saklanması için dijital göstergeli Ariston marka buzdolabı kullanılmıştır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Yakıtların Saklanmasında Kullanılan Buzdolabı

### 3.1.1.15. pH metre

pH değerinin ölçülmesi için Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Biyoyakıt Laboratuvarı'nda bulunan Labkits marka 920 model pH metre kullanılmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. pH metre

### 3.1.1.16. Renk Ölçer

Yakıtların renk tayininde Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Biyoyakıt Laboratuvarı'nda bulunan LOVIBOND marka dijital otomatik renk ölçüm cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.17). Cihaz Saybolt, ASTM, CIE, Pt-Co/Hazen/APHA renk skalalarına göre ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 3.17. Renk ölçer

### 3.1.1.17. Otomatik Akma, Bulutlanma ve SFTN Tayin Cihazı

Yakıtların bulutlanma, akma, donma ve soğuk filtre tıkanma noktalarının tayininde Bozok Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü Biyoyakıt Laboratuvarı'nda bulunan Labkits marka cihaz kullanılmıştır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Otomatik Akma, Bulutlanma ve SFTN Tayin Cihazı

### 3.1.1.18. Kronometre

Kinematik viskozitenin hesaplanmasında gerekli olan zaman ölçümünde HiTRAX RUN marka, 40 dakika kapasiteli, 0.01 saniye hassasiyetli kronometre kullanılmıştır.

### 3.1.1.19. Termometre

Çalışmada sıcaklık ölçümleri için dijital ve cıva sütunlu termometreler kullanılmıştır. Dijital termometre Hanna Checktemp marka 0.1°C hassasiyetli, -50 ile +150°C sıcaklık aralığında ölçüm yapabilen kablolu problu tip termometredir. Cıva sütunlu termometreler ise -5 ile 110 °C ve 90-370°C arası ölçüm yapabilen 1°C hassasiyetli termometrelerdir.

### 3.1.2. Araştırmada Kullanılan Kimyasal Maddeler

#### 3.1.2.1. Metil Alkol

Tavuk yağından biyodizel elde etmek için, çalışmada kullanılan metil alkol  $\text{CH}_3\text{OH}$  kimyasal formüle sahip Merck markadır. Metil alkolün  $20^\circ\text{C}$  deki yoğunluğu 0.791-0.793 kg/l ve moleküler ağırlığı 32.04 g/mol dır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Metil Alkol

#### 3.1.2.2. Sodyum Hidroksit (NaOH)

Biyodizel üretiminde katalizör olarak Merck marka ve moleköl ağırlığı 40.00g/mol saflık değeri %97 den büyük olan sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır (Şekil 3.20).

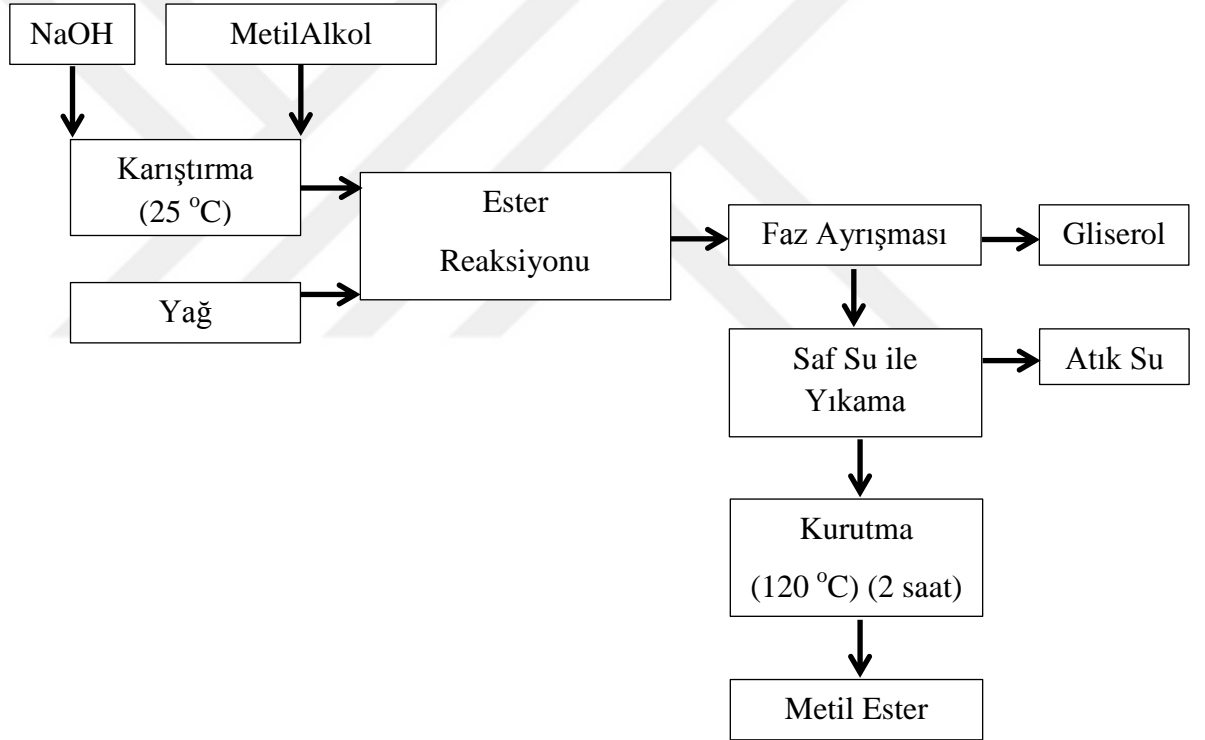


Şekil 3.20. Sodyum Hidroksit (NaOH)



### 3.2. Yöntem

Bu çalışmada kullanılan tavuk yağından metil ester üretimi transesterifikasyon yöntemi ile Bozok Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Biyoyakıt Laboratuvarı'nda bulunan ısıtıcılı manyetik karıştırıcı ile Şekil 3.21'de verilen akış diyagramına göre optimizasyon yapılarak ester dönüşüm verimine etki eden parametreler katalizör oranı (%0.25, %0.30, %0.35, %0.40, %0.45), sıcaklık (45°C, 50°C, 55°C, 60°C, 65°C), süre(45dk, 60dk, 75dk, 90dk, 105dk) ve alkol/yağ oranı (%10, %15, %20, %25, %30) belirlenerek ve en yüksek ester dönüşümü elde edilen koşullarda biyodizel üretilmiştir.



Şekil 3.21. Metil Ester Üretim Süreci Akış Diyagramı

#### 3.2.1. B2 ve B20 Yakıt Karışımlarının Hazırlanması

Tavuk yağı biyodizeli dizel yakıtı ile hacimsel olarak %2 ve %20'lik oranlarda karıştırılmıştır. Harmanlama işlemi yapılırken önce %98 ve %80 dizel konulmuş üzerine karışımı sağlayacak miktarda %2 ve %20 biyodizel ilave edilmiştir. Karıştırma işlemi önce laboratuvar tipi IKA ULTRA-TURRAX marka TS25 model karıştırıcı ile 1500 1/min'de, sonra Velp Scientifica marka DLS F20100155 model

homojenizatör ile 24000 1/min'de 7.5'er dakika olmak üzere toplam 15 dakika karışım homojen hale getirilmeye çalışılmıştır. Böylece B2 ve B20 karışım yakıtları elde edilmiştir.

### 3.2.2. Yakıtların Depolanması

Tavuk yağı biyodizeli, B20, B2 ve dizel yakıtları cam, plastik ve metal kaplarda (Şekil 3.22); ışıksız ortamda ve farklı sıcaklıklarda (4 ve 25°C) 6 ay süreyle depo edilerek, 2 aylık periyotlarla yoğunluk ( $\text{kg/m}^3$ ), kinematik viskozite ( $\text{mm}^2/\text{s}$ ), kalori değeri (MJ/kg), parlama noktası (°C), su içeriği (mg/kg), pH, renk, bulutlanma, akma, donma ve soğuk filtre tıkanma değerleri belirlenmiştir.



Şekil 3.22. Depolama Kapları

### 3.2.3. Motor Performans Deneyleri

Üretimleri yapılan tavuk yağı biyodizeli ve B20, B2 karışım yakıtların motor performansına etkisini incelemek ve çevreye olan etkisini ortaya koymak için yapılmıştır. Deney düzeneği Aksaray Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Otomotiv Programı Otomotiv Laboratuvarında kurulu olan motor test düzeneğinde gerçekleştirilmiştir. Test düzeneği tek silindirli ve su soğutmalı dizel motor, hidrolik dinamometre, egzoz emisyon cihazları ile bunları kontrol eden ünitelerden oluşmaktadır.

Motor B2, B20 ve B100 yakıtlarıyla çalıştırılmadan önce motorun rejime girmesi için yüklenerek 15 dakika dizel yakıtı ile çalıştırılmıştır. Dizel yakıtı referans yakıt

olarak test edilmiş ve motor tam gaz kelebeği açıklığında ve farklı devirlerde veriler alınmıştır. Ardından B2, B20 ve B100 yakıtları aynı koşullarda test edilmiştir.

Yapılan denemelerde motor çalışma sıcaklığına geldikten sonra değerler alınmıştır. Devir sayısı motor yüklenerek ayarlanmış ve her devir kademesinde göstergeden okunarak kaydedilmiştir. Aynı devir koşullarında egzoz emisyon değerleri ve ağırlık esasına göre yakıt tüketimi ölçülmüştür. Testler sırasında ortam sıcaklığı 25°C olarak tespit edilmiştir.

Yakıtların motor karakteristik eğrilerinin belirlenmesinde moment, yakıt tüketimi ve hava tüketimi değerleri farklı devir sayılarında ölçülmüş ve değerler OriginPro 8 programı kullanılarak grafikler çizilmiştir.

### **3.2.3.1. Deneysel Verilerin Hesaplanması**

Tavuk yağı biyodizeli, B20, B2 ve dizel yakıtları ile yapılan motor testlerinde elde edilen değerler kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılmış ve farklı devir sayılarına bağlı olarak değişimleri grafikler halinde verilmiştir.

#### **3.2.3.1.1. Motor Momenti**

Motor momenti, yük hücresi ile motor merkezi arasındaki mesafeye bağlı olarak Eşitlik 3.1 ile hesaplanmıştır.

$$M_e(Nm) = F \cdot L \quad (3.1)$$

Burada;  $M_e$  (Nm) motor momentini,  $F$  (N) motorun döndürme kuvvetini ve  $L$ (m) ise yük hücresi ile motor merkezi arasındaki mesafeyi belirtmektedir.

#### **3.2.3.1.2. Güç**

Güç, motor momenti ile o momentin elde edildiği motor devri kullanılarak Eşitlik 3.2 ile hesaplanmıştır.

$$P (kW) = \frac{M_e \cdot n}{9549.3} \quad (3.2)$$

Burada;  $P$  (kW) motor gücünü,  $M_e$  (Nm) Eşitlik 3.1 ile hesaplanan motor momentini ve  $n$  (1/min) ise motor devrini ifade etmektedir.

### 3.2.3.1.3. Özgül Yakıt Tüketimi

Birim güç elde etmek için harcanan yakıt miktarı özgül yakıt tüketimi olarak ifade edilir ve Eşitlik 3.3 yardımıyla hesaplanır.

$$be (g/kWh) = \frac{Be}{P} \cdot 3600 \quad (3.3)$$

Burada;  $be$  (g/kWh) özgül yakıt tüketimini,  $Be$  (g/s) yakıt tüketimini ve  $P$  (kW) ise motor gücünü ifade etmektedir.

### 3.2.3.1.4. Volümetrik Verim

Yakıtların farklı devirlerdeki volümetrik verimleri Eşitlik 3.4 ile hesaplanmıştır.

$$Vv (\%) = \frac{L}{30 \cdot \rho_h \cdot v_h \cdot n} \quad (3.4)$$

Burada;  $Vv$  (%) volümetrik verimi,  $L$  (kg/h) silindire alınan hava miktarını,  $\rho_h$  (kg/m<sup>3</sup>) havanın yoğunluğunu,  $v_h$  (L) silindir hacmini ve  $n$  (1/min) motor devir sayısını ifade etmektedir.

### 3.2.3.1.5. Termik Verim

Yakıtın yanması sonucu oluşan ısı enerjisine karşılık motorun bu enerjiyi faydalı işe dönüştürme oranıdır. Eşitlik 3.5 ile hesaplanır.

$$Tv(\%) = \frac{P \cdot 3600}{Be \cdot Hu \cdot 1000} \quad (3.5)$$

Burada  $Tv$  (%) termik verimi,  $P$  (kW) motor gücünü,  $Be$  (kg/h) yakıt tüketimini ve  $Hu$  (Mj/kg) yakıt alt ısı değerini ifade etmektedir.

### 3.2.3.1.6. Hava Fazlalık Katsayısı

Yanma sırasında harcanan gerçek hava miktarının yakıtın yanması için gerekli stokiyometrik hava miktarına olan orana hava fazlalık katsayısı denir ve Eşitlik 3.6 ile hesaplanmıştır.

$$\lambda = \frac{H/Y}{H/Y_{stk}} \quad (3.6)$$

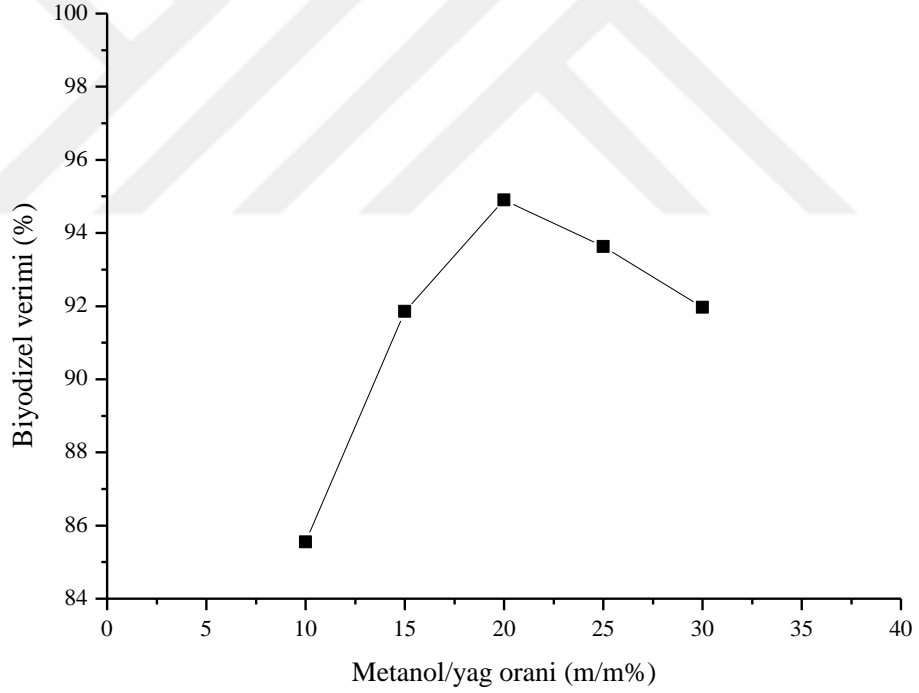
Burada;  $\lambda$  hava fazlalık katsayısını,  $H/Y$  gerçek hava yakıt oranı,  $H/Y_{stk}$  stokiyometrik hava/yakıt oranını ifade etmektedir.

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

### 4.1. Parametrelerin Verim Üzerine Etkileri ve Yakıtın Fiziksel Özellikleri

#### 4.1.1. Metanol/Yağ Oranının Biyodizel Verimi Üzerine Etkisi

Metanol/yağ oranı incelenirken diğer değişkenler sabit tutulmuştur. %10, %15, %20, %25, %30 oranlarında değiştirilen metanol/yağ oranının biyodizel verimi üzerine etkisi incelenmiştir. Bu oranlardaki metanole, %0.5 g katalizör eklenerek oluşturulan karışım 1000 1/min karıştırma hızında, 60°C sıcaklıkta bulunan 100 g tavuk yağına eklenerek 60 dakika süresince reaksiyona sokulmuştur. Meydana gelen reaksiyon neticesinde verimdeki değişim Şekil 4.1'de verilmiştir. En yüksek biyodizel verimi %20 metanol/yağ oranında elde edilmiştir.

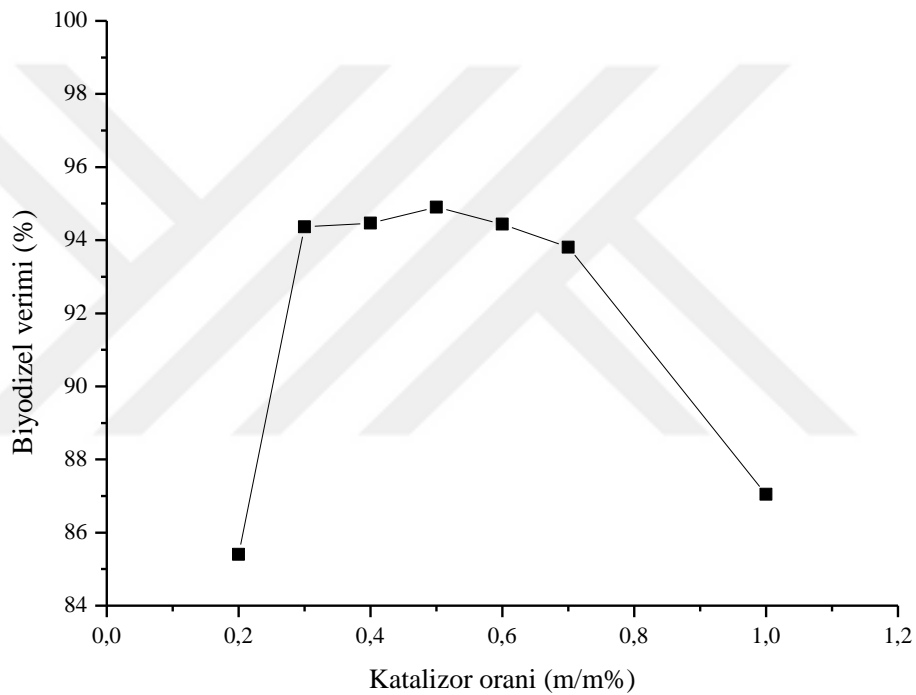


Şekil 4.1. Metanol/Yağ oranının biyodizel verimi üzerine etkisi

#### 4.1.2. Katalizör Miktarının Biyodizel Verimi Üzerine Etkisi

Biyodizel verimine etki eden en önemli parametrelerden birisi katalizör türü ve oranıdır. Ucuz ve hızlı reaksiyona girmesinden dolayı bu çalışmada NaOH tercih edilmiştir. Katalizör miktarının biyodizel verimi üzerindeki etkisi incelenirken diğer parametreler sabit tutulmuş ve katalizör miktarı yağa göre %0.2, %0.3, %0.4, %0.5,

%0.6, %0.7 ve %1.0 oranlarında değiştirilerek deneyler yapılmıştır. %20 oranındaki metanole belirtilen oranlardaki katalizör eklenmiş ve elde edilen karışım 60°C de bulunan 100 g tavuk yağına eklenmiştir. 60 dakika sonunda elde edilen biyodizel verimleri Şekil 4.2'de verilmiştir. En yüksek biyodizel verimi %0.5 oranında katalizör kullanımıyla elde edilmiştir. Katalizör miktarının düşmesine bağlı olarak biyodizel veriminde düşüş meydana gelmektedir. Düşük katalizör oranlarında reaksiyon tamamlanamamaktadır. Yüksek katalizör oranlarında ise sabun meydana gelmekte ve bundan dolayı yine verimde azalma görülmektedir.

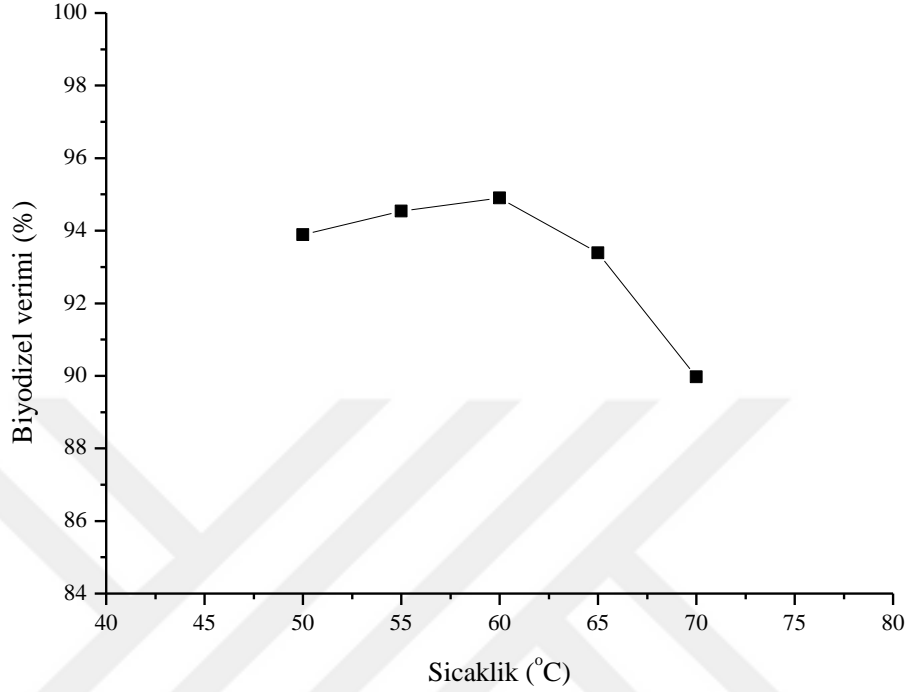


Şekil 4.2. Katalizör miktarının biyodizel verimi üzerine etkisi

#### 4.1.3. Reaksiyon Sıcaklığının Verim Üzerine Etkisi

Sıcaklığın biyodizel verimi üzerindeki etkisinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda diğer parametreler sabit tutulurken reaksiyon sıcaklığı değiştirilmiştir. %0.5 g katalizör üzerine %20 oranında metanol eklenerek elde ettiğimiz metoksit çözeltisi 100 g tavuk yağına eklenerek 60 dakika boyunca 1000 1/min hızında 50°C, 55°C, 60°C, 65°C ve 70°C sıcaklıklarında reaksiyona sokulmuştur. Farklı reaksiyon sıcaklıklarının biyodizel verimine etkisi Şekil 4.3'te verilmiştir. En yüksek biyodizel üretimi 60°C'de elde edilmiştir. Yüksek sıcaklıklara çıktığında metanolün

kaynama derecesine yaklaşıldığından reaksiyona giren alkol miktarında azalma meydana gelir. Bundan dolayı biyodizel veriminde düşme meydana gelmektedir.

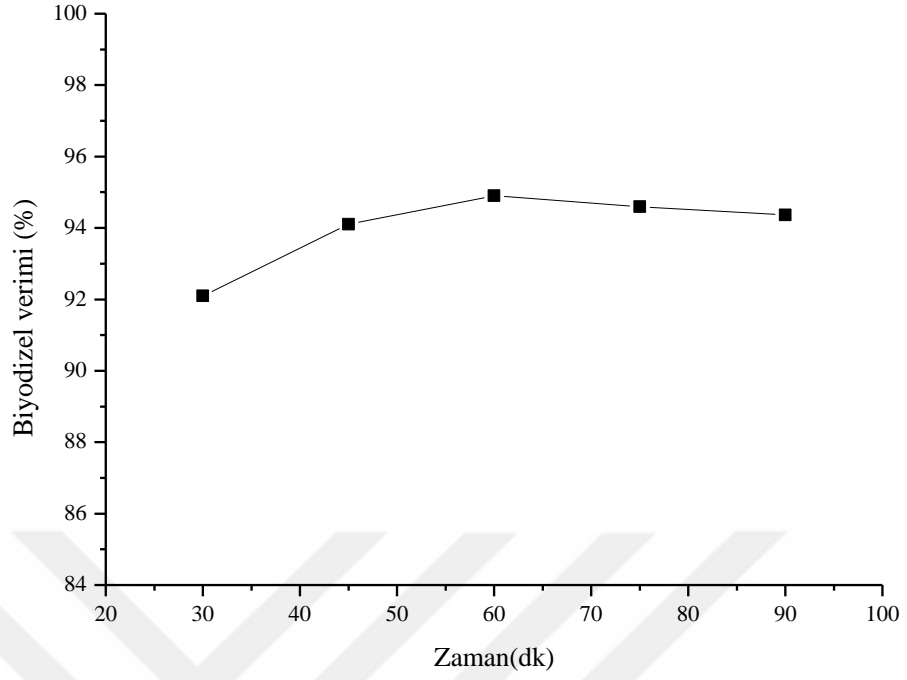


Şekil 4.3. Reaksiyon sıcaklığının biyodizel verimi üzerine etkisi

#### 4.1.4. Reaksiyon Süresinin Biyodizel Verimi Üzerine Etkisi

Biyodizel verimine etki eden bir diğer parametre de reaksiyon süresidir. Reaksiyon süresinin etkisinin tespit edilmesi için %0.5 g katalizör,%20 metanol karıştırlarak elde edilen karışım 60°C deki 100 g tavuk yağına eklenerek, 1000 1/min hızında 30, 45, 60, 75 ve 90 dakika boyunca reaksiyona tabi tutulmuştur. Optimum reaksiyon süresi 60 dakika olarak tespit edilmiştir. Elde edilen veriler Şekil 4.4'de verilmiştir.





**Şekil 4.4.** Reaksiyon süresinin biyodizel verimi üzerine etkisi

#### **4.2. Tavuk Yağı, Tavuk Yağı Biyodizeli ve Karışımlarının Yakıt Özellikleri**

Bu çalışmada tavuk yağı, optimum koşullarda üretilen tavuk yağı biyodizeli, dizel ve biyodizel-dizel yakıtlarının bazı yakıt özellikleri Tablo 4.1'de verilmiştir. Ölçümler Bozok Üniversitesi Biyoyakıt Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 4.1.** Denemelerde Kullanılan Yakıtların Bazı Fiziksel Özellikleri

Özellikler	Birim	Tavuk Yağı	B100	EN 14214	B20	B2	Dizel	EN 590
Yoğunluk <sup>1</sup>	g/cm <sup>3</sup>	0.91922	0.88327	0.86-0.90	0.83101	0.82457	0.82335	0.82-0.845
Kinematik Viskozite <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup> /s	39.074	5.187	3.5-5.0	2.982	2.675	2.612	2.0-4.5
Kalori	MJ/kg	40.369	40.453	>35 <sup>5</sup>	44.002	44.995	45.614	>35 <sup>5</sup>
Su İçeriği	mg/kg	-	472.36	<500	245.87	63.337	39.798	<200
Parlama Noktası	°C	-	149	>101	64	61	60	55<
Renk <sup>3</sup>	-	-	1.0	-	0.6	0.4	0.4	-
pH	-	-	6.538	-	6.764	6.957	7.631	-
Bulutlanma Noktası	°C	-	4	-	-3	-5	-8	-
SFTN	°C	-	1	-	-14	-18	-19	-
Akma Noktası	°C	-	-2	-	-23	-33	-34	-
Donma Noktası	°C	-	-3	-	-25	-38	-40	-
Asit Sayısı	mgKOH/g	2.476	0.883	<0.5	0.701	0.576	0.209	-

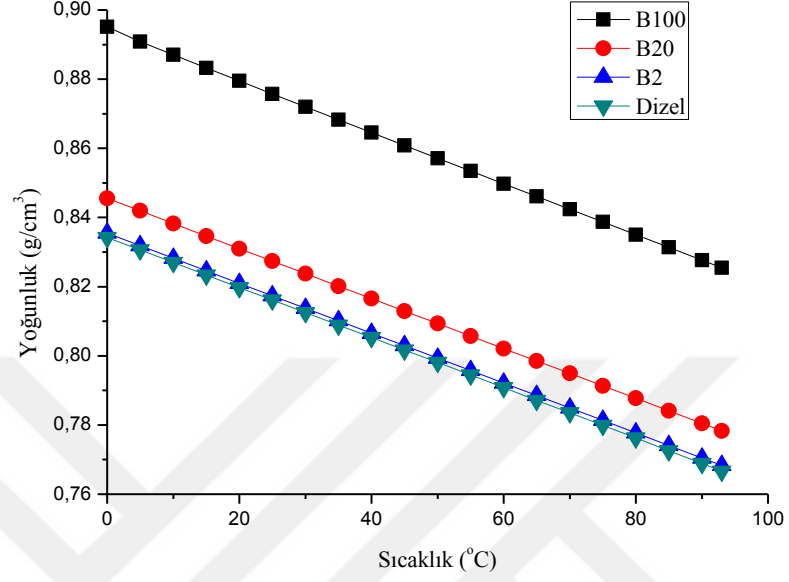
<sup>1</sup>15°C'de  
<sup>2</sup>40°C'de  
<sup>3</sup>ASTM D1500  
<sup>4</sup>50°C'de 3 saat  
<sup>5</sup>EN 14213

### 4.3. Yakıtların Farklı Sıcaklıklardaki Yoğunluk ve Kinematik Viskozite Değerleri

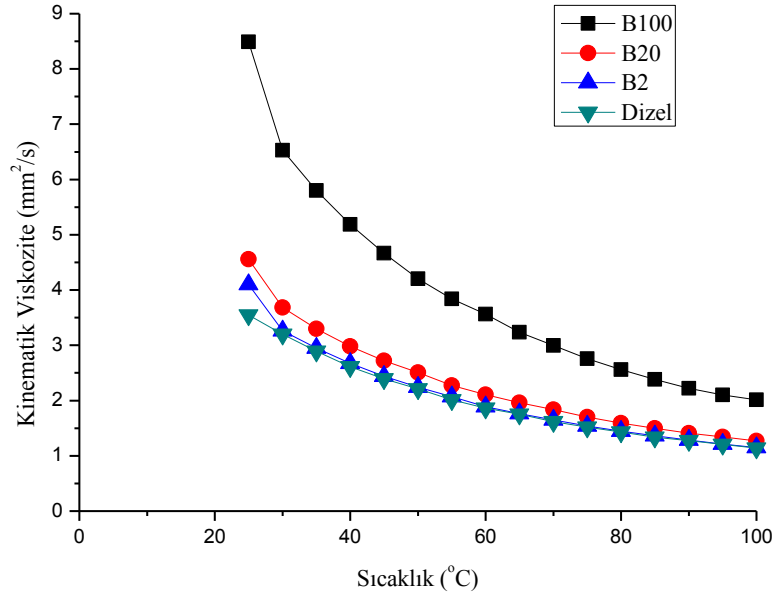
Yakıtların farklı sıcaklıklardaki yoğunluk değerleri Şekil 4.5'te verilmiştir. Yoğunluk değerlerinin sıcaklık artışına ve dizel karışım oranına bağlı olarak lineer değiştiği görülmektedir. Yakıtların en yüksek yoğunluk değerleri 0°C'de ölçülmüştür. EN 14214 standardında belirtilen 15°C'deki yoğunluk değeri 0.88327 g/cm<sup>3</sup>'tür. 15°C'de B100, B20 ve B2 yakıtlarının yoğunluk değerleri dizel yakıtından sırasıyla %7.28, %0.93 ve %0.15 fazladır.

B100, B20, B2 ve dizel yakıtlarının 25-100°C sıcaklık aralığındaki kinematik viskozite değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir. En yüksek kinematik viskozite değerleri 25°C'de ölçülmüştür. Sıcaklık artışına bağlı olarak elde edilen kinematik viskozite değerleri üstel olarak düşüş göstermiştir. EN 590 standardında belirtilen 40°C'deki kinematik viskozite değeri 2-4.5 mm<sup>2</sup>/s'dir. Bu standartta yağ asidi metil esteri %V/V oranı maksimum %7 olduğundan B2 yakıtını karşılaştırdığımızda 2.675

mm<sup>2</sup>/s değeri ile istenilen aralıkta olduğu görülmektedir. B20 ve B100 yakıtları ise EN 14214 standardına göre karşılaştırıldığında istenilen aralıklarda değildir.



Şekil 4.5. Tavuk yağı biyodizeli ve karışımlarının farklı sıcaklıklardaki yoğunluk değerleri



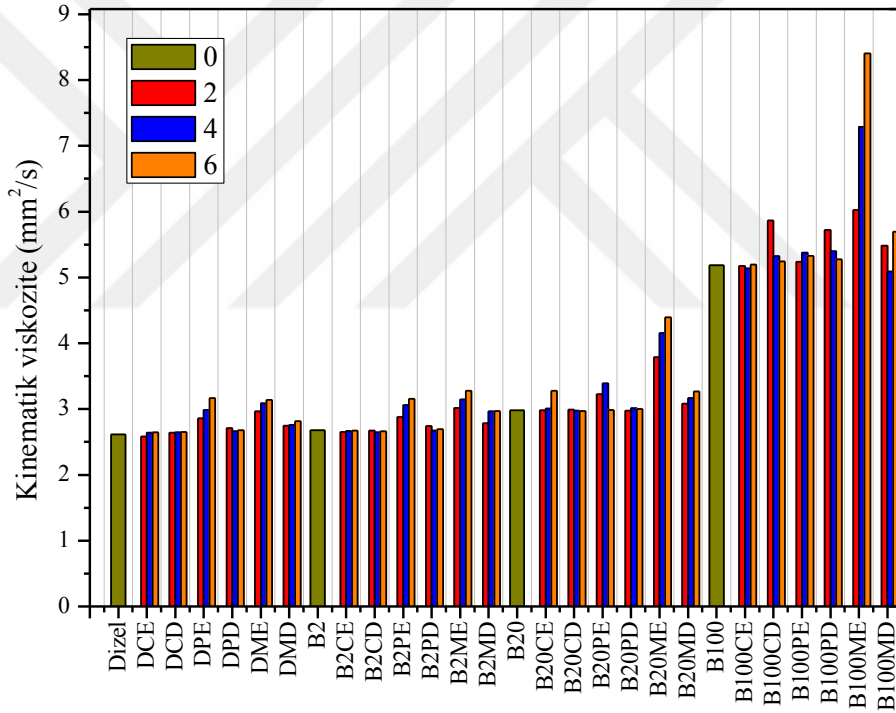
Şekil 4.6. Tavuk yağı biyodizeli ve karışımlarının farklı sıcaklıklardaki kinematik viskozite değerleri

#### 4.4. Depolama Koşullarının Yakıt Özelliklerine Etkisi

B100, B20, B2 ve dizel yakıtı 4 ve 25°C ortam sıcaklıklarında cam, plastik ve metal kaplarda altı ay depolanmıştır. Her iki ayda bir yakıtların bazı yakıt özellikleri ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda yakıtların renk ve parlama noktası gibi özelliklerinde önemli bir değişiklik olmamasına karşın ölçüm yapılan diğer özelliklerinde bazı değişiklikler olduğu gözlenmiştir.

##### 4.4.1. Kinematik Viskozite Değişimleri

Farklı sıcaklık ve depolama koşullarında yakıtların kinematik viskozite değerlerinin zamana bağlı olarak 40°C'deki değişimleri Şekil 4.7'de verilmiştir.



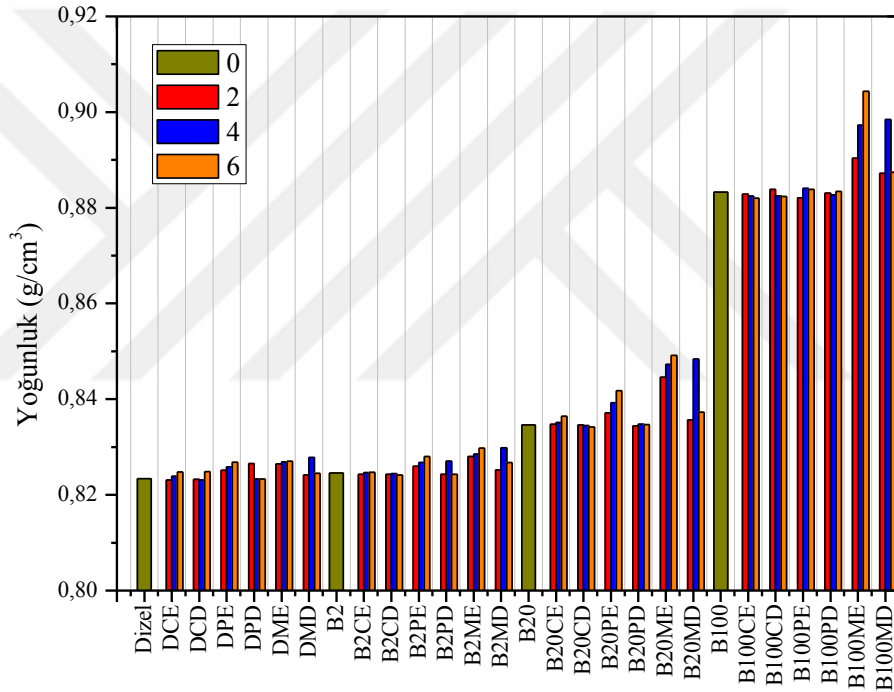
Şekil 4.7. Kinematik viskozite değişimleri

Kinematik viskozite sonuçları incelendiğinde yakıtların ilk üretildikleri tarihten itibaren viskozitelerinde artış meydana gelmiştir. En fazla değişim B100 yakıtında gerçekleşmiştir. Fakat standartlara göre değerlendirme yapılırsa üretilen tavuk yağı biyodizelinin viskozitesi EN 14214'te verilen üst sınır olan 5 mm<sup>2</sup>/s'den fazla olduğu için tek başına kullanımının uygun olmadığı, depolama ile birlikte bu değer daha

da arttığı ve 25°C'de ve metal kapta bekletilen B100 yakıtının 6 ay sonunda kinematik viskozite değeri 8.406 mm<sup>2</sup>/s olarak tespit edilmiştir.

#### 4.4.2. Yoğunluk Değişimleri

Motor performansına etki eden en önemli yakıt özelliklerinden birisi de yoğunluktur. EN 14214 standardında yoğunluk değerinin B100 yakıtı için 0.86-0.90 g/cm<sup>3</sup>, En 590 standardında ise dizel ve karışım yakıtlar için 0.82-0.845 g/cm<sup>3</sup>'tür. Depolama sonucunda yakıtların 15°C'deki yoğunluk değişimleri Şekil 4.8'de verilmiştir.

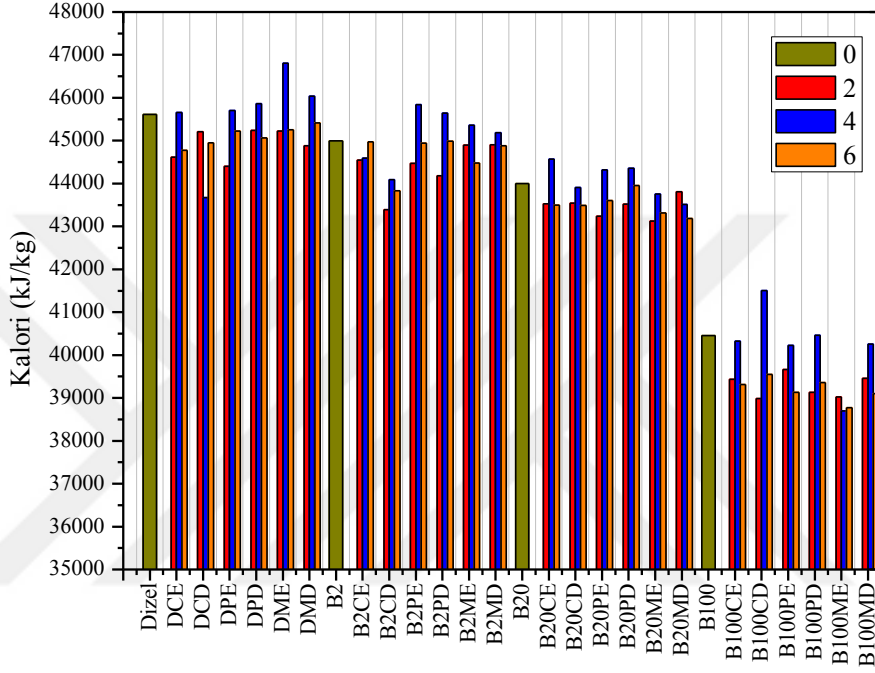


Şekil 4.8. Yoğunluk değişimleri

Şekil 4.8 incelendiğinde en büyük değişimin B100 yakıtında olduğu, dizel yakıtında ise çok fazla değişimin olmadığı görülmektedir. 6 ay sonunda yapılan ölçümlerde 25°C ve metal kapta bekletilen B100 ve B20 yakıtlarının yoğunlukları standardı sağlamamaktadır.

#### 4.4.3. Kalori Değişimleri

Yakıtların farklı depolama şartlarında zamana göre kalori değişimleri Şekil 4.9'da verilmiştir. Yapılan ölçümlerde EN 14213 standardında verilen 35000 kJ/kg'dan yüksek olma şartı tüm yakıtlarda sağlanmıştır. Zamanla yakıtların kalori değerlerinde azalmalar ve artmalar meydana gelmiştir.



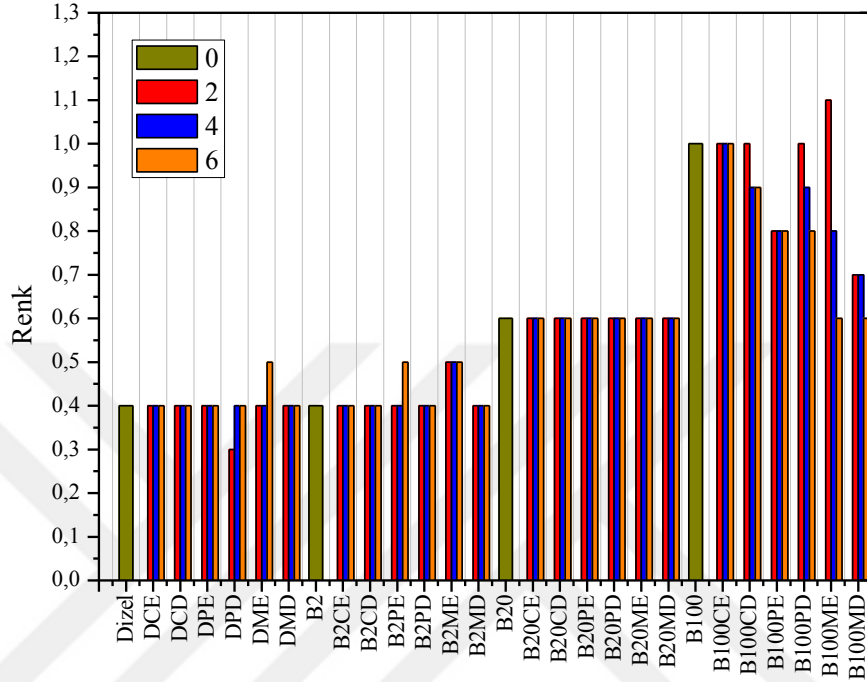
Şekil 4.9. Kalori değişimleri

#### 4.4.4. Renk Değişimleri

Yakıtların farklı depolama şartlarında zamana göre renk değişimleri Şekil 4.10'da verilmiştir. Yapılan ölçümlerde dizel, B2 ve B20 yakıtlarında çok fazla renk değişimi olmaz iken B100 yakıtında metal kaptan en fazla değişim gözlenmiştir. Biyodizel orta dereceli bir çözücüdür. Boyalı yüzeyler ile teması halinde boyayı çözebilir. Biyodizelin bu çözücü özelliğinden dolayı araçlardaki kullanımında yakıt deposuna konulmadan evvel, deponun temizliğini ve bakımını yapmak gerekir. Aksi takdirde motorinden kaynaklanan depodaki tortuları çözmekte, yakıt filtresi ve enjektörlerde tıkanıklığa sebep olmaktadır [17].

Depolama yapmadan önce depolama tankında su var ise uzaklaştırılmalıdır. Ayrıca depolama tankındaki bakır, pirinç, bronz, kurşun, kalay ve çinko biyodizel ile okside

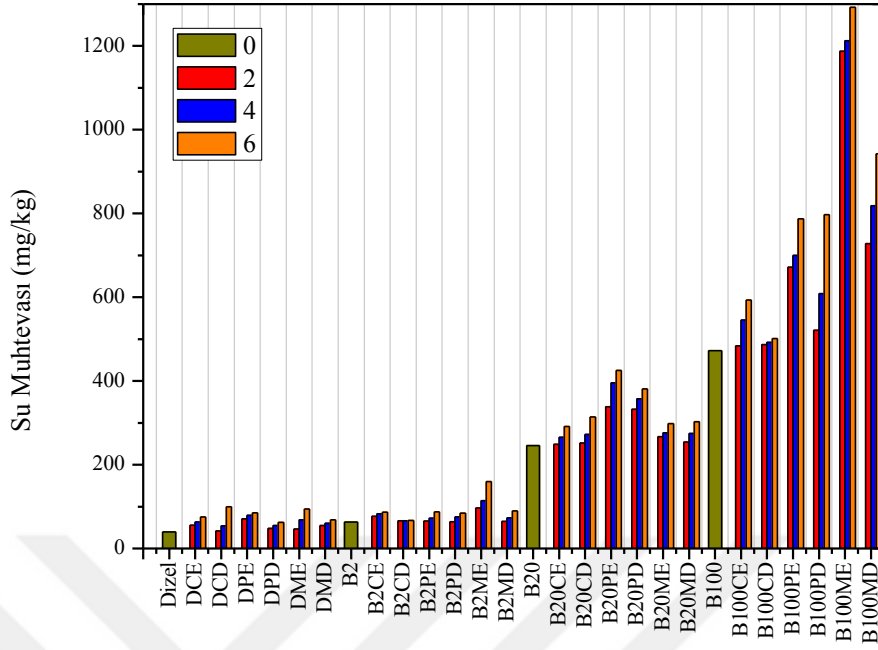
olabilir ve tortulaşma meydana getirebilir. Bakır borular, pirinç regülatörler ve bakır rekorlarda kurşun ve çinko kaplamalardan kaçınılmalıdır ve bu malzemeler çelik yada alüminyum olanlarla değiştirilmelidir [17, 22].



Şekil 4.10. Renk değişimleri

#### 4.4.5. Su Muhtevası Değişimi

B100, B20, B2 ve dizel yakıtlarının cam, plastik ve metal kaplarda farklı sıcaklıklarda depolanması sonucu 2 ayda bir tespit edilen su muhtevası sonuçları Şekil 4.11'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en fazla değişim plastik ve metal kaplarda bekletilen yakıtlarda meydana gelirken camda bekletilen yakıtların su muhtevası değişimleri diğerlerine göre azdır. Özellikle 25°C'de bekletilen yakıtların su muhtevası değerleri oldukça yüksek çıkmıştır. En fazla değişim 25°C'de metal kapta 6 ay süreyle bekletilen B100 yakıtında elde edilmiştir. İlk ölçümlere göre B100 yakıtının su muhtevası değeri 2.74 katına çıkmıştır. 6. ayın sonunda B100 yakıtı EN 14214 standardında verilen maksimum 500 mg/kg olması koşulunu sağlamamaktadır. Buna en yakın değer 501.48 mg/kg ile camda 4°C'de depolanan yakıtta elde edilmiştir.

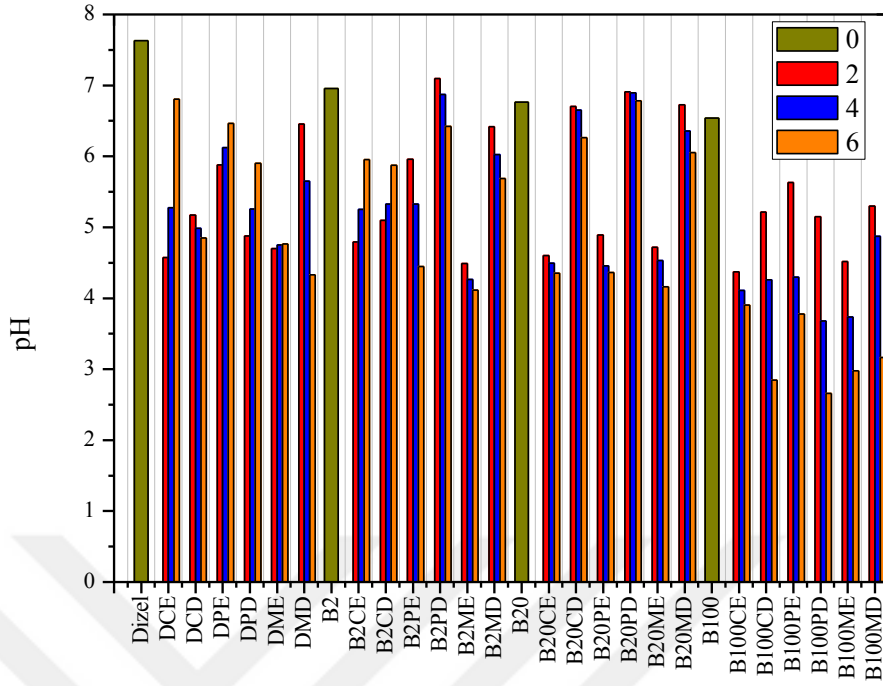


Şekil 4.11. Su muhtevası değişimi

#### 4.4.6. pH Değişimi

Yakıtların zamana göre pH değişimleri Şekil 4.12'de verilmiştir. Şekil 4.12 incelendiğinde genel olarak yakıtların ilk pH değerleri 6.538-7.631 arasında değiştiği depolama sonucunda ise asidik özellik gösterdiği gözlenmiştir. En düşük pH değeri 2.660 ile 4°C'de plastikte bekletilen B100 yakıtında elde edilmiştir. Uzun süreli depolanmış biyodizelin kullanımından önce pH'ı test edilmeli ve pH'ının 7-10 sınırları içinde olmasına dikkat edilmelidir. Yine aynı şekilde uzun süre beklemiş biyodizelin kullanımından önce özgül ağırlığının 0.9 g/cm<sup>3</sup>'ü aşıp aşmadığı belirlenmelidir. Biyodizel tankları mümkünse tamamen dolu tutulmalıdır. Bunu yapmaktaki amaç biyodizel ile havanın temasını en aza indirmektir [23].

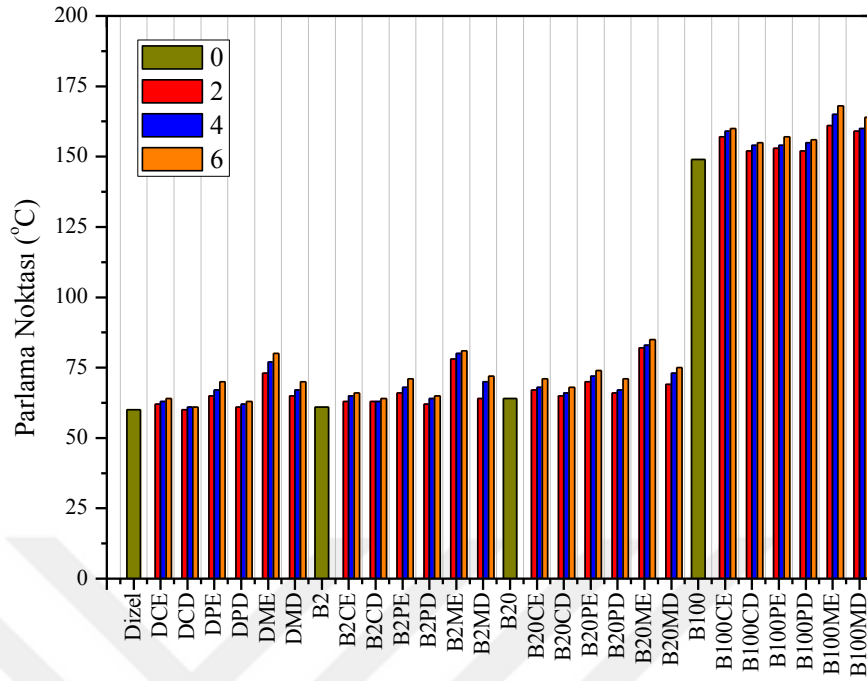




Şekil 4.12. pH değişimi

#### 4.4.7. Parlama Noktası Değişimi

EN 14214'te biyodizelin parlama noktası minimum  $51^{\circ}\text{C}$ , EN 590'da ise dizel ve karışım yakıtların minimum parlama noktası  $55^{\circ}\text{C}$  olarak verilmiştir. Bu çalışmada elde edilen parlama noktası sonuçları Şekil 4.13'te verilmiştir. Yakıtların parlama noktaları incelendiğinde genellikle depolama süre ve koşullarına bağlı olarak yükselmelerin meydana geldiği, en yüksek parlama noktasının ise  $25^{\circ}\text{C}$ 'de metal kaptaki bekletilen B100 yakıtında  $168^{\circ}\text{C}$  olarak ölçülmüştür. Tüm denemelerde yakıtların standartları sağladığı görülmüştür.



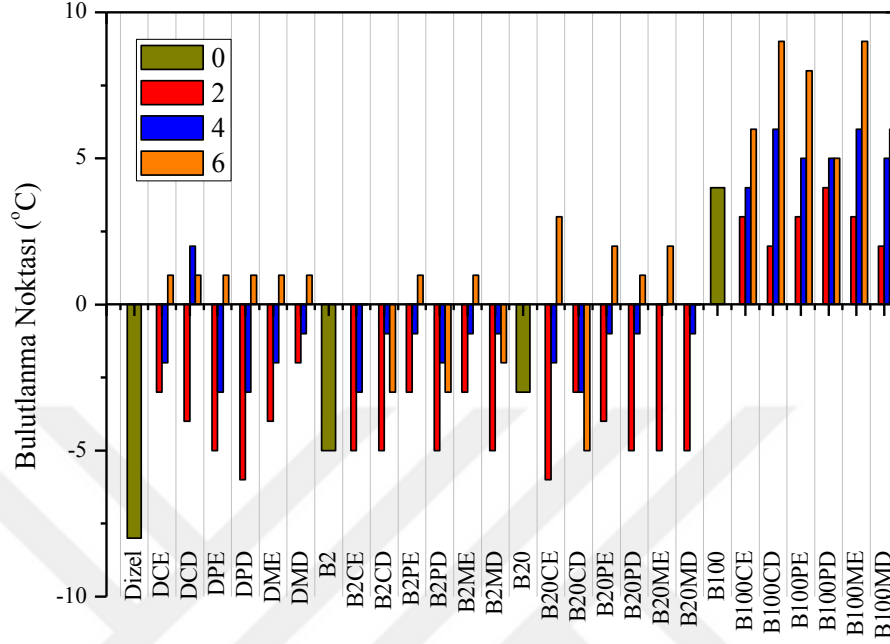
Şekil 4.13. Parlama noktası değişimi

#### 4.4.8. Bulutlanma, SFTN, Akma ve Donma Noktalarının Değişimi

Dizel motorlarda kullanılan yakıtlar için bilinmesi gereken en önemli parametrelerden biriside soğukta akış özellikleridir. Bir yakıt soğutulduğunda, belirli bir sıcaklıkta yakıt molekülleri kristalleşmeye başlar ve soğutma devam ettiği sürece daha fazla kristal oluşumu meydana gelir. Kristallerin oluşmaya başlaması, yakıt içerisinde bulutsu bir görüntü oluşturur ve bu bulutsu oluşumun ilk görüldüğü sıcaklık bulutlanma noktası olarak adlandırılır. Yakıt içerisinde oluşan kristaller belirli bir süre sonra yakıt filtresinde tıkanmaya neden olur. Bu noktanın elde edildiği sıcaklık soğuk filtre tıkanma noktası (SFTN) diye adlandırılır. Filtrenin tıkanması sonucu motora giden yakıt miktarı düşmekte ve bu nedenden dolayı motor çalışmamaktadır. Yakıt sıcaklığının daha da düşmesi halinde akıcılığı da azalarak yakıt jel halini alır, bu nokta akma noktası olarak isimlendirilir. Yakıt daha da soğutulursa artık yakıt donmaya başlayacaktır. Bu nokta da donma noktası olarak ifade edilir [18].

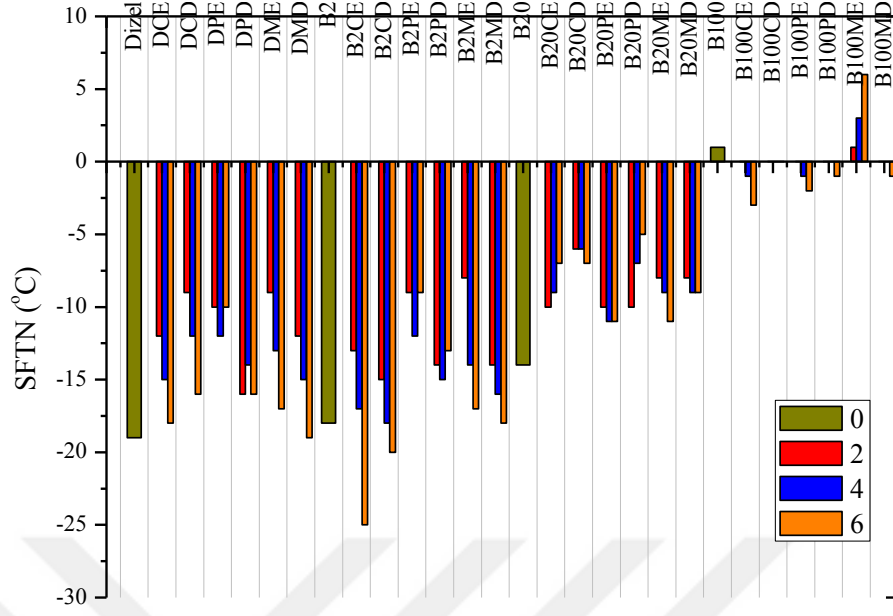
Bu çalışmada elde edilen bulutlanma, SFTN, akma ve donma noktalarının değişimi sırasıyla Şekil 4.14, 15, 16 ve 17'de verilmiştir. B100, B20, B2 ve dizel yakıtlarının bulutlanma noktaları sırasıyla 4, -3, -5 ve -8°C olarak tespit edilmiştir. Son yıllarda

çeşitli katkı maddeleri geliştirilerek dizel yakıtında katılmakta ve bulutlanma noktası düşürülmeye çalışılmaktadır.



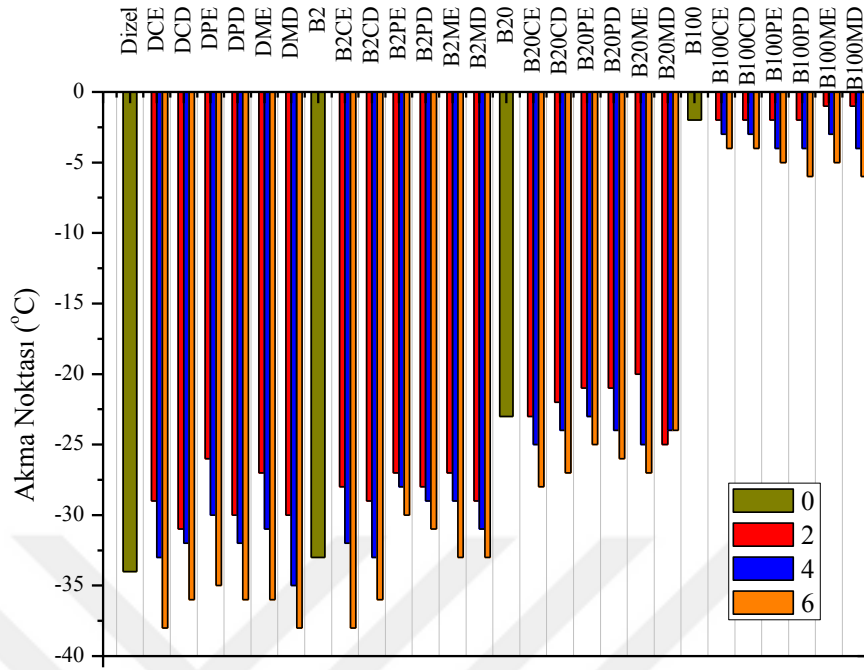
Şekil 4.14. Bulutlanma noktası değişimi

SFTN ise B100 yakıtında pozitif değerdedir. Bu da kış şartlarında kullanımını kısıtlamaktadır. Karışım yakıtlarda ise dizel oranına bağlı olarak SFTN değeri düşmektedir.



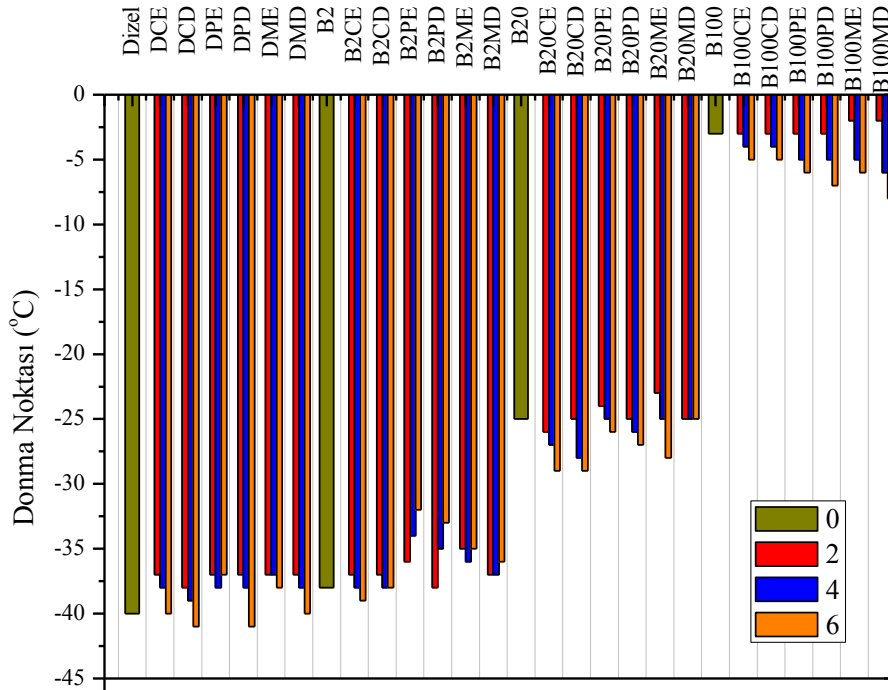
Şekil 4.15. SFTN değışimi

Soğuk akış özelliklerinin tümünü etkileyen en önemli parametre doymamış hidrokarbon miktarıdır. Yakıttaki doymamışlık oranı artarsa yakıtın jelleşme eğilimi artar. Akma noktası kısaca yakıtın jelleştiği ve akar-akmaz durumda olduğu sıcaklık olarak tanımlanır. Akma noktalarının ilk ölçümleri incelendiğinde B100, B20, B2 ve dizel yakıtları sırasıyla -2, -23, -33 ve -34°C'dir.



Şekil 4.16. Akma noktası değişimi

Yakıt daha da soğutulduğunda jelleşme miktarının oranı artar ve katılaşma meydana geldiği nokta donma noktasıdır. Yakıtların donma noktası B100 yakıtı hariç oldukça düşük olarak tespit edilmiştir.

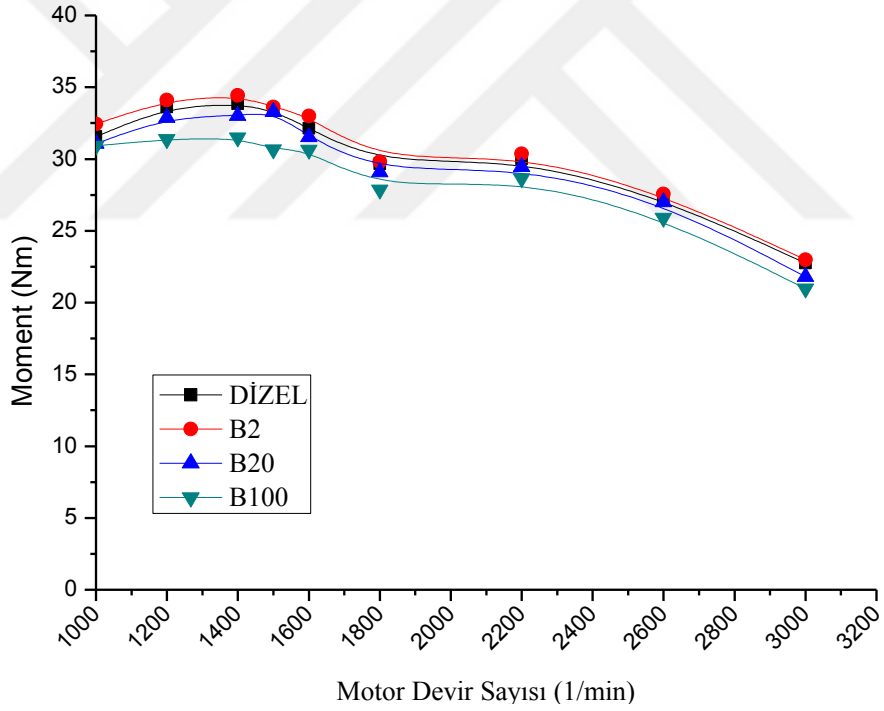


Şekil 4.17. Donma noktası değişimi

## 4.5. Motor Karakteristik Sonuçları

### 4.5.1. Moment Değişimi

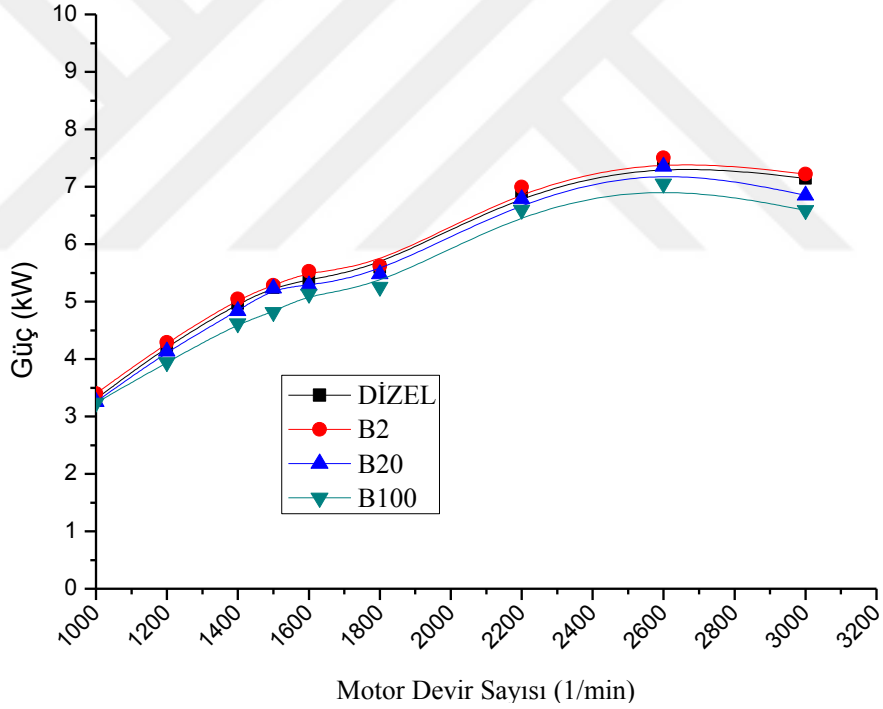
Dizel ve karışım yakıtlarının motor devir sayısına bağlı olarak moment değişimi Şekil 4.18'de verilmiştir. En düşük moment değeri 3000 1/min'de B100 yakıtında 20.97 Nm olarak görülürken bu değer dizel yakıtından elde edilen moment değerinden %7.78 daha azdır. En yüksek moment değeri ise dizel yakıtına göre %1.65 artış ile 34.42 Nm değerine sahip olan 1400 1/min'de B2 yakıtına aittir. Tüm motor devir sayılarında maksimum moment değerleri sırasıyla B2, dizel, B20 ve B100 yakıtlarına aittir. Aydın ve Bayındır'ın [62], Büyükkaya'nın [63] ve Oğuz'un [27] çalışmalarında da benzer azalma eğilimleri göstermiş ve B100 yakıtlarının dizel yakıtına göre moment azalmaları sırasıyla %16.16, %5 ve %9.3 olmuştur.



Şekil 4.18. Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak Moment Değerlerinin Değişimi

#### 4.5.2. Güç Değişimi

Dizel, B2, B20 ve B100 yakıtlarının farklı motor devir sayılarında elde edilen güç değerleri Şekil 4.19'da verilmiştir. En düşük değer 3.2379 kw ile 1000 1/min'de B100 yakıtının olup aynı devirdeki en yüksek değer olan dizel yakıtının güç değerinden %2.03 daha azdır. Elde edilen en yüksek güç değeri ise 7.5038 kw ile 2600 1/min'de B2 yakıtından elde edilmiştir. Bu değer aynı devirde dizel yakıtından elde edilmiş olan güç değerinden %1.10 daha fazladır. Yapılan ölçümler tüm motor devirlerinde elde edilen en yüksek gücün B2 yakıtına ait olduğunu göstermiştir. Daha sonra sırasıyla dizel, B20 ve B100 yakıtları gelmektedir. Öner ve Altun'un [64] yaptığı çalışmada B100 yakıtının dizel yakıtına göre güç değişimi %4, Özgün'ün [65] yaptığı çalışmada ise güç değişimi %23 oranlarında azalma olduğunu belirtmişlerdir.

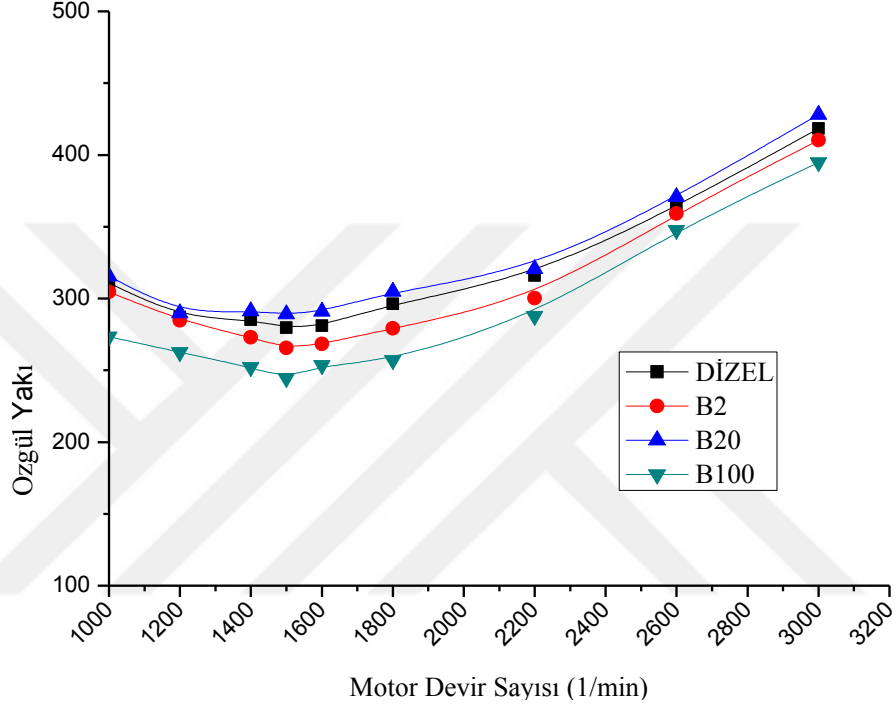


Şekil 4.19. Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak Güç Değerlerinin Değişimi

#### 4.5.3. Özgül Yakıt Tüketimi

Dizel, B2, B20 ve B100 yakıtlarının farklı motor devir sayılarında elde edilen özgül yakıt tüketimi değerleri Şekil 4.20'de verilmiştir. Yapılan ölçümler neticesinde en yüksek değer 427.9936 g/kWh ile 3000 1/min'de B20 yakıtıyla yapılan denemede elde edilmiştir. En düşük değer ise 244.4133 g/kWh ile 1500 1/min'de B100 yakıtına

aittir. Elde edilen veriler incelendiğinde bütün motor devir sayılarında en yüksek özgül yakıt tüketimi B20 yakıtına, en düşük özgül yakıt tüketimi ise B100 yakıtına aittir. Dhar ve ark.'nın [66], Saleh'in [67] ve Sureshkumar ve ark.'ın [68] çalışmaları incelendiğinde B100 yakıtının dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketimi sırasıyla %4.8, %25.82 ve %25.57 oranlarında azalma göstermiştir.

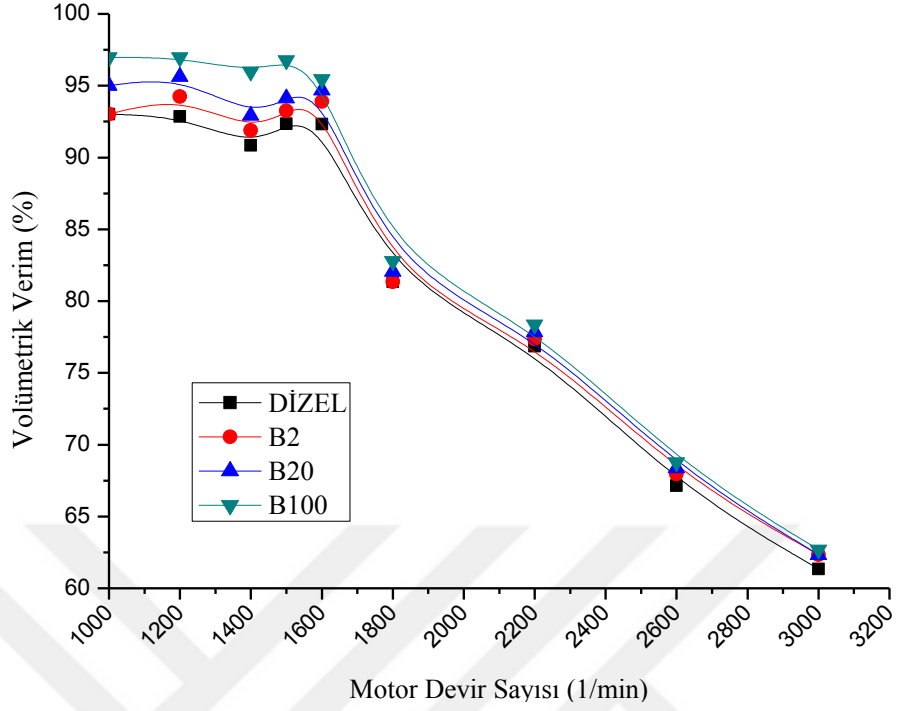


**Şekil 4.20.** Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak Özgül Yakıt Tüketimi Değerlerinin Değişimi

#### 4.5.4. Volümetrik Verim

Dizel, B2, B20 ve B100 yakıtlarının farklı motor devir sayılarında elde edilen volümetrik verim değerleri Şekil 4.21'de verilmiştir. En yüksek volümetrik verim %96.9753 değeri ile B100 yakıtının 1000 ve 1200 1/min'de hesaplanmıştır. B20, B2 ve dizel yakıtlarının en yüksek verimleri ise sırasıyla %95.0160, %94.2430 ve %93.0154 tür. En düşük volümetrik verim ise %61.3326 değeri ile 3000 1/min'de dizel yakıtında hesaplanmıştır.

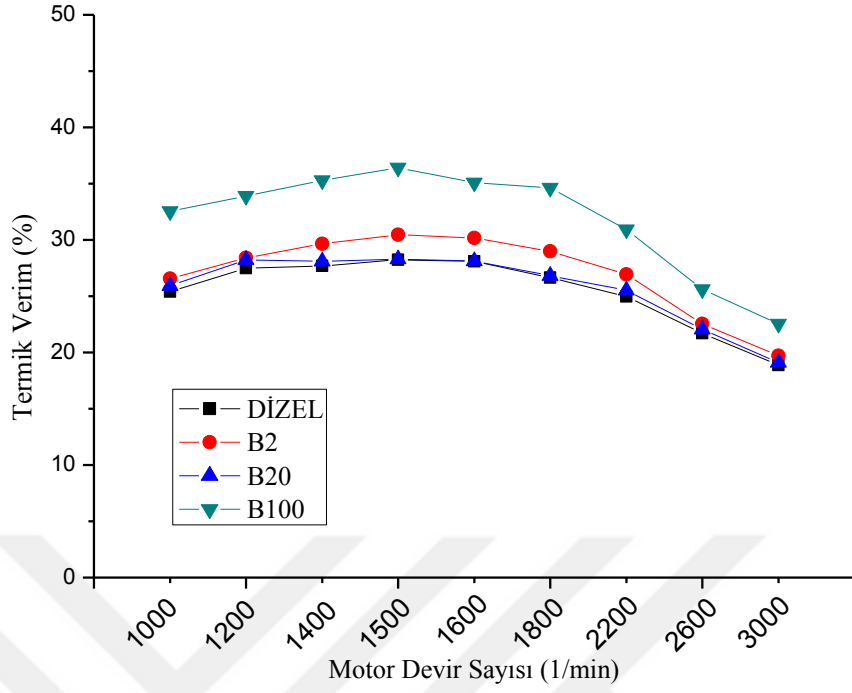




**Şekil 4.21.** Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak Volümetrik Verim Değerlerinin Değişimi

#### 4.5.5. Termik Verim

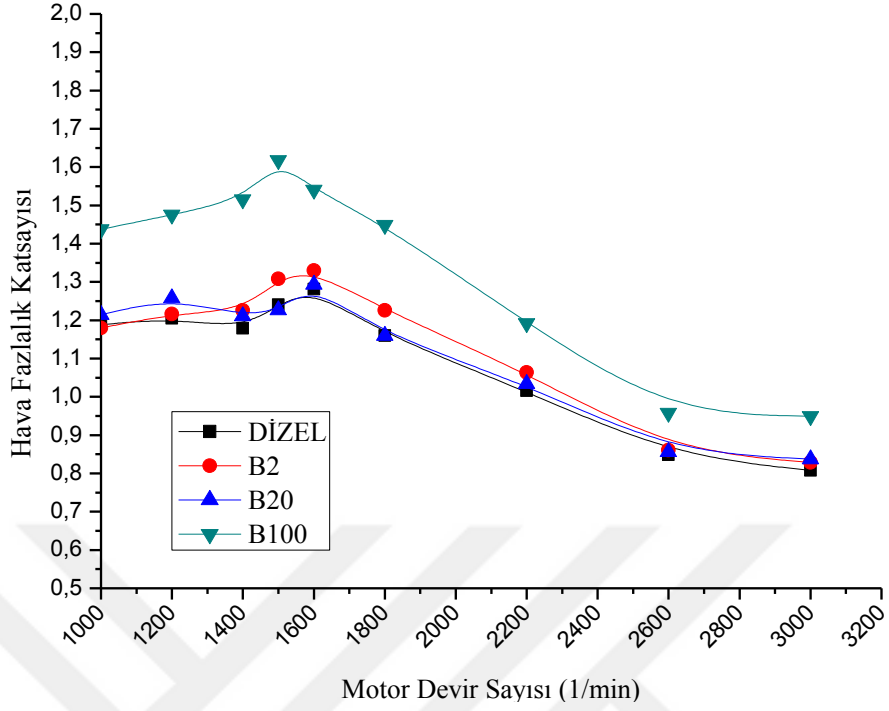
Dizel, B2, B20 ve B100 yakıtlarının farklı motor devir sayılarında elde edilen termik verim değerleri Şekil 4.22'de verilmiştir. Tüm yakıtların maksimum termik verimler 1500 1/min'de hesaplanmıştır. B100, B20, B2 ve dizel yakıtlarının termik verimleri sırasıyla %36.41, %28.31, %30.46 ve %28.23 olarak hesaplanmıştır. Minimum termik verimleri ise tüm yakıtların 3000 1/min'de sırasıyla %22.55, %19.12, %19.72 ve %18.86 olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 4.22.** Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak Termik Verim Değerlerinin Değişimi

#### 4.5.6. Hava Fazlalık Katsayısı

Motora emilen hava miktarının yakıtın tam yanması için gerekli olan hava miktarına oranı hava fazlalık katsayısı olarak ifade edilir. Bu kapsamda dizel, B2, B20 ve B100 yakıtları ile farklı motor devir sayılarında yapılan ölçümler neticesinde elde edilen hava fazlalık katsayıları Şekil 4.23'de verilmiştir. En yüksek değer 1.6178 ile B100 yakıtının 1500 1/min'de yapılan denemesinde hesaplanmıştır. Bu değer aynı devirde dizel yakıtının hava fazlalık katsayısının 1.30 katıdır. En düşük değer ise 0.8080 ile dizel yakıtının 3000 1/min'de yapılan denemesinde hesaplanmıştır.

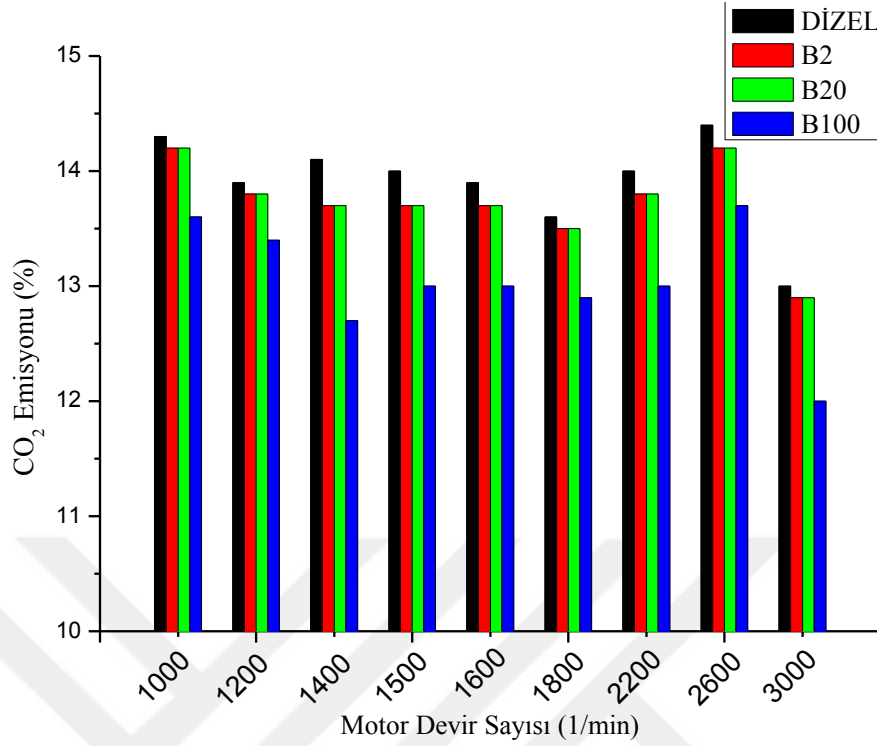


**Şekil 4.23.** Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak Hava Fazlalık Katsayısı Değerlerinin Değişimi

#### 4.5.7. Egzoz Emisyon Değişimleri

##### 4.5.7.1. CO<sub>2</sub> Emisyonu

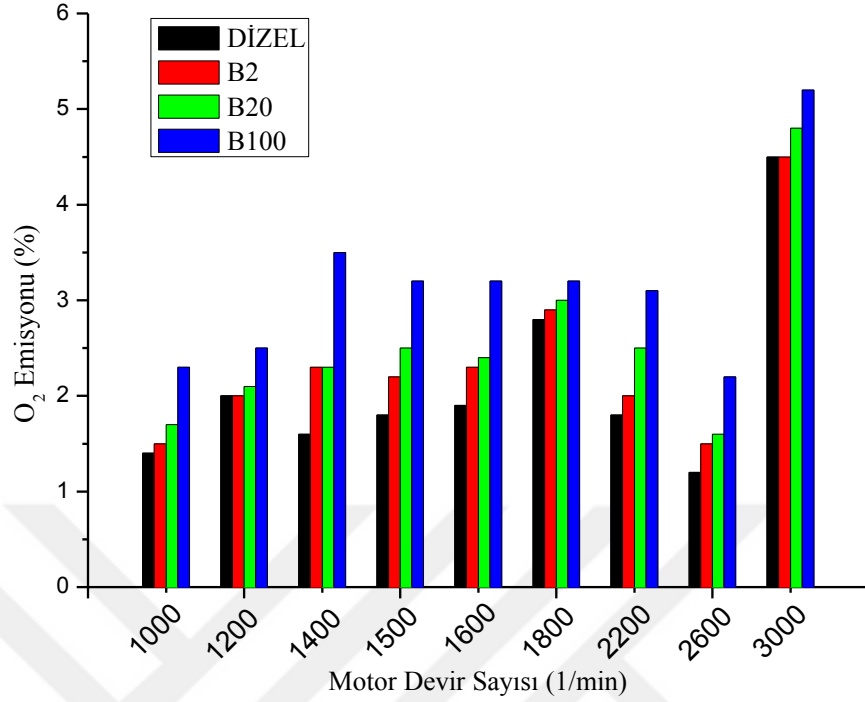
Karbon içeren yakıtların tam yanması sonucu oluşan CO<sub>2</sub> gazı emisyon değerleri Şekil 4.24'de verilmiştir. Yapılan testler sonucunda biyodizel kullanımının CO<sub>2</sub> emisyonunu azalttığı gözlemlenmiştir. En yüksek CO<sub>2</sub> emisyon değeri %14.4 ile 2600 1/min'de yakılan dizel yakıtında görülmüştür. En düşük CO<sub>2</sub> emisyon değeri ise %12 ile B100 yakıtının 3000 1/min'de yanması sonucu oluşmuştur. Tavuk yağı biyodizeli karışım oranına bağlı olarak B2, B20 ve B100 yakıtları kullanımı sonucu elde edilen CO<sub>2</sub> emisyonları dizel yakıtına göre sırasıyla ortalama %1.35, %2.81 ve %6.32 oranlarında azalma göstermiştir. Literatür incelendiğinde ise Swaminathan ve Sarangan'ın [69], Behçet'in [70] ve An ve ark.'ın [71] çalışmalarında B100 yakıtlarının dizel yakıtına göre CO<sub>2</sub> emisyonunda sırasıyla %37.5, %4.57 ve %16.3 azalma tespit etmişlerdir.



**Şekil 4.24.** Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak CO<sub>2</sub> Emisyon Değerlerinin Değişimi

#### 4.5.7.2. O<sub>2</sub> Emisyonu

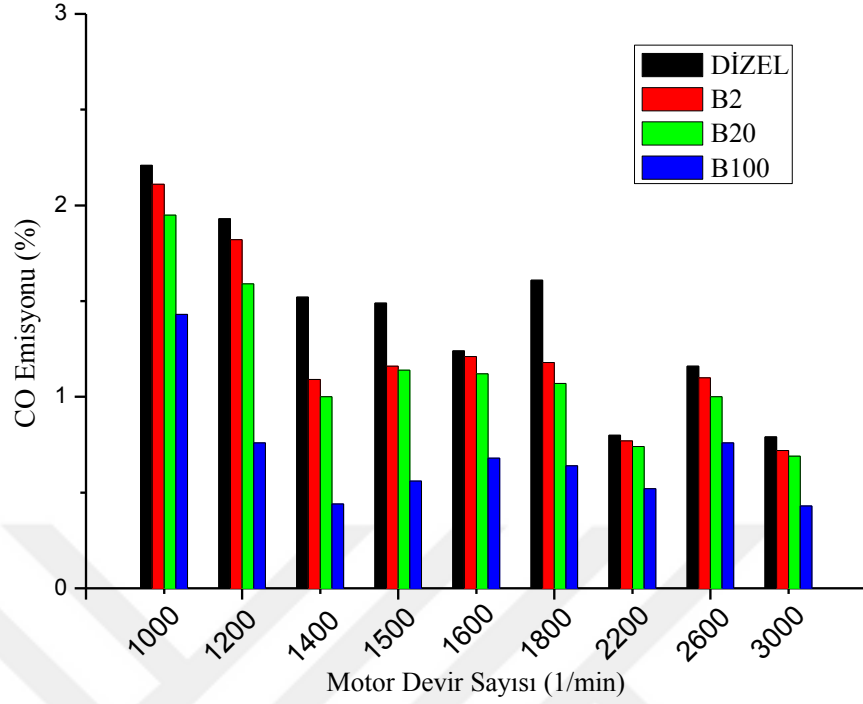
Dizel ve karışım yakıtların O<sub>2</sub> emisyonları Şekil 4.25'de verilmiştir. Elde edilen verilere bakıldığında en yüksek O<sub>2</sub> emisyonları 3000 1/min'de ve sırasıyla B100, B20, B2 ve dizel yakıtlarında gözlemlenmiştir. Bunun sebebi biyodizelin %11 dolayında oksijen içermesi ve yükselen devirle birlikte tam yanmanın gerçekleşmemesidir. B2, B20 ve B100 yakıtlarının O<sub>2</sub> emisyonları incelendiğinde dizel yakıtına göre sırasıyla ortalama %14.90, %24.60 ve %59.96 oranlarında artışlar meydana gelmiştir.



**Şekil 4.25.** Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak O<sub>2</sub> Emisyon Değerlerinin Değişimi

#### 4.5.7.3. CO Emisyonu

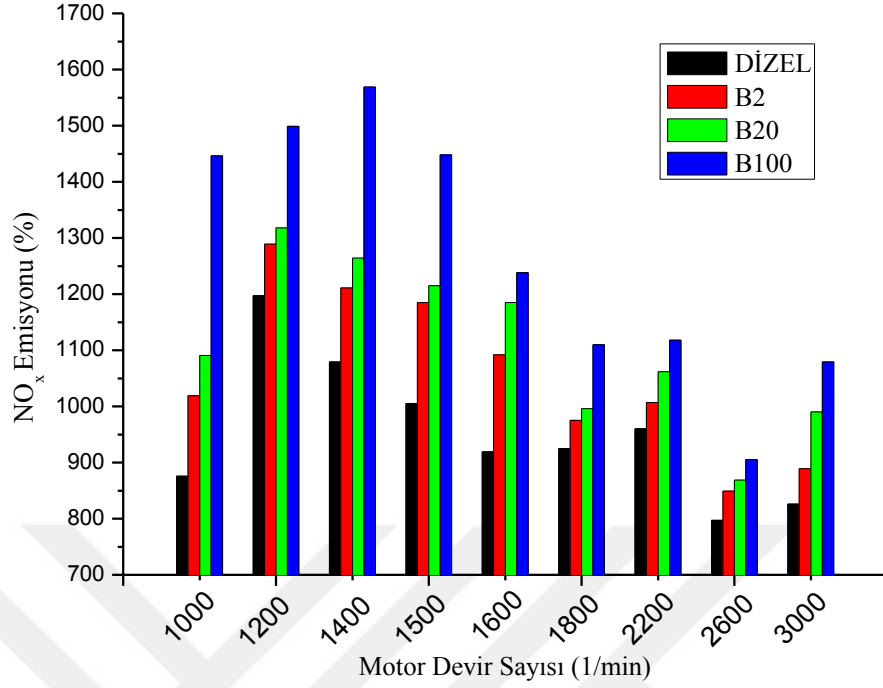
Karbon atomu içeren yakıtların eksik yanması sonucu oluşan CO gazı emisyon değerleri Şekil 4.26'da verilmiştir. Yapılan bu çalışmada biyodizel karışım oranı arttırıldıkça CO emisyon değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Her bir yakıtın en yüksek CO emisyon değerlerine 1000 1/min'de ulaşılmıştır. Dizel, B2, B20 ve B100 yakıtlarının 1000 1/min'deki CO emisyon değerleri sırasıyla %2.21, %2.11, %1.95 ve %1.43 tür. B2, B20 ve B100 yakıtlarının CO emisyonları incelendiğinde dizel yakıtına göre sırasıyla ortalama %11.95, %18.25 ve %49.98 oranlarında azalmalar meydana gelmiştir. Rizvanul Fattah ve ark.'nın [72], Öner ve Altun'un [64] ve Swaminathan ve Sarangan'ın [68] çalışmalarında da benzer sonuçlar gözlemlenmiş ve bu çalışmalarda B100 yakıtının dizel yakıtına oranla CO emisyonunu sırasıyla %12.3, %14.5 ve %25 oranlarında azalttığı belirtilmiştir.



**Şekil 4.26.** Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak CO Emisyon Değerlerinin Değişimi

#### 4.5.7.4. NO<sub>x</sub> Emisyonu

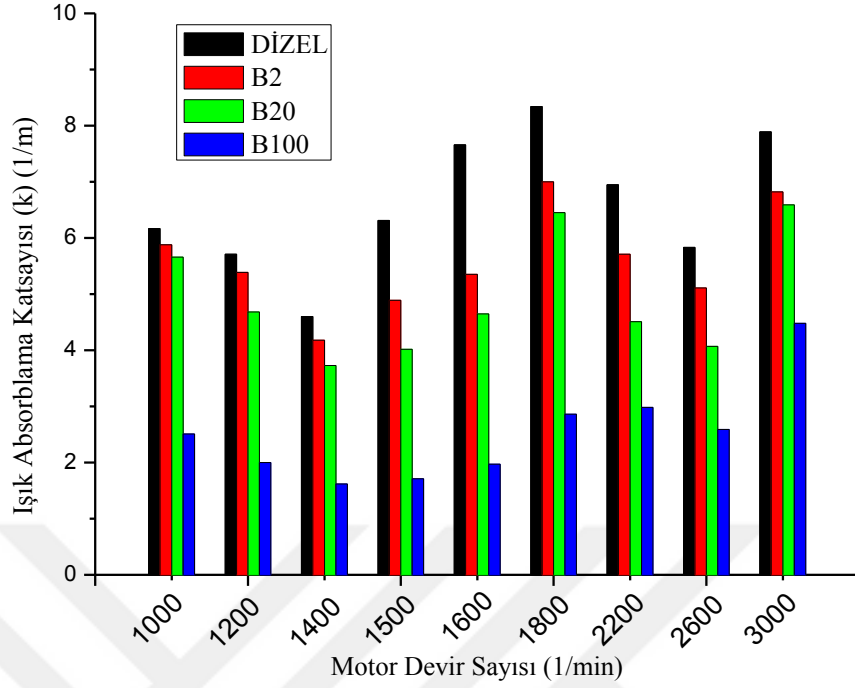
B2, B20 ve B100 yakıtlarının NO<sub>x</sub> emisyonları incelendiğinde (Şekil 4.27) dizel yakıtına göre sırasıyla ortalama %10.83, %16.54 ve %32.79 oranlarında artışlar meydana gelmiştir. Dhar ve ark. [66] çalışmalarında B100 yakıtının dizel yakıtına göre %52 ve Kivevele [73] çalışmasında B100 yakıtının dizel yakıtına göre NO<sub>x</sub> emisyonunda %11 artış tespit etmişlerdir.



**Şekil 4.27.** Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak NO<sub>x</sub> Emisyon Değerlerinin Değişimi

#### 4.5.7.5. Duman Koyuluğu

TSE 11365 standardına göre, duman koyuluğu egzoz gazı içerisinde bulunan ve şeffaf olmayan parçacıkların, gazdan geçen ışığın aydınlatma şiddetini yani aydınlanan birim yüzey için ışık akısını azaltma yüzdesidir. Tam şeffaf gaz için duman koyuluğu %0 iken ışığı tamamen absorbe eden gaz için duman koyuluğu %100'dür. Yapılan ölçümlerde farklı motor devir sayılarında elde edilen duman koyulukları Şekil 4.28'de verilmiştir. Ölçümler neticesinde biyodizel karışım oranını artırılmasıyla duman koyuluğunun azaldığı gözlemlenmiştir. B2, B20 ve B100 yakıtlarının duman koyulukları incelendiğinde dizel yakıtına göre sırasıyla ortalama %14.66, %25.03 ve %61.99 oranlarında azalmalar meydana gelmiştir.

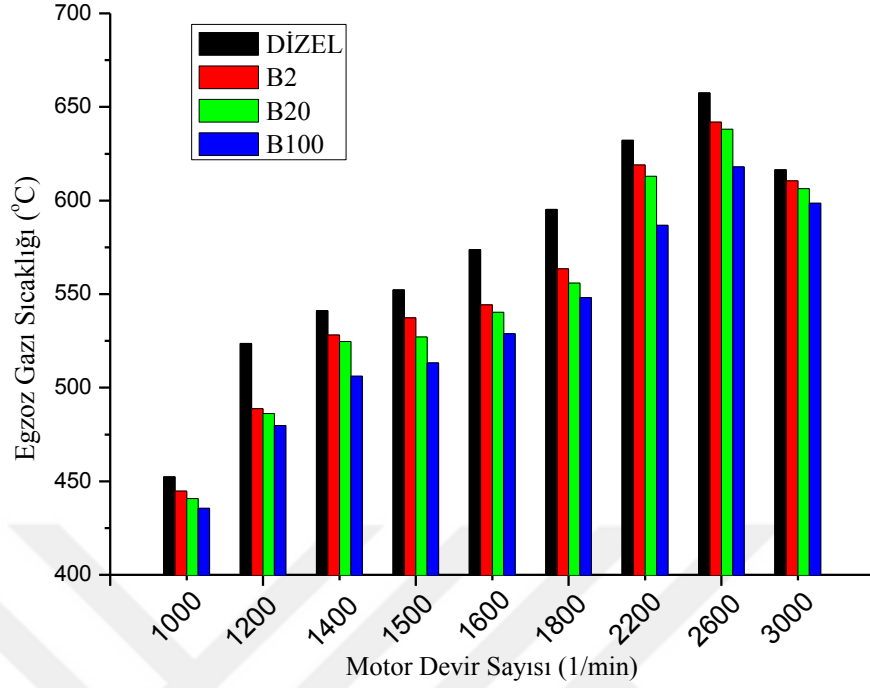


**Şekil 4.28.** Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak Işık Absorblama Katsayısı Değerlerinin Değişimi

#### 4.5.7.6. Egzoz Gazı Sıcaklığı

Dizel ve karışım yakıtların farklı motor devir sayılarında elde edilen egzoz gazı sıcaklıkları Şekil 4.29'da verilmiştir. Yapılan ölçümlerde tüm devirlerde en yüksekten en düşüğe doğru sıcaklıklar sırasıyla dizel, B2, B20 ve B100 yakıtlarında elde edilmiştir. B2, B20 ve B100 yakıtlarının egzoz gazı sıcaklıkları incelendiğinde dizel yakıtına göre sırasıyla ortalama %3.26, %4.16 ve %6.39 oranlarında azalmalar meydana gelmiştir. Aydın ve Bayındır'ın [62], ve Subbaiah ve ark.'nın [74] çalışmalarında da B100 yakıtının dizel yakıtına göre egzoz gazı sıcaklığını %15.8 ve %6.93 oranlarında düşürdüğü görülmüştür.

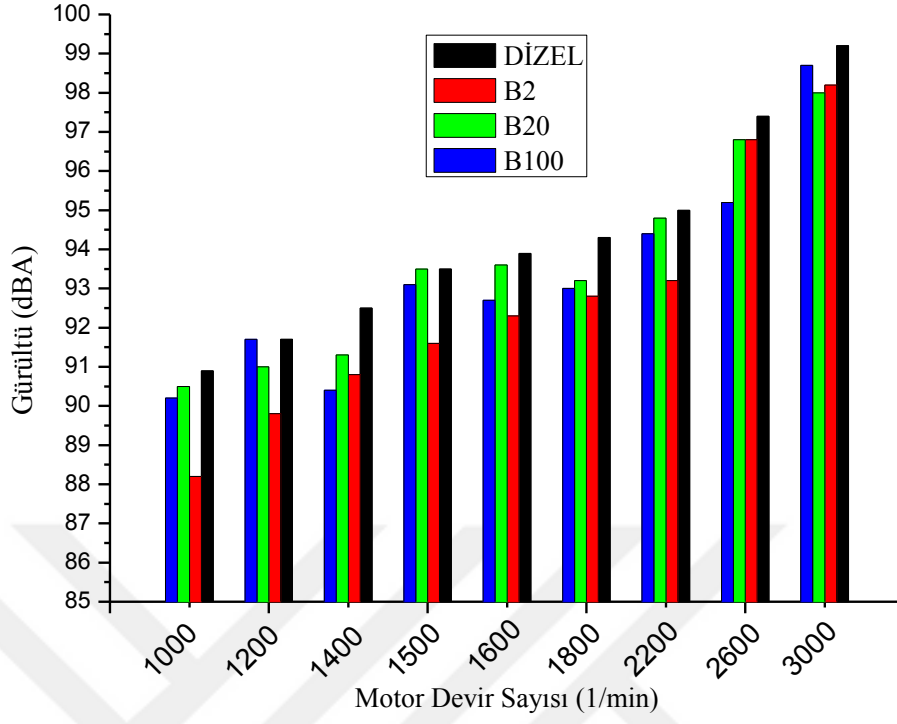




**Şekil 4.29.** Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak Egzoz Gazı Sıcaklığı Değerlerinin Değişimi

#### 4.5.7.7. Gürültü Değerleri

Dizel ve karışım yakıtların farklı motor devir sayılarında elde edilen gürültü değerleri Şekil 4.30'da verilmiştir. Bu Şekil incelendiğinde, yüksek devirlerde motor gürültüsünün arttığı, en yüksek gürültü değerinin dizel yakıtında görüldüğü ve biyodizel kullanımı ile gürültü değerinin düştüğü tespit edilmiştir. Genel olarak B2 yakıtının gürültü seviyeleri tüm yakıtlardan düşük çıktığı görülmüştür.



**Şekil 4.30.** Dizel ve Karışım Yakıtlarının Motor Devir Sayısına Bağlı Olarak Gürültü Değerlerinin Değişimi

## 5. SONUÇLAR

Biyodizel bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilen petrol kökenli dizel yakıtına alternatif bir yakıttır. Yenilenebilir olmaları yanında dizel motorlardan kaynaklı egzoz emisyon parametrelerinde önemli düzeyde azalma sağlamaktadırlar.

Bu tez çalışmasında tavuk yağından metil alkol ve NaOH katalizörü kullanılarak transesterifikasyon yöntemi ile tavuk yağı biyodizeli üretilmiştir. Üretim parametrelerinin optimizasyonu sonucunda en yüksek biyodizel verimi %94.9 ile 0.5 g NaOH, %20 metil alkol/yağ oranı, 60°C reaksiyon sıcaklığı, 60 dakika reaksiyon süresi ve 1000 1/min karıştırma hızında elde edilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen tavuk yağı biyodizeli dizel yakıtıyla %2 ve %20 oranlarında karıştırılarak B2 ve B20 yakıtları elde edilmiştir. B100 yakıtının yakıt özellikleri standartlar ile karşılaştırıldığında asit sayısı ve kinematik viskozite değeri standartların üzerinde çıkmıştır.

Hazırlanan tüm yakıt örnekleri ağızları kapalı metal, plastik ve cam kaplarda, ışısız ortamda, 4 ve 25 °C sıcaklıklarda 6 ay süre ile depolanmış ve 2 aylık periyotlarla yakıt özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen bulgular sonucunda yakıtların renk ve parlama noktası gibi özelliklerinde önemli bir değişiklik olmamasına karşın yoğunluk, kinematik viskozite, ısıl değer, bulutlanma noktası, akma noktası, soğuk filtre tıkanma noktası, donma noktası ve pH gibi özelliklerinde bazı değişiklikler olduğu gözlenmiştir.

B100, B20 ve B2 yakıtları su soğutmalı, tek silindirli, direk enjeksiyonlu ve dört zamanlı bir dizel motorda denenerek performans ve emisyon değerleri bakımından dizel yakıtıyla karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, 1600-2600 1/min motor devir sayısı aralığında emisyon değerlerinin azaldığı belirlenmiştir. Her üç yakıt örneğinin dizel yakıtla karşılaştırıldığı motor performans ve egzoz emisyon ölçüm sonuçlarına göre, biyodizel egzoz emisyonlarında genel olarak iyileşme görülmüştür.

Egzoz gazında CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, duman koyuluğu ve gürültü emisyonları ölçümleri sonucunda gürültü, CO, CO<sub>2</sub> ve duman koyuluğu dizel yakıtına göre

azalma gösterirken  $\text{NO}_x$  emisyonlarında artışlar meydana gelmiştir. Biyodizelin yapısında bulunan oksijen içeriğinin yüksek olması doğal olarak  $\text{O}_2$  emisyonlarında bir miktar artışa neden olmuştur.

Motor performans ölçütlerine göre karşılaştırma yapılırsa, maksimum dönme momenti için en yüksek değer, B2 yakıtında 1400 1/min'de 34.42 Nm iken, dizel yakıtında 1400 1/min'de 33.86 Nm, B20 yakıtında 1500 1/min'de 33.29 Nm ve B100 yakıtında ise 1400 1/min'de 31.49 Nm bulunmuştur. Özgül yakıt tüketimi değerleri incelendiğinde en düşük değerler 1500 1/min'de B100 yakıtında 244.413 g/kWh, B2 yakıtında 265.589 g/kwh, dizel yakıtında 279.610 g/kWh ve B20 yakıtında 289.024 g/kWh olarak bulunmuştur. Motor termik verimleri karşılaştırıldığında ise en yüksek değerler 1500 1/min'de B100 yakıtında %36.4, B2 yakıtında %30.5, B20 yakıtında %28.3 ve dizel yakıtında %28.2 olarak bulunmuştur.

Elde edilen sonuçlar tavuk yağından üretilen biyodizelin dizel yakıtına benzer özellikler gösterdiği, fakat bazı yakıt özelliklerinin standartları karşılamadığı için karışım yakıt olarak kullanılması daha uygundur. B2 ve B20 yakıtların motorda hiçbir değişiklik yapılmadan kullanılabilceği motor performans ve egzoz emisyon değerleri açısından kısa süreli denemeler ile ortaya konmuştur.

Tavuk eti üretim sektörünün büyümesi, gelecekte tavuk yağından biyodizel üretimini rantabil duruma getirecektir. Bu nedenle sonraki çalışmalarda tavuk yağından biyodizel üretim veriminin artırılması, yakıt özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik araştırmalar yapılmalıdır. Ayrıca uzun süreli deneysel çalışmalar ile motor performans ve emisyon ölçümleri yapılarak biyodizel kullanımının motor malzemeleri üzerine etkileri araştırılmalıdır.

## KAYNAKLAR

1. Öztürk, H. H., (2008). Yenilenebilir enerji kaynakları ve kullanımı. Teknik Yayın Evi Mühendislik-Mimarlık Yayınları.
2. Oğuz, H. ve Ögüt, H., (2001). Tarım Traktörlerinde Bitkisel Kökenli Yağ ve Yakıt Kullanımı. Selçuk Teknik Online Dergisi, Volume 2, Number:2, Konya. ISSN: 1302 -6178
3. Anonim, (2015). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyodizel.aspx> (Erişim Tarihi:29.12.2015)
4. Şahin, S., (2013). Keten Yağı Biyodizelinin ve Motorinle Karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
5. Anonim, (2012). Türkiye Petrol ve Petrol Ürünleri Sanayi Meclisi Sektör Raporu. TOBB Yayınları, TOBB Yayın Sıra No:2013/206. ISBN:978-605-137-322-5.
6. Acar, M., (2014). EPDK'nın Biyoyakıt Harmanlama Kararları. Enerji Tarımı ve Biyoyakıtlar 4. Ulusal Çalıştayı, s.189-193, 28-29 Mayıs, Samsun.
7. Eryılmaz, T., Yeşilyurt, M. K., Cesur, C. ve Eroğlu, M. C., (2013). Yozgat İli Biyodizel Amaçlı Yağlı Tohumlu Bitki Üretim Potansiyeli. 28. Ulusal Tarımsal Mekanizasyon Kongresi, 4-6 Eylül, s. 219-230, Konya.
8. Anonim, (2014). Türkiye İstatistik Kurumu. Bitkisel Üretim İstatistikleri. [www.tuik.gov.tr](http://www.tuik.gov.tr) (Erişim Tarihi:13.05.2014)
9. Anonim, (2016). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü. <http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyoetanol.aspx> (Erişim Tarihi:24.01.2016)
10. Başoğlu, F., (2012). Yemelik Yağ Teknolojisi. Dora Yayınları, Düzeltilmiş 3. Baskı, Ekim, Bursa. ISBN:978-605-4485-65-9.
11. Anonim, 2014. Animal Fats for Biodiesel Production. <http://articles.extension.org/pages/30256/animal-fats-for-biodiesel-production#Introduction>(Erişim Tarihi:28.12.2015)
12. Çılgin, E., (2011). Menengiç (*Pistacia Terebinthus* L.) Yağının Bir Dizel Motorunda Kullanılabilirliğinin Deneysel Ararştırılması. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Otomotiv Programı, Yüksek Lisans Tezi, Elazığ.

13. Şen, S., (2012). Hayvansal Yağlardan Biyodizel Üretimi Ve Dizel Motor Performans Ve Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Karabük.
14. Karabaş, H., (2009). Tütün Tohumu Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılma İmkanlarının Araştırılması, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Sakarya.
15. Kaya, A., (2007). Kızartma Atığı Yağlarından Süperkritik Alkol Transesterifikasyon Yöntemi ile Biyodizel Elde Edilmesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
16. Demirbaş, A., (2002). Biodiesel From Vegetable Oils Via Transesterification In Supercritical Methanol. Energy Conversion And Management, 43:2349-2356.
17. Altuntaş, A., (2006). Hardal Yağı Biyodizelinde Depolama Süresi ve Şartlarının Yakıt Özellikleri Üzerindeki Etkisinin Araştırılması. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
18. Eryılmaz, T., (2009). Hardal Yağı Biyodizelinde Farklı Karışım Oranlarının Dizel Motorlarda Performansa Etkisi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Konya.
19. Anonim, (2005). TS EN 14213. Isıtma Yakıtları-Yağ Asidi Metil Esterleri (YAME)-Gerekler ve Deney Yöntemleri. Ankara.
20. Anonim, (2009). TS EN 14214. Otomotiv Yakıtları-Yağ Asidi Metil Esterleri (YAME/BİYODİZEL)-Dizel Motorlar İçin-Özellikler ve Deney Yöntemleri. Ankara.
21. Anonim, (2005). TS 3082 EN 590. Otomotiv Yakıtları-Dizel (Motorin)-Gerekler ve Deney yöntemleri. Ankara.
22. Tyson, K. S., (2001). Biodiesel Handling and Use Guide. National Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-580-30004, September.
23. Ögüt, H. ve Oğuz, H., (2006). Üçüncü Milenyum Yakıtı Biyodizel. Nobel Yayın Dağıtım, Nobel Yayın No: 745, Fen ve Biyoloji Yayınları Dizisi: 33, ISBN 975-591-730-6, Ankara.
24. Oğuz, H., (1998). Diesel Yakıtı Ayçiçek Yağı Karışımlarının Diesel Motorlarında Yakıt Olarak Kullanılma İmkanlarının Araştırılması. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Konya.

25. Thompson, J. C., Peterson, C. L., Reece, D. L. ve Beck, S. M., (1998). Two-Year Storage Study With Methyl and Ethyl Esters of Rapeseed. *Trans. ASAE* 41:931-939.
26. Fröhlich, A., (1999). Storage Stabilities of Fuel Grade Camelina, Sunflower and Rapeseed Methyl Esters. *Teagasc*, 19 Sandymount Avenue, ISBN 1 84170 092 4, December, Dublin, 1-17.
27. Mittelbach, M. ve Gangl, S., (2001). Long Storage Stability of Biodiesel Made from Rapeseed and Used Frying Oil. *JAOCS*, Vol. 78, No. 6, pp. 573-577.
28. Oğuz, H., (2004). Tarım Kesiminde Yaygın Olarak Kullanılan Dizel Motorlarında Fındık Yağı Biyodizelinin Yakıt Olarak Kullanım İmkanlarının İncelenmesi. . Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makineleri Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, Konya.
29. Fedai, Ö., (2006). Transesterifikasyon ile Kanola Yağı Metil Esteri Sentezinin Optimizasyonu. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
30. Leung, D. Y. C., Koo, B. C. P. ve Guo, Y., (2006). Degradation of Biodiesel Under Different Storage Conditions. *Bioresource Technology*, 97, 250-256.
31. Bouaid, A., Martinez, M. ve Aracil, J., (2007). Long Storage Stability of Biodiesel From Vegetable and Used Frying Oils. *Fuel*, 86, 2596-2602.
32. Karaca, E. ve Aytaç, S., (2007). Yağ Bitkilerinde Yağ Asitleri Kompozisyonu Üzerine Etki Eden Faktörler. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 22(1), 123-131.
33. Oğuz, H., Öğüt, H. ve Eryılmaz, T., (2007). Investigation of Biodiesel Production, Quaility and Performance in Turkey. *Energy Sources, Part A*, 29:1529-1535.
34. Karabulut, A. F., (2008). Pamuk Yağından Biyodizel Üretiminin Optimizasyonu. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
35. Bora, D. K., Das, L. M. ve Babu, M. K. G., (2009). Storage Stability of Mahua Oil Methyl Ester. *Journal of Scientific and Industrial Research*, Vol. 68, 149-152.
36. Das, L. M., Bora, D. K., Pradhan, S., Naik, M. K. ve Naik, S. N., (2009). Long-Term Storage Stability of Biodiesel Produced From Karanja Oil. *Fuel*, 88 (11), 2315-2318.
37. Jham, G. N., Moser, B. N., Shah, S. N., Holser, R. A., Dhingra, O. D., Vaughn, S. F., Berhow, M. A., Winkler-Moser, J. K., Isbell, T. A., Holloway, R. K., Walter, E. L., Natalino, R., Anderson, J. C. ve Stelly, D.

- M., (2009). Wild Brazilian Mustard (*Brassica Juncea* L.) Seed Oil Methyl Esters as Biodiesel Fuel. *JAACS*, 86:917-926.
38. Patil, P. D. ve Deng, S., (2009). Optimization of Biodiesel Production From Edible and Non-Edible Vegetable Oils. *Fuel*, 88:1302-1306.
  39. Fan, X., Burton, R. ve Austic, G., (2010). Conversion of Degummed Soybean Oil to Biodiesel: Optimization of Degumming Methods and Evaluation of Fuel Properties. *International Journal of Green Energy*, 7:593-599.
  40. Hoda, N., (2010). Optimization of Biodiesel Production From Cottonseed Oil by Transesterification Using NaOH and Methanol. *Energy Sources, Part A*, 32:434-441.
  41. Kafadar A. B. (2010). Yağlardan Biyodizel Eldesine Etki Eden Faktörlerin Araştırılması. Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Diyarbakır.
  42. Gandhi, B. S. ve Chelladurai, S. S., (2013). Process Optimization for Biodiesel Synthesis From *Jatropha Curcas* Oil. *Distributed Generation and Alternative Energy Journal*, Vol. 26, No. 4, 6-16.
  43. Kovacs, S., Pölcsmann, GY. ve Hancsok, J., (2011). Investigation of Storage Stability of Biodiesel. *Hungarian Journal of Industrial Chemistry*, Vol. 39(3), 369-373.
  44. Moser, B. R., (2011). Influence of Extended Storage On Fuel Properties of Methyl Esters Prepared From Canola, Palm, Soybean and Sunflower Oils. *Renewable Energy*, 36, 1221-1226.
  45. Eryılmaz, T., Bacak, S. ve Özrahat, E., (2012). Comparison of Some Fuel Properties of Biodiesels Produced from Vegetable Oils. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 29(2): 1073-1082.
  46. Mumtaz, M. W., Adnan, A. Mahmood, Z., Mukhtar, H., Malik, M. F., Qureshi, F. A. ve Raza, A., (2012). Biodiesel From Waste Cooking Oil: Optimization of Production and Monitoring of Exhaust Emission Levels From Its Combustion In a Diesel Engine. *International Journal of Green Energy*, 9:685-701.
  47. Ndana, M., Garba, B., Hassan, L. G. ve Faruk, U. Z., (2012). Effect of Storage on Stability of Biodiesel Produced From Selected Seed Oils. *International Journal of Pure Applied Sciences and Technology*, 13(1), 10-18.
  48. Reşitoğlu, İ. A., Keskin, A. ve Gürü, M., (2012). The Optimization of the Esterification Reaction in Biodiesel Production From Trap Grease. *Energy*



Sources, Part A, 34:1238-1248.

49. Uzun, B. B., Kılıç, M., Özbay, M., Pütün, A. E. ve Pütün, E., (2012). Biodiesel Production From Waste Frying Oils: Optimization of Reaction Parameters and Determination of Fuel Properties. *Energy*, 44:347-351.
50. Wang, R., Zhou, W. W., Milford, M. A. Zhang, Y. P., Bhadury, P. S., Wang, Y., Song, B. A. ve Yang, S., (2012). Biodiesel Preparation, Optimization, and Fuel Properties From Non-Edible Feedstock, *Datura stramonium* L.. *Fuel*, 91:182-186.
51. Ahmad, M., Zafar, M., Rashid, S., Sultana, S., Sadia, H. ve Khan, M. A., (2013). Production of Methyl Ester (Biodiesel) From Four Plant Species of Brassicaceae: Optimization of the Transesterification Process. *International Journal of Green Energy*, 10:362-369.
52. Fadhil, A.B. (2013). Optimization of Transesterification Parameters of Melon Seed Oil. .. *International Journal of Green Energy*, 10:763-774.
53. Khan, M. A., Shrivastava, N., (2013). Investigation of Storage Potential of Different Biodiesel and Their Blends. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, Vol. 3, Issue 6, Nov-Dec, 3695-3699.
54. Mazumdar, P., Borugadda, V. B., Goud, V. V. ve Sahoo, L., (2013). Effect of Storage Parameters on Stability of Jatropha-Derived Biodiesel. *International Journal and Environmental Engineering*, 4:13, 1-9.
55. Sadia, H., Ahmad, M., Zafar, M., Sultana, S., Azam, A. ve Khan, M.A., (2013). Variables Effecting The Optimization of Non Edible Wild Safflower Oil Biodiesel Using Alkali Catalyzed Transesterification. *International Journal of Green Energy*, 10:53-62.
56. Eryılmaz, T., Yeşilyurt, M. K., Cesur, C., Yumak, H., Aydın, E., Çelik, S. A. ve Yıldız, A. K., (2014). Yozgat İli Şartlarında Yetiştirilen Aspir (*Carthamus tinctorius* L.) Dinçer Çeşidinden Üretilen Biyodizel Yakıt Özelliklerinin Belirlenmesi. *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 31(1), 63-72.
57. Sultana, S., Khalid, A., Ahmad, M., Zuhairi, A.A., Teong, L.K., Zafar, M. ve Hassan, F., (2014). The Production, Optimization and Characterization of Biodiesel from a Novel Source: *Sinapis alba* L.. *International Journal of Green Energy*, 11:280-291.
58. Farahani, M., Turingia, M. P., Tucker, B. D. ve Page, D. J. Y. S., (2009). Storage Stability of Biodiesel and Ultralow Sulfur Diesel Fuel Blends. *Journal of Energy Resources Technology*, 131(4), 6 pages.
59. Sugözü, İ., Eryılmaz, T., Örs, İ. ve Solmaz, Ö., (2011). Biodiesel Production From Animal Fat-Palm Oil Blend and Performance Analysis of Its Effects On A Single Cylinder Diesel Engine. *Energy Education Science and*

Technology Part A:Energy Science and Research, 28(1):505-514.

60. Alptekin, E. ve Çanakçı, M., (2011). Hayvansal Kökenli Yağlardan Biyodizel Üretimi. VI. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 1:398-405, Kayseri.
61. Eryılmaz, T., (2012). Investigation of Temperature Dependent Kinematic Viscosity Variations of Animal Fat Methyl Ester and Its blends. Energy Education Science and Technology Part A:Energy Science and Research, 28(2), 1191-1198.
62. Aydın, H. ve Bayındır, H., (2010). Performance and Emission Analysis of Cottonseed Oil Methyl Ester in a Diesel Engine. Renewable Energy 35:588-592.
63. Büyükkaya, E., (2010). Effects of Biodiesel on a DI Diesel Engine Performance, Emission and Combustion Characteristics. Fuel 89:3099-3105.
64. Öner, C. ve Altun, Ş., (2009). Biodiesel Production From Inedible Animal Tallow and an Experimental Investigation of Its Use as Alternative Fuel in a Direct Injection Diesel Engine. Applied Energy 86:2114-2120.
65. Özgün, A.K., (2014). Atık Kızartma Yağı ve Nötralize Atık Kızartma Yağından Üretilen Biyodizel ve Karışımlarının Motor Performans ve Egzoz Emisyonlarının Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Yozgat.
66. Dhar, A., Kevin, R. ve Agarwal A.K., (2012). Production of Biodiesel From High-FFA Neem Oil and Its Performance, Emission and Combustion Characterization in a Single Cylinder DICI Engine. Fuel Processing Technology 97:118-129.
67. Saleh, H.E., (2009). Effects of Exhaust Gas Recirculation on Deisel Engine Nitrogen Oxide Reduction Operating with Jojoba Methyl Ester. Renewable Energy 34:2178-2186.
68. Sureshkumar, K., Velraj, R. ve Ganasan, R., (2008). Performance and Exhaust Emission Characteristics of a CI Engine Fueled with Pongamia Pinnata Methyl Ester (PPME) and Its Blends with Diesel. Renewable Energy 33:2294-2302.
69. Swaminathan, C. ve Sarangan, J., (2012). Performance and Exhaust Emission Characteristics of a CI Engine Fueled with Biodiesel (Fish Oil) with DEE as Additive. Biomass and Bioenergy, 39:168-174.
70. Behçet, R., (2011). Performance and Emission Study of Waste Anchovy Fish Biodiesel in a Diesel Engine. Fuel Processing Technology 92:1187-1194.

71. An, H., Yang, W.M., Chou, S.K. ve Chua, K.J., (2012). Combustion and Emissions Characteristics of Diesel Engine Fueled by Biodiesel at Partial Load Conditions. *Applied Energy*, 99:363-371.
72. Rizwanul Fattah, I.M., Kalam M.A., Masjuki, H.H. ve Wakil, M.A., (2014). Biodiesel Production, Characterization, Engine Performance and Emission Characteristics of Malay-sian Alexandrian Laurel Oil. *RSC Advances* 4(34):17787-17796.
73. Kivevele, T.T., Kristof, L., Bereczky, A. ve Mbarawa, M.M., (2011). Engine Performance, Exhaust Emission and Combustion Characteristics of a CI Engine Fueled with Croton Megalocarpus Methyl Ester with Antioxidant. *Fuel*, 90(8):2782-2789.
74. Subbaiah, G.V., Gopal, K.R., Hussain, S.A., Prasad, B.D. ve Reddy, K.T., (2010). Rice Bran Oil Biodiesel as an Additive in Diesel-Ethanol Blends for Diesel Engines. *Internation Journal of Research and Reviews in Applied Sciences*, 3(3):334-342.

## ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında İzmir’de doğan Bilal YUMAK; ilk, orta ve lise öğrenimini sırasıyla Zeve İlköğretim Okulu, Özel Serhat Koleji ve Özel Serhat Fen Lisesi'nde tamamlamıştır. 2009 yılında kazandığı Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünü 2013 yılında bitirmiştir.

2013 yılında yüksek lisans eğitimine Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında başlamıştır. Yrd. Doç.Dr. Tanzer ERYILMAZ danışmanlığında Tez çalışmasına devam etmektedir.

### İletişim Bilgileri

Adres: Fatih Mah. Adnan Menderes Bulv. Panaroma Evleri A Blok Kat:3 D:12

66100 Merkez/YOZGAT

Telefon:(507) 487 4914

E-posta: byumak@hotmail.com