



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ÇAY YAĞI METİL ESTERİNİN FARKLI KARIŞIM ORANLARI VE
ENJEKSİYON BASINÇLARINDAKİ DİZEL MOTOR PERFORMANSI,
EGZOS VE GÜRÜLTÜ EMİSYONLARININ ARAŞTIRILMASI**

Sena ÇALIŞKAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

**Temmuz-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Sena ÇALIŞKAN

12/07/2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çay Yağı Metil Esterinin Farklı Karışım Oranları ve Enjeksiyon Basınçlarındaki Dizel Motor Performansı, Egzoz ve Gürültü Emisyonlarının Araştırılması

Sena ÇALIŞKAN

NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN

2021, 77 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN

Prof. Dr. Murat CİNİVİZ

Dr. Öğr. Üyesi Atıf Emre DEMET

Bu çalışmada, çay tohumundan elde edilen yağ, çay yağı metil esterine (ÇYME) dönüştürülmüştür. Çay yağı metil esteri dizel yakıtı ile belli oranlarda hacimsel olarak karıştırılarak (D₁₀₀, B₁₀₀, B₅₀D₅₀ ve B₂₀D₈₀) deney yakıtları elde edilmiştir. Deney yakıtlarının yakıt özellikleri belirlenerek, dizel motorda denemelerde motor her yakıt ile tam yük altında çalıştırılmış ve motorun 175 kg/cm² ve 200 kg/cm² enjektör basınçlarındaki motor momenti, motor gücü, özgül yakıt tüketimi, egzoz ve gürültü emisyonları karakteristiklerine ulaşılmıştır. Kullanılan yakıtlar arasında en yüksek motor momenti 200 kg/cm² enjektör basıncı çalışma durumunda 1100 d/d D₁₀₀ yakıtında 54.570 Nm, maksimum motor gücü 200 kg/cm² enjektör basıncı çalışma durumunda 1900 d/d'de B₂₀D₈₀ yakıtında 9.556 kW olarak ve minimum özgül yakıt tüketimi ise 175 kg/cm² enjektör basıncındaki çalışma durumu için, 1400 d/d'de B₅₀D₅₀ yakıtında 344.512 g/kWh olarak ölçülmüştür. Deney motorunun egzoz çıkış borusundan gaz analiz cihazı ile egzoz emisyon değerleri (CO, HC, CO₂, O₂ ve NO_x) alınmıştır. CO emisyonları; B₅₀D₅₀, B₂₀D₈₀ ve B₁₀₀ yakıtında D₁₀₀ yakıtına göre daha az çıkmıştır. Bunun sebebi biyodizel yakıtının içeriğinde bulunan oksijenden dolayı yanma esnasında karbon monoksiti oksitleyerek karbon dioksit dönüştürmesidir. HC emisyonları; B₅₀D₅₀, B₂₀D₈₀ ve B₁₀₀ yakıtında D₁₀₀ yakıtına göre daha fazla çıkmıştır. Motorun düşük devirlerinde yakıt tutuşma sıcaklığı da düşük olduğu için hidrokarbon emisyonları artış eğilimindedir. Motorun yüksek devirlerinde ise fakir karışım meydana gelmekte ve yanma kötüleştiği için hidrokarbon emisyonları artmaktadır. CO₂ emisyonları; B₅₀D₅₀, B₂₀D₈₀ ve B₁₀₀ yakıtında D₁₀₀ yakıtına göre daha fazla çıkmıştır. Karışım yakıtları ve biyodizelin karbondioksit emisyonunun motorin yakıtına göre yüksek çıkmasının nedeni, biyodizelde bulunan oksijenden dolayı hava fazlalık katsayılarının motorin yakıtına göre yüksek olmasıdır. O₂ emisyonları, B₅₀D₅₀, B₂₀D₈₀ ve B₁₀₀ yakıtında D₁₀₀ yakıtına göre daha az çıkmıştır. Çizelge 3.6'da de görüldüğü gibi D₁₀₀ yakıtının diğer deney yakıtlarına göre yoğunluk değerinin az olması sebebiyle, yanma odasında daha fazla yer kaplamasından ve giren hava miktarının azalmasından dolayı D₁₀₀ yakıtının O₂ emisyon değeri diğer yakıtlara göre daha düşük motor devirlerinde daha az çıkmıştır. Motordevri yükseldikçe karışım yakıtlarındaki biyodizel oranından dolayı oksijen içeriği yanma verimini artırmıştır. NO_x emisyonları; B₅₀D₅₀, B₂₀D₈₀ ve B₁₀₀ yakıtında D₁₀₀ yakıtına göre daha fazla çıkmıştır. Artışın sebebi, karışım yakıtlarında olan oksijen zengin dolgu havasının emisyon miktarını artırmasıdır. Gürültü emisyonu değerleri incelendiğinde D₁₀₀ yakıtı kullanımında meydana gelen emisyon değerlerinin diğer deney yakıtlarına göre motorun düşük çalışma devirlerinde daha fazla gürültü çıkardığı, ancak yüksek motor devirlerine ise daha az gürültü çıkardığı sonucuna varılmıştır. Bunun sebebi biyodizelin ve karışım yakıtlarının viskozite değerinin D₁₀₀ yakıtına göre daha fazla olmasıdır. Düşük devirlerdeki azalma ise biyodizelin yağlayıcı özelliği sayesinde sönümlenme sağlamasından kaynaklanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Çay yağı metil esteri, Egzoz emisyonları, Gürültü emisyonları, Motor performansı, Transessterifikasyon,

ABSTRACT

MS THESIS

Investigation of Diesel Engine Performance, Exhaust and Noise Emissions at Different Mixture Ratio and Injection Pressure of Tea Oil Methyl Ester

Sena ÇALIŞKAN

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ENERGY SYSTEMS ENGINEERING**

Advisor: Dr. Fatih AYDIN

2021, 77 Pages

Jury

Dr. Fatih AYDIN

Prof. Dr. Murat CİNİVİZ

Dr. Atif Emre DEMET

In this study, the oil obtained from tea seed was converted into tea oil methyl ester (TOME). Experimental fuels were obtained by mixing tea oil methyl ester with diesel fuel in certain proportions volumetrically (D₁₀₀, B₁₀₀, B₅₀D₅₀ and B₂₀D₈₀). By determining the fuel properties of the experimental fuels, the engine was operated under full load with each fuel in the tests in the diesel engine, and the engine torque, engine power, specific fuel consumption, exhaust and noise emission characteristics of the engine at 175 kg/cm² and 200 kg/cm² injector pressures were obtained. Among the fuels used, the highest engine torque was 54.570 Nm at 200 kg/cm² injector pressure at 1100 rpm in D₁₀₀ fuel, maximum engine power was 9.556 kW at 200 kg/cm² injector pressure in B₂₀D₈₀ fuel at 1900 rpm, and the minimum specific fuel consumption was measured as 344.512 g/kWh in B₅₀D₅₀ fuel at 1400 rpm for the operating condition at 175 kg/cm² injector pressure. Exhaust emission values (CO, HC, CO₂, O₂ and NO_x) were taken from the exhaust outlet pipe of the test engine with a gas analyzer. CO emissions were lower in B₅₀D₅₀, B₂₀D₈₀ and B₁₀₀ fuel compared to D₁₀₀ fuel. The reason for this is that it oxidizes carbon monoxide during combustion and turns it into carbon dioxide due to the oxygen contained in the biodiesel fuel. HC emissions were higher in B₅₀D₅₀, B₂₀D₈₀ and B₁₀₀ fuel compared to D₁₀₀ fuel. Hydrocarbon emissions tend to increase as the fuel ignition temperature is low at low engine speeds. At high engine speeds, a lean mixture occurs and hydrocarbon emissions increase as combustion gets worse. CO₂ emissions were higher in B₅₀D₅₀, B₂₀D₈₀ and B₁₀₀ fuel compared to D₁₀₀ fuel. The reason why the carbon dioxide emission of the mixture fuels and biodiesel is higher than the diesel fuel is that the excess air coefficients are higher than the diesel fuel due to the oxygen contained in biodiesel. O₂ emissions were lower in B₅₀D₅₀, B₂₀D₈₀ ve B₁₀₀ fuel compared to D₁₀₀ fuel. As can be seen in Table 3.6, the O₂ emission value of D₁₀₀ fuel was lower at lower engine speeds compared to other fuels since D₁₀₀ fuel occupies more space in the combustion chamber and the amount of air entering is reduced due to its low density compared to the other test fuels. As the engine speed increased, the oxygen content increased the combustion efficiency due to the biodiesel ratio in the mixture fuels. NO_x emissions were higher in B₅₀D₅₀, B₂₀D₈₀ and B₁₀₀ fuel compared to D₁₀₀ fuel. The reason for the increase is that the oxygen-rich air in the mixture fuels increases the emission amount. When the noise emission values are examined, it is concluded that the emission values in the use of D₁₀₀ fuel make more noise at low operating speeds of the engine compared to other experimental fuels, but less noise at high engine speeds. The reason for this is that the viscosity value of biodiesel and mixture fuels is higher than that of D₁₀₀ fuel. The decrease in low speed is due to the damping of biodiesel thanks to its lubricating property.

Key Words: Engine performance, Exhaust emissions, Noise emissions, Tea oil methyl ester, Transessterification,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans programında hazırlanmıştır.

Çalışmada çay tohumundan elde edilen yağdan transesterifikasyon yöntemi ile üretilen biyodizelin dizel motor için farklı enjektör basınçlarındaki motor performansı, egzoz ve gürültü emisyonlarına etkileri araştırılmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle faydalı olabilmek için elinden gelenin fazlasını sunan, her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen kıymetli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tezin deney aşamasında bilgi ve tecrübelerini her an benimle paylaşan Prof. Dr. Hidayet OĞUZ hocama sonsuz teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bana hiçbir zaman maddi ve manevi desteğini esirgemeyen değerli aileme sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Çay tohumlarının teminini sağlayan Rize ili Hemşin ilçesi Bilenköy muhtarı Sayın Ramiz ŞALVARCI'ya, tohumlardan yağ elde etmemizi sağlayan Konya ili Ilgın ilçesinde bulunan Esen Ayçiçek Yağ firması sahibi Hasan ESEN'e ve tohumların temizlenme aşamasında desteklerini esirgemeyen arkadaşlarım Fatma NAZLI, Zeynep Bengüsu TUĞRUL ve Zehra ÜNLÜ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Dünya’da ve Türkiye’de Çay ve Çay Tohumu Yağı Değerlendirilmesi	3
1.1.1. Çay bitkisi, tohumu ve yağı.....	5
1.2. Biyodizel	7
1.2.1. Biyodizel üretim yöntemleri.....	8
1.3. Biyodizel Özellikleri.....	11
1.3.1. Biyodizel standartları	11
1.3.2. Biyodizel yakıtların kimyasal yapıları ve özellikleri.....	12
1.3.3. Yağların yağ asidi konsantrasyonunun biyodizel üzerindeki etkileri.....	15
1.3.4. Yağ asidi konsantrasyonunun biyodizel karakteristiği üzerindeki etkisi.....	16
1.4. Biyodizelin Avantaj ve Dezavantajları	16
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	18
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	25
3.1 Materyal	25
3.1.1. Araştırmada kullanılan alet ve cihazlar.....	27
3.1.2. Araştırmada kullanılan kimyasal maddeler	38
3.2. Yöntem.....	39
3.2.1. Çay tohumu temini ve yağ eldesi.....	40
3.2.2. Çay tohumu yağından metil ester üretim aşamaları.....	40
3.2.3. Yakıt karışım oranları	42
3.2.4. Motor denemeleri.....	42
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	50
4.1. Motor Performans Deney Sonuçları	50
4.1.1. Moment değerlerinin karşılaştırılması	50
4.1.2. Güç değerlerinin karşılaştırılması.....	51
4.1.3. Özgül yakıt değerlerinin karşılaştırılması	52
4.2. Motor Egzoz Emisyon Deney Sonuçları.....	54
4.2.1. Karbon monoksit (CO) egzoz emisyon değerleri	54
4.2.2. Karbon dioksit (CO ₂) egzoz emisyon değerleri.....	55
4.2.3. Hidrokarbon (HC) egzoz emisyon değerleri	56
4.2.4. Oksijen (O ₂) değerleri	58
4.2.5. Azotoksit (NO _x) egzoz emisyon değerleri.....	59
4.3. Motor Gürültü Emisyon Deney Sonuçları	61

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	65
5.1 Sonuçlar	65
5.2 Öneriler	69
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

SİMGELER VE KISALTMALAR

\$: A.B.D. Doları
%	: Yüzde
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
B ₁₀	: % 10 Biyodizel + % 90 Euro Diesel
B ₁₀₀	: % 100 Çay Yağı Metil Esteri
B ₁₅	: % 15 Biyodizel + % 85 Euro Diesel
B ₂₀	: % 20 Biyodizel + % 80 Euro Diesel
B ₂₀ D ₈₀	: % 20 ÇYME + % 80 Euro Diesel
B ₅	: % 5 Biyodizel + % 95 Euro Diesel
B ₅₀ D ₅₀	: % 50 ÇYME + % 50 Euro Diesel
B ₆₀	: % 60 Biyodizel + % 40 Euro Diesel
B ₈₀	: % 80 Biyodizel + % 20 Euro Diesel
BDE	: Biyodizel-Dizel-Etanol
BTE	: Fren Termal Verimliliği
cm	: Santimetre
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksitler
CRDI	: Common Rail Direkt Enjeksiyon
ÇYME	: Çay Yağı Metil Esteri
DIN	: Alman Standardizasyon Enstitüsü
DME	: Dimetil Eter
D ₁₀₀	: % 100 Euro Diesel
DOE	: Deney Tasarımı
DTBP	: Di-Tert-Butil Peroksit
EPDK	: Enerji Piyasası Denetleme Kurulu
FAO	: Food and Agriculture Organization of the United Nations
g	: Gram
HC	: Hidrokarbon
HCl	: Hidroklorikasit
HF	: Hidroflorikasit
IP	: Enjeksiyon Basıncı
ISO	: International Organization for Standardization

IT	: Enjeksiyon Zamanlamasının
kg	: Kilogram
KOH	: Potasyum Hidroksit
kW	: Kilo Watt
kWh	: Kilo Watt Saat
l	: Litre
m	: Metre
m ³	: Metre küp
Mg	: Miligram
mm	: Milimetre
mm ²	: Milimetre Kare
nm	: Nanometre
NO _x	: Azotoksitler
O ₂	: Oksijen
°C	: Santigrat Derece
PM	: Partikül Madde
Psi	: İnç kareye pound cinsinden uygulanan kuvvet
RME	: Mineral Dizel Yakıtı
rpm	: Dakikadaki Devir Sayısı
s	: Saniye
SCG	: Kullanılmış Kahve Telvesi
SFTN	: Soğukta Filtre Tıkanma Noktası
SLME	: Domuz yağı metil esteri
SO _x	: Kükürtoksitler
TOME	: Tea Oil Methyl Ester
TLME	: Hindi Yağı Metil Esteri
TS EN 14214:2012+A2	: Dizel Motorlar İçin Yağ Asidi Metil Esterleri
TS EN 590:2013+A1	: Otomotiv Yakıtları – Dizel (Motorin)
ULSD	: Ultra Düşük Sülfür Dizeli

1. GİRİŞ

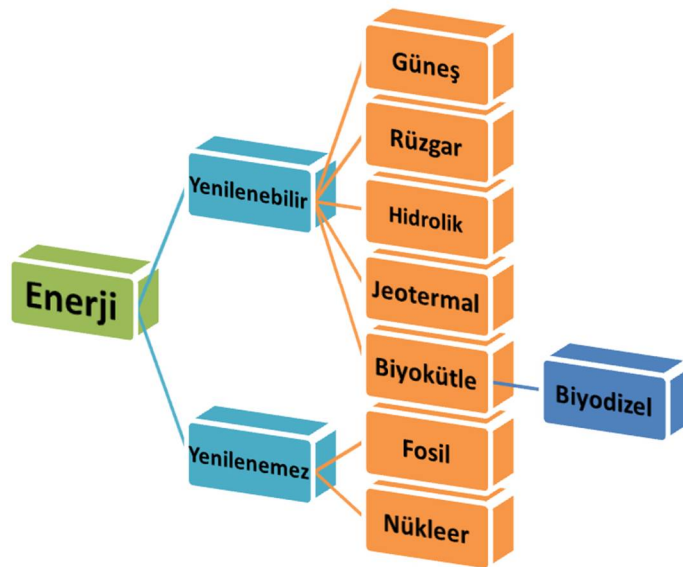
Hidrolik enerji ve nükleer dışında dünyada ki enerji ihtiyacının büyük bir kısmı doğal gaz, petrol, kömür gibi fosil kaynaklı enerji kaynaklarından karşılanmaktadır (Akgün, et al., 2009).

Dünya çapında fosil yakıt tüketiminin ekonomik ve çevresel etkilerinin üstesinden gelmek ve en iyi alternatif yakıtları bulmak için birçok çalışma yapılmıştır (Hajjari, et al., 2017).

İnsanoğlunun enerji talebi arttıkça alternatif enerji kaynağı bulma çabası da artmıştır. Biyodizelin petrodizel'e alternatif olan yenilenebilir bir yakıt olarak kullanılması yeni enerji kaynağı arayışında önemli bir geçiş stratejisi olarak görülmektedir (Monterio et al., 2018).

Toksik biriktirmeyen, petrol dizeline kıyasla düşük emisyon değerine sahip yakıtlar çevre, tarım ve ekonomik kalkınma arasında bir denge kurulmasını sağlayacaktır. Fosil yakıtlara alternatif olarak bitki kökenli yağlardan türetilen bu yakıtlar biyodizel olarak adlandırılmaktadır (Meher, et al., 2006).

Şekil 1.1'de görüldüğü gibi biyokütle içerisinde yer alan biyodizel, dizel motorlarda kullanılabilen sıvı veya katı halde hayvansal ve bitkisel yağlar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen yakıt seçeneğidir. Kimyasal olarak, tek bir gliserol molekülüne ester bağlanmış üç uzun zincirli yağ asidinin trigliserid molekülleri olarak tanımlanabilir (Alptekin ve Çanakçı, 2006).



Şekil 1.1. Yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları (Öğüt ve Oğuz, 2006)

Biyodizel, bitkisel kökenli yağlar dışında hayvansal ve atık yemeklik yağlardan üretilerek dizel motorlarda doğrudan kullanılabilmesi gibi petrol kökenli dizel yakıtlar ile karışım oluşturularak da kullanılabilir (Erdoğan, 2019).

Günümüzde benzin ve dizel yakıtına alternatif olarak üretilen yakıtlar etanol ve biyodizeldir. Biyodizel üretimi, özellikle 2000'li yıllardan sonra dünyada ve ülkemizde hız kazanmıştır. Biyodizel, tarımsal sanayinin güçlenmesini sağlar ve kırsal alandan göçü azaltır, tarımsal ürünlerden ve atıklardan üretilir, tarımsal üretimde çeşitliliği sağlayarak döngüsel ekonomi olumlu katkıda bulunması ve sürdürülebilir tarımsal yapı oluşturması, çiftçinin üretimine süreklilik kazandırması, yağ bitkileri tarımını yaygınlaştırması aynı zamanda evsel yağ açığının kapatılmasına destek olması, ekim nöbetinin yaygınlaştırılarak toprak verimliliğinin artırılması gibi özellikleri içinde barındırmaktadır (Fidan ve Alkan, 2014).

Ülkemizde ve dünyada atıl durumda olan çay tohumlarının ekonomiye kazandırılması için çay tohumundan elde edilen yağın uygun yöntemlerle biyodizel üretilerek ekonomiye kazandırılmasının mümkün olduğu yapılan araştırmalarla gözlenmiştir (Aydın and Caliskan, 2020).

Araştırmacılar, özellikle biyodizel üretimi için yenilebilir olmayan yeni hammaddeler aramaktadırlar (Serin et, al., 2013). Çay tohumu yağı, yenmeyen bir hammadde olarak biyodizel konuları hakkında çeşitli çalışmaları olmasına rağmen, ayrıntılı olarak araştırılmamıştır. Çay tohumu yağı biyodizeli, kendi başına bitkisel yağlardan üretilen biyodizelden önemli ölçüde farklı değildir. Çay çekirdeği biyodizel üretimi için potansiyel bir hammadDEDİR ve dizel yakıtı oldukça benzer özelliklere sahiptir (Serin and Yıldızhan, 2018). Çay tohumu yağı, farklı bitkisel yağlara göre daha düşük akma noktası, düşük viskoziteli ve ton başına 514 \$ ortalama fiyat ile en ucuz bitkisel yağ hammaddelerinden biridir (Serin and Yücel Akar, 2014).

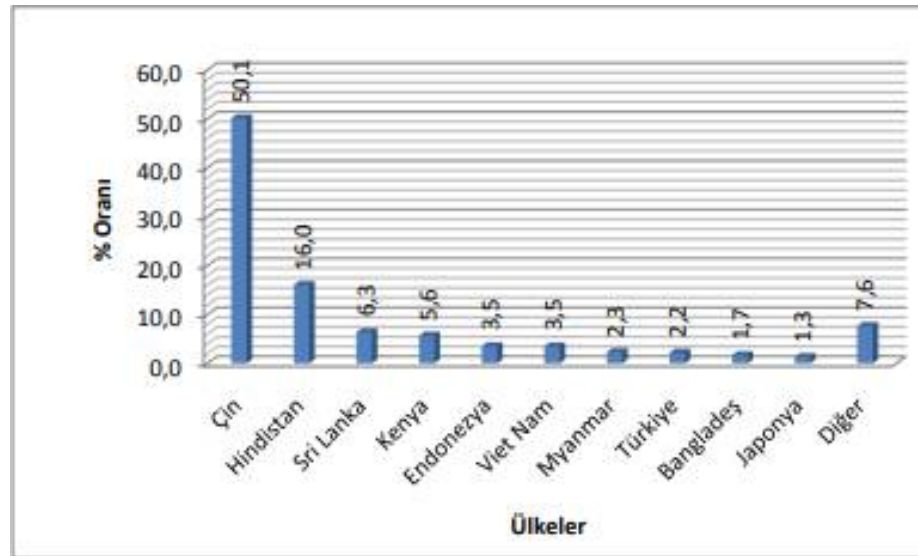
Ülkemizde Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) tarafından 16 Haziran 2017 yılında hazırlanarak 1 Ocak 2018 tarihinden itibaren yürürlüğe giren "Motorin Türlerine Biodizel Harmanlanması Hakkında Tebliğ" ile petrol türevli dizel yakıtlara binde 5 oranında yerli tarım ürünlerinden ve bitkisel atık yağlardan üretilmiş biyodizel ilave etme zorunluluğu getirilmiştir (EPDK, 2017).

29.03.2019 tarih 30729 sayılı resmi gazete ile motorin türlerine biodizel harmanlanması hakkında tebliğde değişiklik yapılmış ve takvim yılında asgari 500 m³ biodizelin harmanlamış olması zorunlu getirilmiştir.

1.1. Dünya’da ve Türkiye’de Çay ve Çay Tohumu Yağı Değerlendirilmesi

FAO’ ya göre dünyada 48 ülkede çay tarımı yapılmaktadır. Bu ülkelerin 21 tanesi Afrika kıtasında, 18 tanesi Asya kıtasında, 7 tanesi Amerika kıtasında, 1 tanesi Avrupa kıtasında ve 1 tanesi de Avustralya kıtasında yer almaktadır. Dünyada en fazla çaylık alan Çin’de bulunmaktadır. Çin’in sahip olduğu çaylık alan miktarı 17.635.000 dekar olup bu dünyadaki tüm çaylık alanların % 50,1’ini oluşturmaktadır. Dünyada en çok çay üreten ilk on ülkenin sahip olduğu toplam çaylık alan miktarı 32.516.110 dekadır. En çok çaylık alana sahip bu on ülkenin çaylık alanlarının, toplam çaylık alanına oranı ise % 92’dir. Asya kıtasındaki çaylık alanların toplam 31.299.410 dekadır. Asya’da en fazla çaylık alana sahip ilk üç ülke ve bu ülkelerin çaylık alanlarının Asya kıtasındaki toplam çaylık alanlarına göre % oranları; Çin % 56,34, Hindistan % 18,01 ve Sri Lanka % 7,09 şeklindedir (Türkyılmaz, 2015).

Dünyada çay üreten ilk on ülkenin sahip oldukları çaylık alanların toplam çaylık alanlarına göre % oranları şekil 1.2’de gösterilmektedir (Türkyılmaz, 2015).



Şekil 1.2. Dünyada çay üreten ilk 10 ülkenin çaylık alanlarının toplam çaylık alanlara göre % oranı (Türkyılmaz, 2015)

Dünyada çay üreten 48 ülkenin isimleri bu ülkelerdeki çaylık alanları gösteren bilgiler Çizelge 1.1.’de gösterilmektedir. Çizelge1.1’e göre Türkiye, dünyadaki çay üreten en fazla çaylık alanların sıralamasında sekizinci ülkedir (Türkyılmaz, 2015).

Ülkemizde çay üretimi Doğu Karadeniz Bölgesi’nde, Gürcistan sınırından başlayarak Ordu’daki Fatsa ilçesine kadar uygulanmaktadır. Bu bölgede çay üretimi ağırlıklı olarak Rize, Ordu, Giresun ve Trabzon’da bulunmaktadır. Ancak dört iklimi

hissedebildiğimiz ülkemizde çay tarlaları dört ile altı ay kadar nadasa bırakılmaktadır. Türk çay sektörünün en büyük avantajı, böcek ilacının kullanılmamasıdır. Türkiye'nin kuzey doğusundaki Rize ilinde kar yağdığı için zararlı etkenleri doğal yollarla azaltmaktadır. Bunun sonucunda herhangi bir böcek ilacı kullanmaya gerek yoktur. Bu özelliğinden dolayı Türk çayı, dünyadaki diğer çaylara kıyasla “en doğal çay” özelliğine sahiptir (Seyis et al., 2019).

Çizelge 1.1. Dünyadaki çay üreten ülkeler (Türkyılmaz, 2015)

Sıra	Ülke	Alanı (dekar)	Sıra	Ülke	Alanı (dekar)
1	Çin	17.635.000	25	Papua Yeni Gine	30.000
2	Hindistan	5.639.800	26	Malezya	27.110
3	Sri Lanka	2.219.690	27	Laos	27.100
4	Kenya	1.986.000	28	Güney Kore	25.000
5	Endonezya	1.224.000	29	Peru	22.290
6	Viet Nam	1.216.491	30	Kamerun	20.000
7	Myanmar	799.000	31	Ekvator	8.000
8	Türkiye	759.129	32	Mauritus	6.720
9	Bangladeş	583.000	33	Güney Afrika Cum.	6.500
10	Japonya	454.000	34	Zambiya	6.500
11	Arjantin	380.000	35	Madagaskar	6.000
12	Uganda	280.000	36	Reunion	5.350
13	Malavi	256.000	37	Guatemala	5.000
14	İran	245.000	38	Azerbaycan	4.730
15	Tayland	215.000	39	Rusya	4.560
16	Tanzanya	214.070	40	Brezilya	3.720
17	Nepal	190.360	41	Bolivya	2.639
18	Ruvanda	153.000	42	El Salvador	2.500
19	Mozambik	140.000	43	Panama	2.200
20	Zimbabve	96.000	44	Montenegro	1.250
21	Etopya	95.000	45	Mali	1.180
22	Burundi	91.340	46	Şeyseller	900
23	Kongo	80.000	47	Kolombiya	520
24	Gürcistan	35.000	48	Portekiz (Azor)	430
TOPLAM					35.207.079

Çay tohumu yağı Çin, Hindistan, Sri Lanka, Endonezya ve Japonya'da, yemeklik bir yağ olarak kabul görmüş olup, yılda binlerce ton üretim yapılmaktadır. Japonya ve Çin'de, *Camellia sasanqua*, *Camellia oleifera* ve *Camellia japonica* türleri içerdikleri yüksek orandaki yağ nedeniyle, çay tohumu yağı üretmek amacıyla yetiştirilmektedirler. Türkiye'de çay bitkisi ile ilgili durum diğer ülkelere göre farklılık göstermektedir. Ülkemizdeki, mevcut çay bahçelerindeki çay tohumlarının ekonomiye hiçbir katkısı yoktur. Yüksek yerlerdeki arazilerde kurulan çaylıklardaki tohum verimi taban araziye göre daha yüksek olduğundan dolayı, çay bitkisi arazilerini içimlik ve yağlık olmak üzere ikiye ayırmak uygundur. Ülkemizdeki, çay tohumlarının miktarı ile ilgili istatistiksel bir çalışma yapılmamıştır (İlhan, 2007).

1.1.1. Çay bitkisi, tohumu ve yağı

Çay bitkisi doğada büyümeye bırakıldığı zaman bir ağaç görünümü alır. Gelişme yüksekliği türlere göre farklılıklar gösterir. Çay bitkisi yaprağını dökmeyen bir bitkidir. Yeterli düzeyde sıcaklık ve nemin bulunduğu yerlerde yıl boyu sürgün oluşumu sürer. Yeterli düzeyde sıcaklık ve nemin bulunmadığı yerlerde, soğuk mevsimlerde, sürgün oluşumu duraklar, yaprak ve tomurcuklarda gelişme olmaz. Sürgün döneminde yağmurun bol ve sıcaklığın yeterli olması gerekir, aksi takdirde bitki beklenen sürgünü veremez, gelişme önemli ölçüde geriler ve dolayısı ile ürün miktarı önemli ölçüde azalır. Çay bitkisinde yaprak genel olarak geniş elips şeklindedir. Yaprak kenarları dişlidir. Tiplere göre değişiklik göstermek üzere yaprak rengi mat ya da parlaktır. Çay bitkisinin çiçeği beyaz renklidir. Çiçek tohumlarının oluşması ve açması, çay yapraklarında aroma maddelerinin birikmesine yol açar. Bu nedenle bu mevsimde alınan yapraklar nitelikli çay üretimi için ayrı bir önem taşır (Anonim, 2020). Çay bitkisi görseli Şekil 1.3'de verilmiştir.



Şekil 1.3. Çay Bitkisi (*Camellia sinensis*) (Anonim, 2019)

Ülkemizdeki, çay bitkisinin tohumlarındaki yağ miktarı % 25–30 arasında olup ‘*Camellia sinensis* x *Camellia assamica*’ melezinden üretimi yapılmaktadır. Bu türün yağ miktarı % 60-65 aralığında olan tohumu *Camellia japonica* ve *Camellia sasanqua*’dır. Çay tohumu, ağırlık olarak hafif ve şekil itibarıyla fındığa benzeyen ince kabuklu ve bir tarafı basıktır (Solak, 2015).



Şekil 1.4. Çay Tohumu

Çay bitkisinde, meyvelerin oluşması yaklaşık bir yılda tamamlanır. Meyveler olgunlaşmadan önce yeşil olup, kalın kabuklu, yaklaşık 2,5 cm çapında ve 1–4 bölmelidir (Şekil 1.4.). Meyve sapı kısadır. Meyvenin her bölümünde genellikle bir tohum oluşur. Meyve olgunlaştığı zaman tohumlar kahve renkli olur ve bölmeler açılarak tohumlar dökülür. Tohumlar genellikle 1–2 cm çapında küre ve yarı küre şeklindedir. Tohumların üzeri sert bir kabukla kaplıdır (İlhan, 2007).

Çay tohumu bitkisinden elde edilen çay tohumu yağının sağlık açısından kolesterolü düşürdüğü ve asitlik değerinin uygunluğuyla diğer yemeklik yağlara da alternatif olmuştur (Solak, 2015).

Çay tohumu, yararlanabilecek çok sayıda malzeme içerir. % 29–34 yağ içeriği, % 17-20 nişasta, % 11-15 saponin, % 10-16 protein ve % 10-14 lif bulundurur. Saponinler sürfaktif sterol veya triterpen glikozitlerdir ve çok çeşitli bitkilerde bulunur. Çay yaprakları gibi çeşitli kaynaklardan hazırlanan saponinler antimikrobiyal aktiviteye sahiptir. Çay tohumlarının kuru ağırlıklarının % 10'undan fazlasında çok miktarda saponin vardır. Çay tohumu yağı ayrıca antioksidanlar (E vitamini ve polifenol) gibi zengin besinler içerir (Demirbaş, 2010).

Saponinler fazla köpürdüğü için temizlik malzemeleri, tarım ilaçları, yangın söndürme köpükleri üretiminde ve aynı zamanda fotoğraf filmi yapımında kullanılmaktadır. Bu yüzden üretilen saponin çok değerli bir hammaddedir (Solak, 2015).

Çizelge 1.2. Türk çay tohumu bitkisi özellikleri (İlhan, 2007)

Özellik	1973 – 1974 Tohumları		1988 tohumları
	Ortalama Birleşimi	Alt ve üst değerler	
1000 tane ağırlığı, g	744	730 – 760	666.9
Ortalama Çap, mm	12.4	12.2 – 13.0	14.5
Tanede iç-kabuk oranı	69:31	69:3 – 70:30	66:34
Nem içeriği, %	5.9	5.1 – 8.6	8.8
Yağ içeriği, %	23.2	18.0 – 25.1	29.4
Protein, %	8.4	6.9 – 9.4	8.8
Kül, %	2.4	2.2 – 3.3	3.5
Ham lifler, %	26.9	26.6 – 27.8	-
Azotsuz ekstrakt, %	39.1	20.7 – 32.6	-

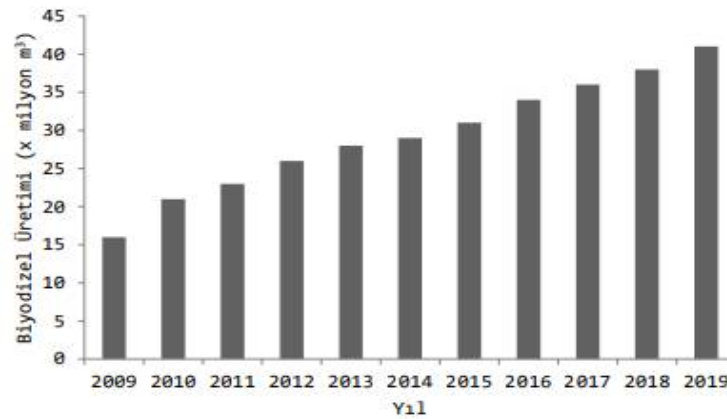
Çay bitkisinin tohum verme kabiliyeti yaşlandıkça artar. Gençleştirme budaması ve yaprak için toplama yapılmadığında çiçeklenmenin ve döllenenin olması sebebiyle tohum miktarı çok fazla olur. Türkiye’de 1973–1974 ve 1998 yılları hasadına ait çay tohumu özellikleri Çizelge 1.2’ de verilmiştir (İlhan, 2007).

1.2. Biyodizel

Biyodizel birçok yenilenebilir kaynaktan üretilebilir. Bunlar arasında babassu, kanola, crambe, hurma, yağlı tohum turp, ayçiçeği, jatropha, lupin, soya fasulyesi, yer fıstığı, hintyağı ve macaúba sayılabilir. Ayrıca hayvansal yağlar, yemek pişirme yağı ve fotosentetik alglerden de biyodizel üretimi mümkündür. Küresel biyodizel üretimi son yıllarda artmaktadır. Örneğin 2016 yılında 30.8 milyon m³ biyodizel üretimi

gerçekleşmiştir (Renewables, 2017). Küresel biyodizel üretim verileri şekil 1.5’de verilmiştir.

2023 yılında, biyodizel üretiminin % 54’ lük artışla 40 milyon liraya denk gelmesi beklenmektedir. Avrupa Birliği’nin açık ara en büyük biyodizel üreticisi ve kullanıcısı olması ve Arjantin, Amerika Birleşik Devletleri, Brezilya’nın yanı sıra Tayland ve Endonezya gibi ülkelerin, biyodizel piyasasına önderlik etmeye devam edeceği öngörülmektedir (Oecd-Fao, 2013).



Şekil 1.5. Küresel biyodizel üretimi verileri (Arabacı and Kılıç, 2019)

Biyodizel üretiminin birden çok hedef için kazandıran sonuçlar vermesine rağmen, durum çalışmaları, çiftlik görüşmeleri ve enerji çıkarları gibi belirli bileşenlerin desteğinin sağlanmasının büyük sosyal maliyetler çıkardığını göstermektedir (Naylor et al., 2017; Lopes et al., 2013).

Biyodizel’in küresel piyasadaki uzun vadede sürdürülebilirliğini teşvik etmek ve fosil dizel karşı daha rakabetçi olmasını sağlamak için hükümetin siyasi politikaları, sosyoekonomik teşvikleri ile daha duyarlı olması bekleniyor (Ng et al., 2010).

1.2.1. Biyodizel üretim yöntemleri

1.2.1.1. Mikro-emülsiyon

Mikro emülsiyon, termodinamik olarak kararlı, izotropik sıvı yağ, su ve yüzey aktif madde karışımları olarak tanımlanır; bu işlem, yağın viskozite ve diğer bazı atomizasyon özelliklerindeki sorunu çözecektir. Genellikle yağın uçucu özelliğini arttırmak için kullanılan alkol, dumanı azaltır. Alkil nitrat, setan sayısı iyileştirici olacaktır. Mikroemülsiyon işlemi ayrıca motora ağızlık ile enjekte edildiğinde iyi bir sprey özelliği elde etmek için kullanılır (Rajalingam et al., 2016).

1.2.1.2. Seyreltme yöntemi

Seyreltme yönteminde bitkisel yağlardan elde edilen biyodizele belli oranlarda dizel yakıt karıştırılarak elde edilen karışım yağının vizkozitesinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Genel olarak dizel yakıtta %20 oranında bitkisel yağ katılarak elde edilen B₂₀ yakıtı kullanılmaktadır. Karışım yağlarının performans değerlerinin dizel yakıtına yakınlık gösterdiğini ve maliyetinin dizel yakıtına göre daha düşük olduğunu saptanmıştır (Güler, 2008).

1.2.1.3. Piroliz yöntemi

Kimyasal bağların yüksek sıcaklığa sahip büyük moleküllerinin daha küçük moleküllere dönüşerek kırılması işlemidir. Bitkisel yağların piroliz sonuçları iki şekilde elde edilir. Birincisi, bitkisel yağa ısı vererek kapalı bir kaptaki parçalamak, ikincisi ise standart ASTM distilasyonu ile ısı parçalanma etkisinde tutmaktır (Hacıkadıroğlu, 2007). Piroliz işleminde sıvı ürün verimi reaksiyon hızına bağlıdır. Genellikle 450-650 °C gibi düşük sıcaklıklarda çok yüksek ısıtma hızları (1000-10000 °C/sn) ile kısa sürelerde gerçekleştirilen hızlı piroliz tekniğinde sıvı ürün verimi yüksektir (Öğüt ve Oğuz, 2006).

1.2.1.4. Süper kritik yöntem

Süper kritik yöntem metanol ile katalizör kullanılmadan yaklaşık 4 dakika süren transesterleşme işlemidir. Reaksiyon sırasında yüksek sıcaklık (350 - 400 °C) ve basınç (1200 psi) ihtiyaç duyulduğu için yüksek enerji ve üretim maliyeti dezavantaj oluşturmaktadır. Katalizör kullanılmadığı için atık su, asidik ve alkali madde bulunmaz bu sayede çevre dostu bir yöntemdir (Sağır, 2018).

1.2.1.5. Transesterifikasyon

Biyodizel, bitkisel yağlardan elde edilen, yağlardaki trigliserid dönüşümünden metil ester olarak transesterifikasyon yöntemiyle üretilir. Bitkisel yağlardan iki şekilde faydalanılır. Birincisi bitkisel yağları metanol veya etanol yardımıyla ısı ile parçalayıp esterleştirme yöntemi bir diğeri ise transesterifikasyon ile esterlerine dönüştürme işlemidir (Durmuş and Nacar Koçer, 2017). Şekil (1.6).

Çizelge 1.3. Kimyasal Yöntemlerle Üretilen Biyodizelin Karşılaştırılması (Özdemir and Mutlubaş, 2016)

Yöntem	Avantajı	Dezavantajı
Seyreltme	Doğal sıvı, yenilenebilir özellik, kullanıma hazır.	Yüksek derecede viskozite, düşük miktarda uçuculuk, doymamış hidrokarbonların aktifliği.
Mikro-emülsiyon	Yanma esnasında iyi derecede spreyleme, düşük viskozite.	Düşük miktarda enerji içeriği ve düşük setan sayısı.
Piroliz	Petrol kökenli olan dizel ve benzine kimyasal yönden benzerlik gösterir.	Maliyeti yüksektir.
Transesterifikasyon	Yüksek miktarda setan sayısı, yenilenebilir özellik, yüksek yanma verimi ve düşük miktarda emülsiyon içerir.	Biyodizelden suyun ve gliserinin ayrılması zordur.

1.3. Biyodizel Özellikleri

1.3.1. Biyodizel standartları

Biyodizel standardı çizelge 1.4'de verilmiştir.

Çizelge 1.4. Biyodizel Standardı (Anonim, 2021)

Özellik	Birim	En az	En çok	Test Metodu
Ester İçeriği	% (m/m)	96.5	-	EN 14103
Yoğunluk, 15 °C	Kg/m ³	860	900	EN ISO 12185
Kinematik viskozite, 40 °C	mm ² /s	3.50	5.00	EN ISO 3104
Parlama noktası	° C	120	-	prEN ISO 369
Setan sayısı		51	-	EN ISO 5165
Bakır şerit korozyonu	-	1		EN ISO 2160
Kükürt içeriği	mg/kg	-	10	prEN ISO 20846
Su İçeriği	mg/kg	-	500	EN ISO 12937
İyot değeri	g iyot/100 g	-	120	EN 14111
Metanol içeriği	% (m/m)	-	0.20	EN 14110
Monogliserit içeriği	% (m/m)	-	0.80	EN 14105
Diğliserid içeriği	% (m/m)	-	0.20	EN 14105
Trigiliserid içeriği	% (m/m)	-	0.20	EN 14105
Serbest gliserol	% (m/m)	-	0.02	EN 14105
Toplam gliserol	% (m/m)	-	0.25	EN 14105
Toplam kirlilik	mg / kg	-	24	EN 12662
Asit değeri	mg KOH/g	-	0.5	EN 14104
Karbon kalıntı	% (m/m)	-	0.30	EN ISO 10370

Biyodizellerin motorlarda kullanılabilmesi için özelliklerinin belirli standartları karşılaması gerekmektedir. Dizel yakıtları için kullanılan EN 590:2013+A1:2017 numaralı Avrupa standardı Türkiye için de geçerlidir. Bu standartta ester içeriği, yoğunluğu, kinematik vizkozitesi, parlama noktası, setan sayısı, bakır şerit korozyonu, kükürt içeriği, su içeriği, iyot değeri gibi birçok parametrik sınır şartı bulunmaktadır. Biyodizeller ile ilgili EN 14214:2012+A1:2014 sayılı Avrupa standardı Türkiye için de geçerlidir (Akgün et al., 2009).

1.3.2. Biyodizel yakıtların kimyasal yapıları ve özellikleri

Biyodizel, transesterifikasyon yönteminde kullanılan katalizöre göre bazik, asidik veya enzimatik olarak metanol veya etanol ile bitkisel veya hayvansal yağlardan elde edilebilir. Karbon atomları arasında çift bağ bulunmayan uzun zincirli yağ asitleri doymuş yağ asitleridir. Molekülünde bir veya daha fazla çift bağ bulunduran yağ asitlerine ise doymamış yağ denir. Trigliseritler, bitkisel ve hayvansal yağların ana bileşeni gliserol ve üç yağ asidinden oluşan bir esterdir. Doymuş ve doymamış yağ asitlerinin birleşiminden oluşan trigliseritlerin içeriğindeki yağ asitlerinin özellikleri yakıt karakteristiğini de etkileyebilmektedir (Arabacı and Kılıç, 2019). Çeşitli yağların yağ asidi konsantrasyonları çizelge 1.5’de verilmiştir.

Çizelge 1.5. Çeşitli yağların yağ asidi konsantrasyonu (Arabacı and Kılıç, 2019)

Örnek	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3
Pamuk Yağı	28.7	0	0.9	13.0	57.4	0
Aspir Yağı	7.3	0	1.9	13.6	77.2	0
Ayçiçek Yağı	6.4	0.1	2.9	17.7	72.9	0
Hint Yağı	1.1	0	3.1	4.9	1.3	0
Soya Yağı	11.9	0.3	4.1	23.2	54.2	6.3

1.3.2.1. Viskozite

Biyodizelin yüksek viskoziteye sahip olması esterleşme reaksiyonunun tamamlanmadığını gösterir. Yüksek vizkoziteye sahip biyodizel enjektörde tıkanmaya, yetersiz püskürtme ve silindir içinde kurumlaşmaya neden olur (Anonim, 2021).

1.3.2.2. Setan sayısı

Setan sayısı dizel yakıtın tutuşma kabiliyetini ifade eden bir yanma özelliğidir. Setan sayısının yüksek olması yakıtın tutuşma yatkınlığının da yüksek olduğunu gösterir. Bu özelliğinden dolayı tutuşma süresinin kısılması ve vuruntu eğiliminin düşük olması gibi avantajlar sağlar (Akgün, et al., 2009).

1.3.2.3. Kükürt içeriği

Bitkisel yağda kükürt beklenmez, ancak hayvansal yağda deri ve tüylerden kaynaklanan kükürt bulunabilir (Anonim, 2021).

1.3.2.4. Oksidasyon kararlılığı

Biyodizelin oksidasyonu bir diğer adıyla karartması sonucu organik asitler veya polimerler oluşarak metal ve alaşımlara etki ederler. Yüzeylerin aşınması, enjektör memesinin koklaşması gibi durumlar oluşan korozyonun dezavantajları arasında yer alıp kötü oluşabilecek sonuçlara karşı alüminyum ve paslanmaz çelik malzemeleri alternatif olarak gösterilebilir (Artukoğlu, B. D., 2006).

1.3.2.5. Parlama noktası

Parlama noktası, yakıtın üzerindeki buhar ve hava karışımının tutuşabilmesi için yakıtın ısıtılması gereken sıcaklığın bir ölçüsünü ifade eder. Karışımlarda dizel parlama noktası biyodizelden baskın çıkmaktadır. Biyodizel dizele kıyasla depolama, yangın tehlikesi, taşıma kolaylığı ve güvenliği bakımından çok daha güvenlidir (Sheehan et al., 1998).

1.3.2.6. Kalori değeri

Kalori değeri DIN 51900-3 standardına göre kalori değeri belirlenmektedir. Yakıt kalitesinin belirleyicisi ve motorun en uygun çalışması için önemli bir kriter olup biyodizel de 35 mj/kg'dan daha büyük değerdedir (Altınsoy, 2007).

1.3.2.7. Yoğunluk

Yağın türüne göre bitkisel yağların yoğunluklarının farklı olmasına rağmen 15 °C de 880-920 kg/m³ gelmektedir. Yoğunluk yakıtlar için önemli bir özelliktir ve fazla çıkması biyodizelden gliserinin yeterince uzaklaştırılmadığını gösterir. Sistemin akışı, enjeksiyon işlemi yoğunluktan etkilenmektedir (Akyarlı, et al., 2004).

1.3.2.8. İyot sayısı

İyot sayısı, yağın doymuşluk doymamışlık derecesi hakkında bilgi verir ve yağın özelliğine ve çift bağ sayısına göre değişmektedir. Yüksek iyot sayılı yakıtlar enjektör deliklerinde tıkanmalara veya yanma odasında hasar meydana gelmesine sebep olmaktadır (Altınsoy, 2007).

1.3.2.9. Karbon artığı

Karbon artığı numunenin buharlaşması ve termal bozulması sırasında oluşan karbonlu kalıntılar olup bu kalıntılar sadece karbondan oluşmayıp zamanla gerçekleşen bozunmalarla değişen koktur (Akyarlı, et al., 2004). Karbon kalıntısı enjektör deliklerinde veya yanma odasında karbon birikmesine sebep olmaktadır (Altınsoy, 2007).

1.3.2.10. Bulutlanma noktası

Soğuk iklim şartlarına kalan yakıtta küçük katı parçacıkların görüldüğü andır. Sıcaklık bu değerin üzerinde ise yakıt sorunsuz kullanılabilir eğer sıcaklık bu değerin altına düşerse filtre tıkanır (Öğüt ve Oğuz, 2006).

1.3.2.11. Akma noktası

Kristal kümeleşmesinin daha da büyüdüğü noktadır, yakıt jelleşmiştir ve akamaz duruma gelmiştir. Bu özellik kullanıcılardan daha çok yakıtın pompalanabilmesini ifade eden akaryakıt istasyonlarını ve dağıtıcıları için anlam taşır (Öğüt ve Oğuz, 2006).

Akma noktası yakıtın katılaşmadan önce hareket ettirilebileceği en düşük sıcaklığı tanımlamaktadır. Düşük sıcaklıklarda akma noktası yüksek olan yakıtların kullanımını kolaylaştırmak için elektrikli ısıtıcı benzeri sistemler ve uygun katkı maddeleri (anti-jel maddeleri) kullanımı gerekmektedir (Yüce, 2008).

1.3.2.12. Soğukta filtre tıkanma noktası

Bulutlanma noktasında oluşan kristallerin sıcaklığın daha da düşmesi ile kristallerin kümeleştiği noktadır. Bu durumda filtre tıkanır (Öğüt ve Oğuz, 2006).

1.3.2.13. Donma noktası

Soğuk havalarda yakıtların donma noktası sıcaklıklarının düşük olması motorların en iyi şekilde emniyetli çalışması için önemlidir (Karabaş, 2013).

Sıcaklık belli bir seviyeye düşmeye başlayınca kristalleşen yakıt molekülleri yakıt sistemini tıkayarak akışa engel olur. Bu sebeple yakıtların donma noktası ortamın sıcaklığından 5-10 °C daha düşük olması istenir (Reşitoğlu, 2010).

1.3.2.14. Bakır şerit korozyonu

Yakıtın bakır, pirinç, bronz malzemeler üzerinde bıraktığı aşındırma etkisinin bir göstergesidir. ASTM D 130'e göre yakıtın korozyon etkisini belirlemek için parlatılmış bakır şerit 3 saat süreyle 50 °C sıcaklıktaki yakıt içerisinde bekletilir. Daha sonra bakır şerit çözücü (solvent) ile yıkanarak yüzeydeki kararma ve aşınma miktarı karşılaştırma yöntemi ile sonuca varılır (Keskin, 2005).

1.3.2.15. Su içeriği

Yakıt içindeki su ve kalıntılar, yakıt pompası ve enjektörlerde korozyona sebep olurlar. Suyun fazla olması, yakıtın yanmasını olumsuz etkiler. EN 590 standartlarına göre dizel yakıtı için su ve tortu miktarı 200 mg/kg limit değerini aşmamalıdır (Reşitoğlu, 2010).

1.3.2.16. Isıl değer

Isıl değer, bir yakıtın birim kütesinin tam yanmasıyla çevreye verdiği ısıl enerjiye eşittir (Reşitoğlu, 2010).

Biyodizelin ısıl değerinin dizel yakıtı göre düşük olmasından dolayı efektif güçte azalma, özgül yakıt tüketiminde artış belirlenmiştir (Sekmen ve Aktaş, 2008).

1.3.3. Yağların yağ asidi konsantrasyonunun biyodizel üzerindeki etkileri

Biyodizelin yağ asidi özelliklerinin yağınki ile aynı olduğu bilinmektedir. Yapılan birçok çalışmada yağların yağ asidi içeriğinin biyodizel oluşumuyla değişmeden aynı kaldığı ifade edilmiştir. Yağların yağ asidi içeriğinin bulunulan coğrafyaya ve ekonomik koşullar sebebiyle aynı tür yağ için bile değişiklik gösterebileceği bilinmektedir. Transesterifikasyon reaksiyon süresi ve dönüşümü, reaksiyon sıcaklığı, alkol/yağ oranı, katalizör tipi ve konsantrasyonu, karıştırma hızı, reaktanların saflığı olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte saf yağ asitleri ile yapılan çalışmalarda yağ asitlerinin türü ve karakteristik özellikleri de reaksiyon süresini etkileyen diğer bir faktördür (Arabacı and Kılıç, 2019).

1.3.4. Yağ asidi konsantrasyonunun biyodizel karakteristiği üzerindeki etkisi

Trigliseridi oluşturan yağ asitlerinin derişiminin biyodizel özellikleri üzerinde etkileri literatürde araştırma yapılan konular arasındadır. Örneğin viskozitenin zincir uzunluğu ile arttığı, doymamışlık derecesinin azaldığı, yoğunluğun zincir uzunluğu ile azaldığı, çift bağ sayısı ile arttığı, setan sayısının doymamışlık derecesi ile azaldığı, zincir uzunluğu ile arttığı yapılan çalışmaların sonuçları arasındadır (Arabacı and Kılıç, 2019).

1.4. Biyodizelin Avantaj ve Dezavantajları

Avantajlar:

- Motorlarda yanma verimini biyodizel yakıtın fiziksel ve kimyasal özellikleri artırmaktadır.
- Biyodizel yakıt kullanıldığında CO ve SO_x emisyonlarında azalma meydana gelmektedir.
- Biyodizel-dizel yakıt karışımlarının dizel motorlarda kullanılmasıyla PM, HF, SO_x ve CO emisyonlarında azalma gözlemlenirken, HCl, C_xH_y ve NO_x emisyonlarında artma görülmektedir.
- Biyodizel yakıtı dizel motorlarda saf olarak kullanılabileceği gibi dizel yakıt ile belirli oranlarda karıştırılarak da kullanılabilir.
- Biyodizel çevreci, yenilenebilir ve alternatif bir enerji kaynağıdır.
- Dizel yakıt karışımlarında CO₂ salınımı görülmediği için sera etkisini ortadan kaldırır.
- Biyodizelin setan sayısı, dizel yakıtlardan fazla olduğu için depolanması ve taşınması güvenilirdir (Özdemir and Mutlubaş, 2016).

Dezavantajlar:

- Maksimum % 5'lik bir verim kaybına neden olurlar. Ancak aşırı yük gibi özel durumlarda belirlenebilmektedir.
- Tarımda yeterli ekim yapılmaması ve vergilerin artırılması, biyodizel üretim maliyetinin yüksek olmasına sebep olacaktır (Polat, 2011).
- Hammadde olarak kullanılan bitkisel yağların tohumlarının, ayırma işleminde tohum zarlarının çıkarılmaması nedeniyle egzoz borularında ve filtrelerinde tıkanmaya sebep olmaktadır.

- Doymamış yağ içeren bitkisel yağların yakıt olarak kullanılması yağlanma yapısına katılarak ortamda polimerizasyonu ve vizkoziteyi arttırıp motora zarar vermektedir.
- Biyodizel yakıtlar dizel yakıtlara kıyasla soğuk hava koşullarından kolay etkilenirler bu yüzden düşük bulutlanma noktasına sahiptirler. Isıl değeri de dizel yakıtlara göre düşük olduğu için motorda yanma sonucunda enerji kaybına sebep olurlar.
- Saf olarak biyodizel kullanımının motora zarar vererek parçaların değiştirilmesine gerek duyulduğu için ekonomik açıdan maliyeti yüksektir (Özdemir and Mutlubaş, 2016).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Serin ve diğerleri 2013, çalışmalarını dört silindirli, dört zamanlı, doğrudan enjeksiyonlu bir dizel motor üzerinde (B₁₀), (B₂₀) ve (B₁₀₀) yakıt karışımlarını test etmişlerdir. Sonuç olarak, yüksek viskozitesi nedeniyle çay tohumu yağının saf kullanım için motor enjeksiyon sistemi arızasına neden olabileceğinden dolayı önerilmediğini belirtmişlerdir. Çay tohumu yağından elde edilen biyodizelin önemli özelliğinin yaklaşık -5 °C' den düşük akma noktasına sahip olduğu sonucuna varmışlardır.

Serin ve diğerleri 2014, deneysel çalışmalarını dört silindirli, dört zamanlı ve direk enjeksiyonlu dizel motor üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Çay çekirdeği (% 20) - soya fasulyesi (% 20) - pamuk tohumu (% 20) - dizel (% 40) yakıt karışımının motor üzerinde kabul edilebilir yakıt özelliklerine (kinematik viskozite 3.9 mm²/s, setan sayısı 52.8, akma noktası -6°C) ulaştığını gözlemlemişlerdir. CO ve CO₂ emisyonları azaltılırken, karışımlardaki biyodizel içeriğinin artmasıyla NO_x emisyonlarının arttığı, dizel yakıt kullanımının biyodizel üçlüsü ile harmanlanarak % 40'a indirildiği sonucuna varmışlardır.

Serin ve Yücel Akar 2014, çay tohumu yağı biyodizeliyle çalışan dört silindirli, dört zamanlı, doğrudan enjeksiyonlu dizel motor üzerinde yapılan araştırmalarında, karışımdaki biyodizel içeriğindeki artışla birlikte gözlemlenen güç çıkışında bir düşüş olduğunu göstermiştir. Test yakıtlarındaki biyodizel miktarına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi (SFC) değerlerinin arttığını, CO ve CO₂ emisyonları azaltılırken, karışımdaki biyodizel içeriğinin artmasıyla NO_x emisyonlarının arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca, % 20' ye kadar hacimsel çay tohumu biyodizel içeriğinin kullanılması dizel motorlarda sadece performans özellikleri için değil, aynı zamanda çevresel özellikler için de en iyi alternatif yakıt karışımı olabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Çılgın 2015, transesterifikasyon yöntemi ile mikroalg yağdan elde edilen biyodizelin dizel yakıtıyla olan B₆₀ ve B₈₀ karışımlarının motor performansı ve egzoz emisyonlarının dizel yakıtına benzerlik gösterdiğini ve D₂ dizel yakıtının diğer mikroalg biyodizel karışımlarından daha yüksek motor moment değerler ürettiğini gözlemlemiştir. Özgül yakıt tüketiminin tüm devirlerde biyodizel karışımı yakıtlarda, dizel yakıtına göre daha fazla çıktığı ve B₆₀ yakıtı için yanmanın tam yanmaya daha yakın olması, dolayısıyla yanma sonu sıcaklıkların yüksek olması bu yakıt için NO_x emisyonunun yüksek çıktığı sonucuna varmıştır. Dizel yakıtın bütün devirlerde mikroalg biyodizel karışım yakıtlarından daha fazla CO emisyon değerleri ürettiğini incelemiştir. Ayrıca biyodizel karışımlarında metil ester oranı arttıkça O₂ miktarında artışlar meydana geldiğini ve

biyodizelin içerisinde oksijen mevcut olduğundan bütün devirlerde normal dizel yakıtından daha fazla oksijen salınımı gerçekleştiğini savunmuştur.

Arunprasad ve Balusamy 2018, deneysel çalışmalarını, karışık biyodizel (*Thevetia peruviana*, *Jatropha*, *Pongamia* ve *Azadirachta indica*) kullanılarak bilgisayarlı tek silindirli, dört zamanlı, doğrudan enjeksiyonlu dizel motorda enjeksiyon basıncı (IP) ve enjeksiyon zamanlamasının (IT) dizel motorların performans ve emisyon özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Araştırmalar sonucunda, fren termal verimliliğinin enjeksiyon basıncında % 2.4 ve maksimum yük için enjeksiyon zamanlamasında % 1.5 arttığını, ancak dizelden daha az olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, enjeksiyon basıncındaki ve enjeksiyon zamanlamasındaki artış dizelden daha fazla olduğundan frene bağlı yakıt tüketimini % 5,08 azalttığını gözlemlemişlerdir. Maksimum basınçta azot oksitler (NO_x) ve karbon dioksit (CO_2) emisyonlarında, enjeksiyon basıncı ve enjeksiyon zamanlaması artırılarak önemli bir artış gözlemlendiği sonucuna varmışlardır.

Duda ve diğerleri 2018, araştırmalarında, 2.6 litrelik, dört silindirli, turbo şarjlı ve ara soğutmalı bir sıkıştırma ateşlemeli, Common Rail doğrudan enjeksiyonlu dizel motor üzerinde, domuz yağı metil esteri (SLME), hindi yağı metil esteri (TLME) ve mineral dizel yakıtı karışımlarının (RME) performans ve emisyon değerlerini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, atık yağlı malzemedен yüksek kalitede yakıt elde edilebileceğini belirtmişlerdir. % 75'e kadar biyo-bileşen içeren karışımların modern Common Rail doğrudan enjeksiyonlu motorlar için uygun olduğunu, ancak motor performans parametrelerinde hafif bir bozulmanın beklenebileceğini savunmuşlardır. Biyoyakıt işletimi referans dizel ile karşılaştırıldığında egzoz gazı emisyonlarında önemli bir azalma gözlemlemişlerdir. Domuz yağı metil ester/dizel karışımı kullanılması, hidrokarbon konsantrasyonunun % 13, karbon monoksit (CO) % 22 ve karbon dioksit (CO_2) ortalama % 7 azalmasına neden olduğunu ve NO_x emisyonunun, her iki hayvan kaynaklı biyoyakıt için ortalama % 7 arttığı sonucuna varmışlardır.

Mohamed Musthafa ve diğerleri 2018, çalışmalarında indüksiyon akımı dinamometresi ile yüklenen tek silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı dizel motor kullanmışlardır. Üç farklı yakıtla (dizel, B₂₀ ve di-tert-butil peroksit katkılı B₂₀) çalışan dizel motorun performans ve emisyon özellikleri deneysel olarak araştırılmış ve DTBP'li B₂₀ yakıtın fren termal verimliliğinin dizel ve B₂₀ yakıtına göre farklı oranlarda arttığı, frene özgü enerji tüketiminin ise dizele ve B₂₀ yakıtına göre farklı oranlarda düştüğünü gözlemlemişlerdir. CO emisyonunun dizele göre önemli ölçüde, NO_x emisyonunun ise B₂₀ ve dizele oranla azaldığını belirtmişlerdir. DTBP (di-tert-butil peroksit) hacimce % 1

ilavesinin dizel motorun performansını ve emisyon özelliklerini geliştirmek için en iyi alternatif yakıtı sahip olduğunu öne sürmüşlerdir.

Radhakrishnan ve diğerleri 2018, çalışmalarında, dört zamanlı tek silindiri, doğal emişli, doğrudan enjeksiyonlu dizel motorda alümina nanoparçacıkların kaju fıstığı kabuğu biyodizelinin emisyon ve performans özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Geleneksel transesterifikasyon ile hazırlanan saf kaju fıstığı kabuğu biyodizelinin BD₁₀₀, alümina nanoparçacıkların eklenmesiyle modifiye transesterifikasyon ile hazırlanan biyodizeli BD_{100A} olarak adlandırmışlardır. Deneysel sonuçlarında, CO, HC, NO_x ve duman gibi emisyon parametrelerinin BD₁₀₀ için sırasıyla % 8,8, % 10,1, % 12,4 ve 18,4, B_{100A} dizel yakıtı göre % 5,3, % 7,4, % 10,23 ve % 16,1 azaldığını belirtmişlerdir. BD_{100A} ile BD₁₀₀ karşılaştırıldığında fren termal verimliliği düşerken, frene özgü yakıt tüketimi değerlerinde artış gözlemlendiğini savunmuşlardır.

Serin ve Yıldızhan 2018, kızdırma bujili direkt enjeksiyonlu dizel motor üzerindeki çalışmalarında motora dizel yakıt yerine dizel-çay tohumu yağı biyodizel karışımları (B₁₀ ve B₂₀) verildiğinde daha düşük tork ve daha yüksek fren özgül yakıt tüketimi verilerine ulaşmışlardır. Hidrojen zenginleştirmesinin (5 l/m ve 10 l/m), tüm test yakıtları için hem tork hem de frene özgü yakıt tüketimini iyileştirdiğini ve tüm test yakıtları için kimyasal yapıda karbon atomlarının bulunmaması nedeniyle CO ve CO₂ emisyonlarını azalttığını göstermişlerdir. Hidrojen ilavesinin en önemli dezavantajının artan NO_x emisyonları olduğu sonucuna varmışlardır.

Sulaiman ve diğerleri 2018, çalışmalarında, kullanılmış çaydan kostik potas (KOH) ekstrakte etmeyi ve katalizör miktarı, reaksiyon sıcaklığı ve metanol / yağ oranı gibi parametrelere dayalı transesterifikasyon işlemini optimize etmeyi amaçlamışlardır. Transesterifikasyon işlemi, ağırlıkça % 0.5 ila % 2.5 arasında değişen katalizör miktarının etkilerini incelemek için (DOE) deney tasarımı esas alınarak reaksiyon sıcaklığı 55 °C ila 65 °C ve metanol / yağ oranı 6:1 ila 12:1 arasında, 300 d/d sabit çalkalama hızında üç saat boyunca yapılmıştır. Sonuç olarak, üretilen kalsine edilmiş çayı ağırlıkça en yüksek % 54.3 ve ekstre edilen katalizörü ağırlıkça % 2.4 olarak kaydetmişlerdir. Kaydedilen optimize edilmiş biyodizel verimini, ağırlıkça % 2.5 katalizör, 65 °C reaksiyon sıcaklığı ve 9:1 metanol/yağ oranının optimal koşullarında % 56.95 olarak belirtmişlerdir.

Todaka ve diğerleri 2018, çalışmalarında, polar olmayan bir çözücü olarak n-heksan ve polar çözücüler olarak aseton ve 1-butanol kullanılarak ekstre edilen kullanılmış kahve telvesi (SCG) yağından biyodizel üretmişlerdir. Biyodizel oksidasyon stabilitesinin değerlendirilmesine ORAC yöntemi uygulamışlardır. Ayrıca, biyodizel ile

uyumluluk için biyodizellerin oksidasyon kararlılığını Rancimat yöntemi kullanarak ölçmüşlerdir. Polar çözücülerden ve polar olmayan çözücülerden alınan SCG yağının ORAC değerleri sırasıyla 97-98 mmol-TE / g ve 93-386 mmol-TE / g olarak saptamışlardır. SCG yağlarını, aynı anda SCG'den antioksidan bileşenler elde etmek için n-heksan, aseton ve 1-butanol kullanılarak özümlemişlerdir. N-heksanı genellikle yağ ekstraksiyonu için kullanmışlardır ve aseton, 1-butanol polar çözücü olarak seçmişlerdir. Bu özellikleri, atık kolza tohumu biyodizeli üretmek için bir yöntem geliştirmekte kullanmışlardır. Atık kolza biyodizelinin oksidasyon stabilitesini arttırmak için üç yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemlerin (1) SCG yağının çiğ kolza yağı ile karıştırılması, (2) reaksiyon ortamında SCG tozunun ısıtılması, (3) ekstrakte edilmiş SCG bileşenlerinin biyodizele ilave edilmesi olarak belirlemişlerdir. Sonuç olarak SCG'den türetilen antioksidan bileşenlerinin, biyodizel oksidasyon kararlılığını geliştirmek için etkili olduğunu savunmuşlardır. Polar solventlerden alınan SCG yağlarının antioksidan aktivitelerinin, polar olmayan solventlerden alınan SCG yağlarından daha yüksek olduğu sonucuna varmışlardır.

Zivkovic ve Veljkovic 2018, biyodizel üretiminin sürdürülebilir olması gerektiğini bu nedenle yüksek sera gazı azaltma potansiyeli, iyi enerji dengesi, hektar başına daha yüksek mahsul verimi ve düşük su talebi gibi bazı çevresel kriterlerin yerine getirilmesi gerektiğini ön görmüşlerdir. Biyodizel yakıtın karbon monoksit, hidrokarbonlar ve partikül madde emisyonları üzerinde olumlu etkiye sahip olduğunu fakat azot oksit emisyonları üzerinde değişken etkiye sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca toksik olmayan kimyasallar ve ileri süreçler kullanarak toksisiteyi azaltmayı amaçlayan yeni kavramlara ihtiyaç duyulduğunu, bununla birlikte, biyodizel üretimini ticari ölçekte yapmak için pratik süreçlerin geliştirilmesinde aşılması gereken teknik engellerin olduğunu vurgulamışlardır. Petro/biyodizel harmanında metil esterlerin varlığı, petrol dizelindeki n-alkanların ilk bozulmasını yavaşlattığı sonucuna varmışlardır.

Goga ve diğerleri 2019, çalışmalarında, pirinç kepeği biyodizeli ve n-bütanol karışımları B₁₀, B₂₀, B₁₀ nb₁₀, B₂₀, nb₂₀ kullanarak tek silindirli dizel motor üzerinde deneysel bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Araştırma sonucunda frenlere özgül yakıt tüketiminin yakıt karışımlarındaki n-bütanol miktarındaki artışla arttığını ve dizel yakıttan daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Fren termal verimliliği ise B₁₀ için artış, B₂₀ için azalma ve n-bütanol içeren karışımlar için dizelden daha az sonuçlanmıştır. Pirinç kepeği biyodizelinin karışımlara dahil edilmesiyle CO emisyonu ve dumanın

azaldığını, n-bütanol ilavesiyle ile daha da azaldığını gözlemlemişlerdir. Ancak pirinç kepeği yağı ile harmanlamanın HC emisyonlarını azalttığı, n-bütanol ilavesinde ise arttığını belirtmişlerdir. Yakıt karışımlarına biyodizel kullanımında NO_x emisyonlarında artış, n-bütanol içeren karışımlarda ise azalma görüldüğünü savunmuşlardır.

Hazrat ve diğerleri 2019, deneysel çalışmalarında atık donyağı ve atık yemeklik yağını kükürtlü dizel ile harmanlamış, yakıt performansı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Üçlü karışım yakıtların CO₂ ve NO_x emisyonlarının diğer yakıtlara kıyasla daha yüksek çıktığını, bu durum üzerinde daha fazla araştırma yapılırsa emisyon değerlerinin düşürülebileceğini belirtmişlerdir. Diğer yakıt karışımlarına kıyasla dizel yakıtın daha fazla HC ürettiğini, ayrıca biyodizel içeriğinin artmasının HC emisyonunu azalttığını ve biyodizel içeriği ne kadar yüksek olursa partikül madde emisyonunun da o kadar az olacağını savunmuşlardır.

Krishna ve diğerleri 2019, çalışmalarında dört zamanlı, dört silindirli 15 kW gücündeki dizel motor jeneratörünün tam yük koşullarında 1600 rpm'de sabit hızda optimum harmanlanmış biyodizel-dizel-etanol üçlü yakıt karışımının motor performans ve emisyon değerlerini araştırmışlardır. BDE karışımlarının tüm önemli yakıt özelliklerinin standart dizel yakıt özelliklerini oksidasyon kararlılığı dışında karşıladığını ve Biyodizel-Dizel-Etanol karışımlarının soğuk akış özelliklerinin etanol ilavesi nedeniyle önemli ölçüde iyileştiğini bulmuşlardır. En düşük özgül yakıt tüketiminin (BDE_{opt}) ile artan biyoyakıt içeriğindeki diğer BDE karışımlarında gözlemlemişlerdir. BDE karışımlarında dizelden daha düşük CO emisyonu ve daha yüksek CO₂ emisyon değerleri bulmuşlardır. Tüm BDE karışımları motor tam yükte iken NO_x emisyonlarının dizelden daha yüksek bulunduğunu yük azaldıkça emisyon değerlerinin azaldığını belirtmişlerdir. BDE' nin optimize edilmiş oranlarda harmanlanarak yakıt özelliklerinin dizel ile aynı motor performansı ve emisyon karakteristiğine sahip olabileceğini savunmuşlardır.

Abu-Zaid 2020, dört zamanlı, 17:1 sıkıştırma oranına sahip, direkt enjeksiyonlu, tek silindirli dizel motorunda biyodizel harmanlarının saf dizel yakıtının yerini alabileceğini gözlemlemiş, mısır ve ayçiçeği biyodizellerinin saf dizele göre motorda daha az yakıt tükettiği sonucuna varmıştır. Ayrıca tüm biyodizel karışımlarının saf dizel yakıtı oranla fren ortalama etkili basıncının daha düşük ve fren termal verimliliğinin ise daha yüksek olduğunu deneysel çalışmalar ile göstermiştir. Deneylerde kullanılan biyodizel karışımlarının saf dizel yakıttan daha ekonomik ve daha az NO_x emisyonu ürettiğini gözlemlemiştir.

Saravanan ve diğerleri 2020, çalışmalarında herhangi bir motor modifikasyonu olmadan CRDI sistemine sahip bir dizel motorda çam yağı biyodizeli ile dizel yakıtın motor üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. 200 bar yakıt enjeksiyon basıncında, P₃₀ biyodizel karışımının fren termal verimliliğinin (BTE) dizel yakıtla kıyasla azaldığı gözlemlenmiştir. P₃₀ karışımının kullanımını ve performansını artırmak için, yakıt enjeksiyon basıncı 200 bar'dan 350 bar'a çıkarılmış ve sonuç olarak enjeksiyon basıncındaki artışla birlikte fren termal verimliliğinin ve yanma özelliklerinin iyileştirildiğini göstermişlerdir. Egzoz emisyonları (CO, HC ve duman), yakıtın yüksek atomizasyonu, daha hızlı buharlaşma ve daha iyi hava yakıt karışımının oluşumu nedeniyle yakıt enjeksiyon basıncındaki artışla kademeli olarak azaldığını gözlemlemişlerdir. P₃₀ yakıtının 350 bar'da maksimum % 26,1 fren ısı verimi sergilerken, dizel yakıtın 200 bar'da % 6,9 daha yüksek fren ısı verimi sağladığını belirtmişlerdir. Dizeldeki çam yağı biyodizelinin karışım oranı yakıt enjeksiyon basıncı artırılarak artırılabilirliğini savunmuşlardır.

Seraç ve diğerleri 2020, çalışmalarında dört silindirli, dört zamanlı, doğrudan enjeksiyonlu ve su soğutmalı dizel motorlu elektrik jeneratörü kullanmışlardır. Motor testlerini 3.6 kW, 7.2 kW ve 10.8 kW yük ve 1500 rpm sabit motor devri altında, ultra düşük kükürlü dizel yakıt, soya bazlı biyodizel ve dizel harmanlarıyla yapmışlardır. 3,6 kW yükte fren özgül yakıt tüketimindeki maksimum artış, % 20 biyodizel + % 80 ultra düşük kükürlü dizel (SOB₂₀) yakıt, ultra düşük kükürlü dizel yakıtla kıyasla % 8 olarak gözlemlemişlerdir. Soya bazlı biyodizelin fren özgül yakıt tüketiminin ultra düşük kükürlü dizel yakıtla kıyasla düşük yüklerde yüksek olmasına rağmen, her iki yakıt türünün de neredeyse aynı sonuçları verdiğini belirtmişlerdir. Motorun 10.8 kW yükte fren ısı veriminde maksimum artışı, % 20 biyodizel + % 80 ultra düşük kükürlü dizel (SOB₂₀) yakıtı, dizel yakıtla kıyasla % 3.1 olarak ölçmüşlerdir. Yük 3,6 kW'tan 10,8 kW'a yükseldiğinde HC değerlerinin, ultra düşük sülfür dizeli (ULSD), % 5 biyodizel + % 95 ultra düşük kükürlü dizel (SOB₅) ve % 20 biyodizel + % 80 ultra düşük kükürlü dizelin (SOB₂₀) sırasıyla % 28, % 26 ve % 6 artırıldığını gözlemlemişlerdir. Bununla birlikte, deneysel sonuçlar, biyodizel karışımlarının, dizel motordaki silindir gazı basıncına, ısı salım hızına, vuruş yoğunluğuna ve ortalama gaz sıcaklığına göre ultra düşük kükürt dizel çalışmasına kısmen benzediği sonucuna varmışlardır.

Sun ve diğerleri 2020, deneylerinde altı silindirli, turbo şarjlı, CRDI motor kullanmışlardır. Çalışmalarında, temiz yakıtlarla dimetil eter (DME) ve biyodizel karışımları motordaki partiküllerin boyut dağılımını ve toksisitesini araştırmışlardır. Araştırmalarında atık yemeklik yağ biyodizelinden faydalanmışlardır. Farklı DME –

biyodizel karışımlarının (B₀, B₅, B₁₀ ve B₁₅) ve farklı motor yüklerinin etkileri dikkate alınmıştır. Dimetil eter-biyodizel motorundan yayılan parçacıkların esas olarak çekirdeklenme modu biçiminde olduğunu göstermişlerdir. Ara yükte çalışan motorun, yerel hipoksi nedeniyle maksimum birikim modu parçacıklarını tükettiğini ve yeterince yüksek yanma sıcaklığının olmadığını gözlemlemişlerdir. Biyodizelin eklenmesi, toplam partikül sayısını, partikül sayısı konsantrasyonunun pikini ve pik değerine karşılık gelen partikül boyutunu hafifçe arttırdığı sonucuna varmışlardır. B₅, B₁₀ ve B₁₅ ile beslenen motorun, temel olarak düşük molekül ağırlıklı polisiklik aromatik hidrokarbonları tükettiğini, yanmamış yakıtla yakından ilişkili olduğunu ve toplam polisiklik aromatik hidrokarbon emisyonlarının yakıt tüketimine karşı lineer olduğunu belirtmişlerdir. Düşük yükte partiküllerin toksisite eş değerinin (TE), ara yükte olduğundan daha düşük olduğunu savunmuşlardır.

Uyumaz 2020, çalışmasında, doğrudan enjeksiyonlu dizel motorda çeşitli motor yüklerindeki yanma, motor performansı ve emisyon özellikleri açısından keten tohumu yağı biyodizeli ile dizel yakıt karışımlarının etkilerini incelemiştir. Motor testlerini, 3.75, 7.5, 11.25, 15 Nm ve tam yükte 2200 rpm motor devri altında dizel ve keten tohumu yağı biyodizeli-dizel yakıt karışımları (D₁₀₀, L₁₀, L₂₀, L₃₀) ile çalışmıştır. Motor yükleri 3.75 Nm ve tam yük durumu hariç, en yüksek silindir içi basıncını L₁₀ yakıtı ile elde etmiştir. Motorun 11,25 Nm yükte termal verimliliği, D₁₀₀'e göre L₁₀ ile karşılaştırıldığında % 7,29 azalırken, spesifik yakıt tüketiminin % 3,78 arttığını gözlemlemiştir. Motorun 11,25 Nm yükte spesifik yakıt tüketimini, D₁₀₀, L₁₀, L₂₀ ve L₃₀ yakıtlarında sırasıyla 0.264 kg / kWh, 0.274 kg / kWh, 0.304 kg / kWh ve 0.318 kg / kWh olarak belirlemiştir. Test sonuçları, D₁₀₀'e göre L₃₀ yakıtının CO'yu yaklaşık % 36.2 azalttığını göstermiştir. Aksine, tam yükte D₁₀₀ ile L₃₀ karşılaştırıldığında NO_x değerleri üzerinde % 12.7 artış gözlemlendiği sonucuna varmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 Materyal

Bu çalışmada, Rize'nin Hemşin ilçesi Bilenköy'den temin edilen çay tohumları, Vals işlemi sonucunda tavlanylıp, 90 °C'de kavrulup, pres yardımıyla ham yağ elde edilmiş ve bu yağ filtre edildikten sonra transesterifikasyon yöntemi ile katalizör olarak NaOH ve alkol olarak metil alkol kullanılarak Çay Yağı Metil Esteri (ÇYME)'ne dönüştürülmüştür. Yakıt karışımları için gerekli euro diesel ise OPET petrol şirketinden temin edilmiştir. Petrol istasyonundan alınan dizel yakıtı içerisinde standart olarak % 7 biyodizel katkısı vardır. Bu yakıt tüm deney yakıtlarında standart D₁₀₀ olarak kabul edilmiştir. Çay yağı metil esteri Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü laboratuvarında üretilmiştir. Deneylerde kullanılacak dizel motorun yağlama yağı, üretici firma tarafından tavsiye edilen şekil 3.1'de görülen OPET 20W-50 motor yağıdır.



Şekil 3.1. Motor Deneyinde kullanılan 20W50 motor yağı

Deney motoru olarak şekil 3.2' de görülen Süper Star marka dizel motor kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Deney Motoru ve Dinamometre

Deney motorunun teknik özellikleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Deney Motoru Teknik Özellikleri (Süper star, 2009)

Tipi	Birim	Değer / Marka
Markası	-	Süper Star
Çalışma Prensibi	-	4 zamanlı, direk enjeksiyonlu
Silindir Çapı	mm	108
Strok	mm	100
Silindir Sayısı	adet	1
Silindir Hacmi	lt	0.92
Yakıt Deposu Kapasitesi	lt	16
Sıkıştırma Oranı	-	17:1
Yağ Kapasitesi (Filtre dahil)	lt	2.3
Max Güç	HP / kW	15 / 11.02
Max Tork	Nm	60
Yağlama Sistemi	-	Tam Basınçlı (Dişli yağ pompası ile)
Soğutma Sistemi	-	Su Soğutmalı
Soğutma Suyu Kapasitesi	lt	3
Yakıt Pompası	-	Super Star / Bosch Tipi
Enjektör Kütüğü	-	Bosch / Lucas
Enjektör Memesi	-	Bosch / Lucas
Püskürtme Basıncı	kg/cm ²	175
Püskürtme Başlangıcı	derece	28-35° Ü.Ö.N’den önce

Bu çalışmada, çay tohumu yağından transesterifikasyon yöntemi ile çay yağı metil esterini elde edilmiş, daha sonra dizel yakıtı ile belli oranlarda hacimsel olarak karıştırılarak, dizel motor üzerinde farklı enjektör basınçlarında motor performans, egzoz emisyon ve gürültü emisyon testleri yapılmıştır. Denemelerde 15 HP gücünde ve hidrolik dinamometreye bağlı olan, tek silindirli, su soğutmalı, Süper Star 11015 marka dizel motor kullanılmıştır.

Çay yağı metil esterini üretmek için Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Laboratuvarı’nda bulunan biyodizel üretim reaktörü kullanılmıştır. Çay yağından elde edilen metil ester yakıtı motorinle % 50 ve % 20 oranında hacimsel olarak karıştırılarak, D₁₀₀, B₁₀₀, B₅₀D₅₀ ve B₂₀D₈₀ deney yakıtları elde edilmiştir.

Karışımlar sonucunda elde edilen yakıtlarının yoğunluğu, PH değeri, kinematik viskozitesi, bulutlanma, akma ve donma noktası testleri Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nde bulunan Enerji Sistemleri Mühendisliği laboratuvarında yapılmıştır. Isıl değer, parlama noktası, soğukta filtre tıkanma noktası, renk ve bakır çubuk korozyonu testleri ise Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Yakıt Analiz Laboratuvarı'nda yapılmıştır.

3.1.1. Araştırmada kullanılan alet ve cihazlar

3.1.1.1. Kinematik viskozite ölçüm cihazı

Üretilen yakıtların viskozitelerinin ölçümü için Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği laboratuvarında bulunan Julabo marka Corio Cd model cihaz kullanılmıştır. Cihaz ASTM D 445, DIN 51550 ve ISO 3104 standartlarına göre viskozite ölçümü yapılabilmektedir. Kinematik viskozite cihazı Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Kinematik viskozite cihazı

3.1.1.2. Soğuk filtre tıkanma noktası (sftn) tayin cihazı

Yakıtların SFTN tayini için Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Yakıt Analiz Laboratuvarı'nda bulunan Tanaka marka AFP-102 model cihaz kullanılmıştır. Test işlemi ASTM D-6371 test metoduna göre yapılmıştır. Soğuk filtre tıkanma noktası tayin cihazı Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Soğuk Filtre Tıkanma Noktası (SFTN) Tayin Cihazı

3.1.1.3. Bulutlanma ve akma noktaları test cihazı

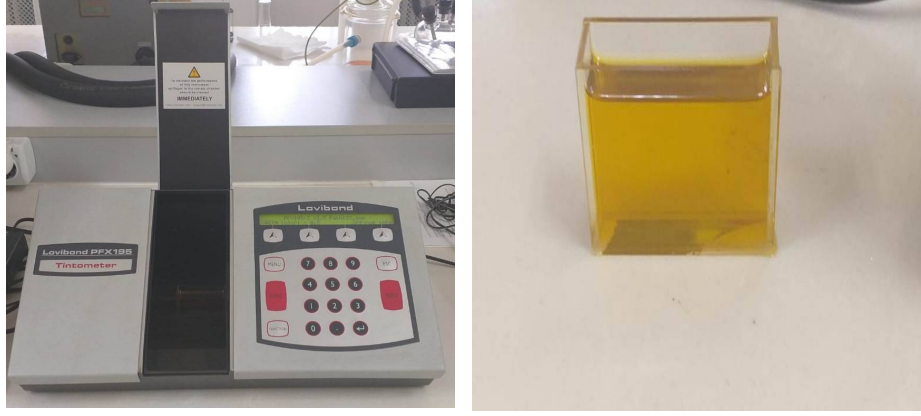
Yakıtların, bulutlanma ve akma noktalarının tayini için Koehler marka, K 46000 model cihaz kullanılmıştır. Cihazda ASTM D 97 standardına göre ölçüm yapılmaktadır. Şekil 3.5’ te Bulutlanma ve akma noktaları test cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Bulutlanma ve Akma Noktaları Test Cihazı

3.1.1.4. Otomatik renk ölçüm cihazı

Yakıtların renk ölçümünde Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Yakıt Analiz Laboratuvarı’nda bulunan LOVIBONT marka PFX195 model, dijital otomatik renk ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihaz Saybolt, ASTM, CIE, Pt-Co/Hazen/APHA renk skalalarına göre ölçüm yapmaktadır. Renk ölçüm cihazı Şekil 3.6’ da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Renk Ölçüm Cihazı

3.1.1.5. Yoğunluk ölçme cihazı

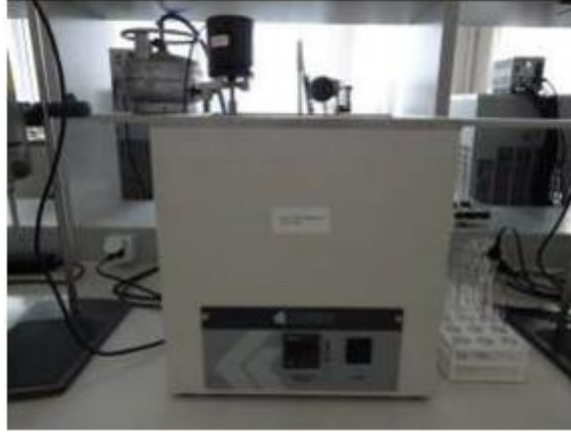
Yakıtların yoğunluklarının ölçümü için, Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan Kem Kyoto marka DA -130N model cihaz kullanılmıştır. Cihaz ölçüm yapılan sıcaklığı otomatik olarak 15 °C ye çevirerek değer vermektedir. Yoğunluk cihazı Şekil 3.7' de verilmiştir.



Şekil 3.7. Yoğunluk Cihazı

3.1.1.6. Bakır şerit korozyon test ölçme cihazı

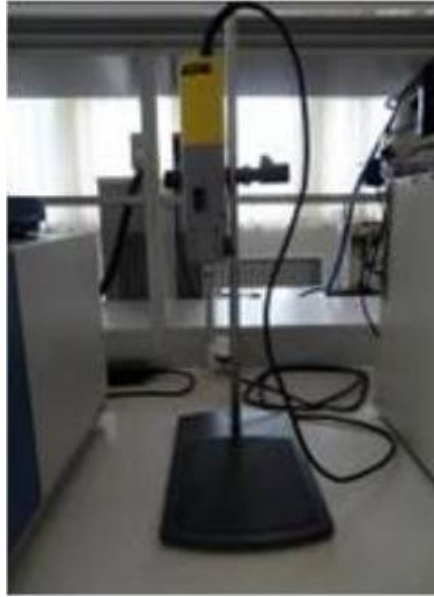
Yakıtların korozif etkisinin ölçümü, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Yakıt Analiz Laboratuvarı'nda bulunan Koehler marka K 25330 model cihaz kullanılmıştır. Cihazda ASTM D 130, DIN 51759 ve ISO 2160 standartlarına göre ölçüm yapılabilmektedir. Şekil 3.8' de bakır şerit korozyon test ölçüm cihazı verilmiştir.



Şekil 3.8. Bakır Şerit Korozyon Test Cihazı

3.1.1.7. Homojenizatör

Yakıtların karışımında homojenlik sağlanması için Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Yakıt Analiz Laboratuvarı'nda bulunan Yellowline marka DI 18 basic model homojenizatör kullanılmıştır. Şekil 3.9' da homojenizatör verilmiştir.



Şekil 3.9. Homojenizatör

3.1.1.8. Gaz analiz cihazı

Yakıtların yanması sonucu oluşan atık gazların ölçümü için Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan BİLSA MOD 2210 marka egzoz emisyon cihazı kullanılmıştır. Çizelge 3.2'de egzoz emisyon cihazının teknik özellikleri ve Şekil 3.10' da gaz analiz cihazı verilmiştir.



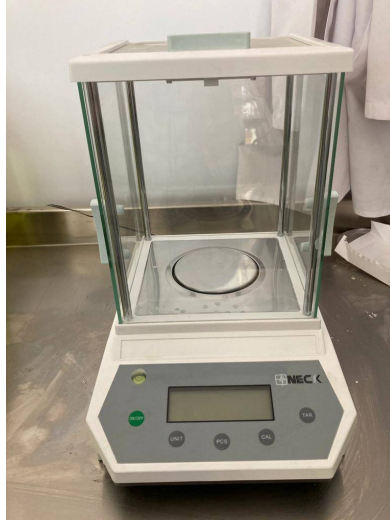
Şekil 3.10. Gaz Analiz Cihazı

Çizelge 3.2. Egzoz Emisyon Cihazı Teknik Özellikleri (Bilisa, 2021)

Parametreler	Ölçme Sınırı	Hassasiyet
CO (%)	0 - %10	% 0.001
HC (ppm)	0 - 10000	% 1 ppm
CO ₂ (%)	0 - %20	%0.001
O ₂ (%)	0 - %25	%0.01
CO Corr. (%)	0 - %10	% 0.001
AFR	5-30	
Motor Yağ Isısı	0 – 150 °C	1 °C
Lambda	0.5 – 2	0.001
Opasite (pulsuluk derecesi)	% 0 – 100	% 0.1
Devir (rpm)	0 – 9990 d/d	10 d/d
Algılama Süresi	<5 sn	
Çakışma Ortam Sıcaklığı	0 °C-----+40 °C	%0.01
Ölçüm Oda Sıcaklığı	70 – 100 °C	
Besleme Voltajı ve Frekansı	220 V AC/ 50 Hz	

3.1.1.9. Hassas terazi

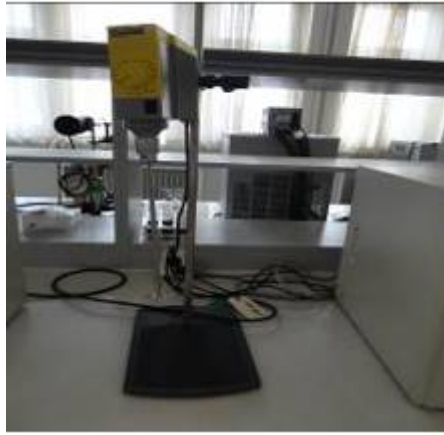
Çalışmanın üretim aşamasında kullanılacak katalizör madde miktarı gibi ağırlık ölçümleri için, Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan Neck marka FLY 500 serisi hassas terazi kullanılmıştır. Şekil 3.11' de hassas terazi verilmiştir.



Şekil 3.11. Hassas Terazi

3.1.1.10. Laboratuvar tipi karıştırıcı

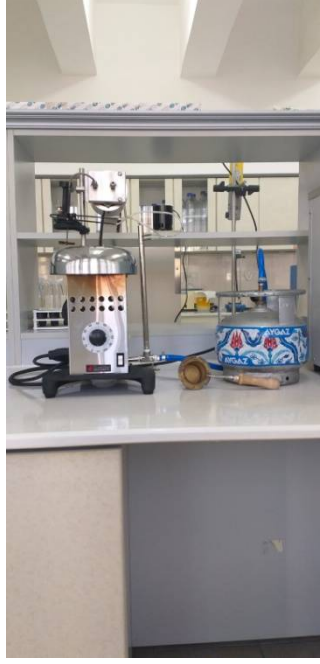
Yakıt karışımlarının oluşturulması için Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Yakıt Analiz Laboratuvarı'nda bulunan IKA marka Yellowline OST basic model laboratuvar tipi karıştırıcı kullanılmıştır. Şekil 3.12' de laboratuvar tipi karıştırıcı gösterilmiştir.



Şekil 3.12. Laboratuvar Tipi Karıştırıcı

3.1.1.11. Parlama noktası ölçme cihazı

Elde edilen yakıtların parlama noktalarını tespit etmek için, Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Yakıt Analiz Laboratuvarı'nda bulunan Şekil 3.13'te verilen Koehler marka, K16270 model cihaz kullanılacaktır. Cihazda ASTM D93, ISO 2719 ve DIN 51758 standartlarına göre ölçüm yapılabilmektedir.



Şekil 3.13. Parlama Noktası Cihazı

3.1.1.12. Termometre

Çalışmada sıcaklık ölçümleri için Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan Şekil 3.14' te verilen Thermoanger marka ısıölçer kullanılmıştır. Termometre $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $+300\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 3.14. Termometre

3.1.1.13. Kalorimetre

Yakıtların kalori değerini tayin etmek için Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Yakıt Analiz Laboratuvarı'nda bulunan ölçüm aralığı 40.000 Joule'e kadar olan IKA marka adyabatik kalorimetre cihazı kullanılmıştır. Cihaz EN 50082, TS EN 60555-1 ve TS EN 61010-1 standartlarına göre ölçüm yapabilmektedir. Şekil 3.15' te kalorimetre cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Kalorimetre Cihazı

3.1.1.14. pH metre

Biyodizelin asitlilik veya baziklik durumunun tespiti için Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan Şekil 3.16' da verilen Bante marka PHS-3BW model pH metre kullanılmıştır.



Şekil 3.16. pH Metre

3.1.1.15. Kronometre

Kinematik viskozitenin hesaplanması için Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan Şekil 3.17'de verilen Stopwatch marka, ZSD 808 model kronometre kullanılmıştır. TS 615 EN 26+AC standardında ölçüm yapabilmektedir.



Şekil 3.17. Kronometre

3.1.1.16. Yakıt sarfiyatı ölçüm cihazı

Yakıt sarfiyatı ölçümünde Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Motor Test Laboratuvarı'nda bulunan, hacimsel olarak 50, 100 ml hacminde ölçüm yapabilen yakıt tüketiminin belirlenmesi amacıyla, depo ile yakıt pompası arasına bağlanan Şekil 3.18' de verilen Seppeler marka hacimsel yakıt sarfiyatı ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.18. Yakıt Sarfiyatı Ölçüm Cihazı

3.1.1.17. Hidrolik fren

Motor denemelerinde motor performansını belirlemek için Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makinaları ve Teknolojileri Mühendisliği Bölümü Motor Test Laboratuvarı'nda bulunan Şekil 3.19'da gösterilen hidrolik fren kullanılmıştır.



Şekil 3.19. Hidrolik Fren

3.1.1.18. Gürültü ölçüm cihazı

Gürültü seviyesini ölçümünde, Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan Şekil 3.20' de verilen 30 -130 dBA ölçüm aralığına ve $\pm 1,5$ dBA hassasiyete sahip bir Smart Sensör AS 804 marka gürültü seviyesi ölçer kullanılmıştır. Çizelge 3.3' te gürültü seviyesi ölçer özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.20. Gürültü ölçüm cihazı

Çizelge 3.3. Gürültü seviyesi ölçer özellikleri (Smart Sensör, 2021)

Smart Sensor AS 804	Birimler	Değer
Frekans Aralıkları	Hz - KHz	31.5 – 8.5
Ölçüm aralıkları	dB	30 - 130
Doğruluk	dB	± 1.5
Çözünürlük	dB	0.1
Ölçüm Hanesi	Digits	5

3.1.1.19. Biyodizel üretim reaktörü

Çay yağı metil esteri (ÇYME) üretmek için Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan Şekil 3.21' de verilen 30 litre üretim kapasiteli reaktör kullanılmıştır.



Şekil 3.21. Reaktör

3.1.1.20. Enjektör test cihazı

Enjektör basınç ölçümleri şekil 3.22 'de gösterilen Deteq TP03 marka basınç değişim cihazı ile yapılmıştır. Cihazın teknik özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.22. Enjektör basınç değişim cihazı

Çizelge 3.4. Basınç değişim cihazı teknik özellikleri (Deteq, 2021)

Deteq TP03	Birimler	Değer
Basınç Aralığı	Bar	0 – 1500
Hata Payı	Bar	0.1
Boyutlar	cm	27×24×11
Ağırlık	kg	6

3.1.2. Araştırmada kullanılan kimyasal maddeler

3.1.2.1. Katalizör

Çay yağı metil esteri üretimi için Şekil 3.23’ te verilen saflık değeri en az % 97 olan sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Katalizör, $M=40,00$ g/mol kütleli ağırlığa sahiptir.

**Şekil 3.23.** Katalizör

3.1.2.2. Metanol (metil alkol)

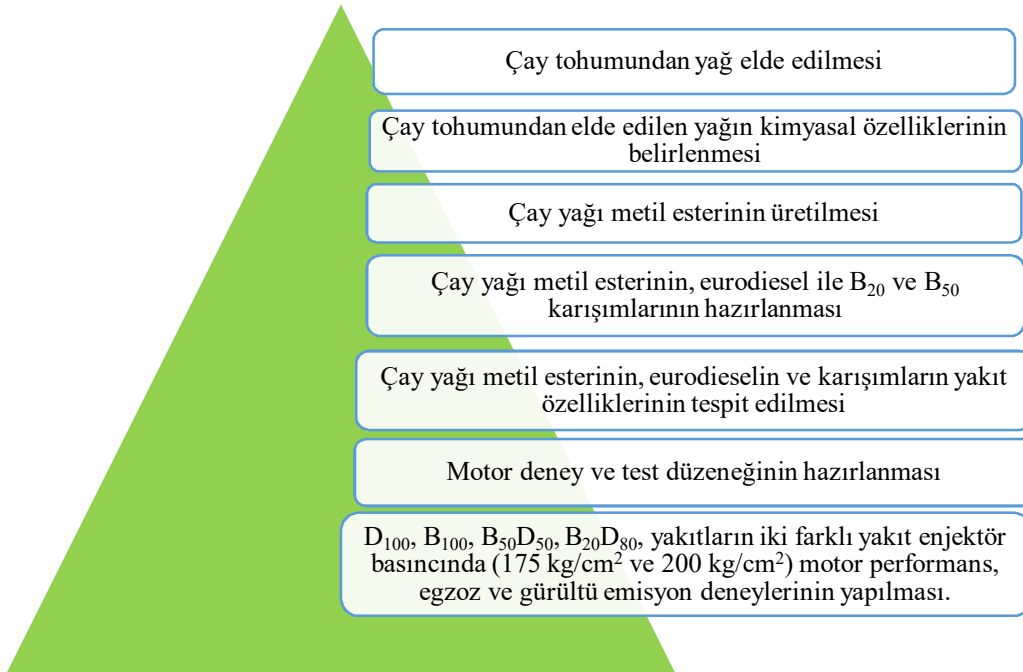
Çay yağından, metil ester elde etmek için, çalışmamızda kullanılan metil alkol saflık derecesi % 99.8 olan, Merck marka, CH_3OH kimyasal formüllü metil alkol’dür. Alkolün $20\text{ }^{\circ}C$ deki moleküler ağırlığı $32,04$ g/mol ve yoğunluğu $0,791-0.793$ kg/l’ dir. Şekil 3.24’ te metanol gösterilmiştir.

**Şekil 3.24.** Metanol

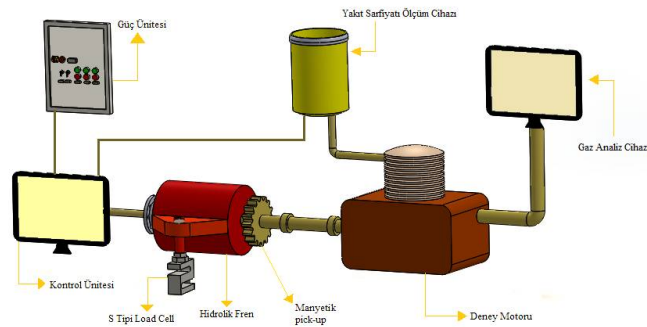
3.2. Yöntem

Çalışma aşağıdaki sırayla gerçekleşecektir;

- Çay tohumundan yağ elde edilmesi,
- Çay tohumundan elde edilen yağın kimyasal özelliklerinin belirlenmesi,
- Çay yağı metil esterinin üretilmesi,
- Çay yağı metil esterinin, eurodiesel ile B₂₀ ve B₅₀ karışımlarının hazırlanması,
- Çay yağı metil esterinin, eurodieselin ve karışımların yakıt özelliklerinin tespit edilmesi,
- Motor deney ve test düzeneğinin hazırlanması,
- D₁₀₀, B₁₀₀, B₅₀D₅₀, B₂₀D₈₀, yakıtların iki farklı yakıt enjektör basıncında (175 kg/cm² ve 200 kg/cm²) motor performans, egzoz ve gürültü emisyon deneylerinin yapılması.



Deney düzeneğinin şematik görünümü şekil 3.25’de gösterilmiştir.



Şekil 3.25. Deney düzeneğinin şematik görünümü

Deney yakıtlarında;

- Yoğunluk (15 °C),
- Kinematik Viskozite (40 °C),
- Setan Sayısı
- pH değeri,
- Bulutlanma noktası,
- Akma noktası,
- Donma noktası,
- Kalorifik (Isıl) değer,
- Renk Tayini,
- Parlama noktası,
- Soğukta filtre tıkanma noktası (SFTN),
- Bakır şerit korozyonu, özellikleri ölçülecektir.

ÇYME'nin yakıt özelliklerini belirlemek için TS EN 14214:2012+A2 standardı ve Eurodiesel yakıtı özelliklerini belirlemek için ise TS EN 590:2013+A1 standardı kullanılmıştır.

3.2.1. Çay tohumu temini ve yağ eldesi

Rize'nin Hemşin ilçesi Bilenköy'den temin edilen çay tohumları, Konya ili Ilgın ilçesinde bulunan Esen Ayçiçek Yağ Firması tarafından, Vals işlemi sonucunda tavlansın, 90 °C'de kavrulurak, pres yardımıyla ham yağ elde edilmiştir.

3.2.2. Çay tohumu yağından metil ester üretim aşamaları

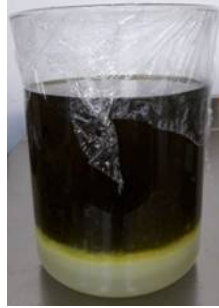
Çay tohumu yağından metil ester üretimi transesterifikasyon yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Deneme amaçlı yarım litre çay tohumu yağı manyetik karıştırıcılı ısıtıcının üzerinde 55 °C'ye gelene kadar karıştırılarak ısıtılmıştır.

Başka bir beherde 0,5 lt yağ için % 20 metil alkol (100 ml) ve 1,75 gr NaOH karıştırılarak metoksit oluşturulmuştur. 55 °C'ye gelen yağa yavaş yavaş metoksit eklenmiş ve ısıtıcı da 1 saat yaklaşık 700 devir/dakikada karıştırılmıştır. Sürecin son 10 dakikasında alkolü uzaklaştırmak için sıcaklık 70 °C'ye kadar çıkarılmıştır. Karışım dinlenmeye alınmış ve 8 saat bekletildikten sonra dibe çöken gliserin alınarak (Şekil 3.26), yıkama işlemine geçilmiştir.



Şekil 3.26. Gliserin ve biyodizel oluşumu

Yıkama işlemi için gliserinin alınan ham metil ester üzerine % 20 oranında saf su püskürtülerek duşlama yöntemi ile işlem gerçekleştirilmiştir. Daha sonra yıkanmış metil ester tekrar 8 saat yıkama suyunun dibine çökmesi beklemeye alınmıştır (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. Yıkama suyunun dibine çökmesi

Yoğunluk farkından dolayı üstte kalan metil ester tekrardan başka bir behere aktarılmış ve metil esterin içinde kalan suyunun giderilmesi için son olarak yıkanmış metil ester 110 °C’de 30 dakika süre ile ısıtıcı manyetik karıştırıcı üzerinde karıştırılarak suyun buharlaşması sağlanmıştır (Şekil 3.28).



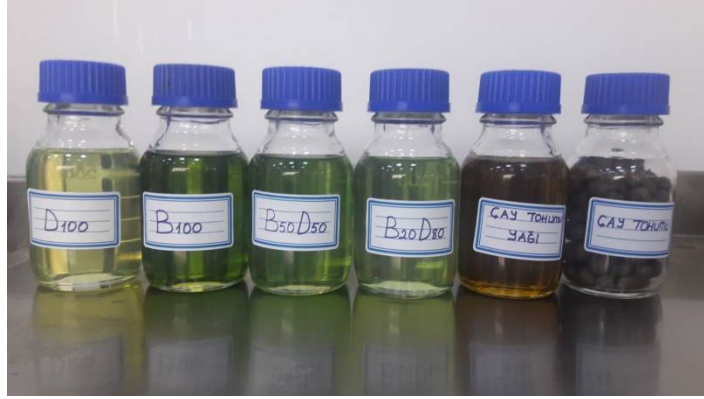
Şekil 3.28. Biyodizelin içinde kalan suyun ayrıştırılması

Böylece çay tohumu yağdan metil ester (ÇYME) üretimi gerçekleştirilmiştir.

3.2.3. Yakıt karışım oranları

Motor denemelerinde yakıt olarak 4 farklı karışım hacimsel olarak Eurodiesel ve ÇYME ile karıştırılarak oluşturulmuştur.

D₁₀₀ %100 eurodiesel, B₁₀₀ %100 çay yağı metil esteri (ÇYME), eurodiesel ile %50 ÇYME karıştırılmasıyla elde edilen yakıtı B₅₀D₅₀, eurodiesel ile %20 ÇYME karıştırılmasıyla elde edilen yakıtı B₂₀D₈₀ adı verilmiştir. Motor deneyi için hazırlanan yakıt karışım numeleri Şekil 3.29'da görülmektedir.



Şekil 3.29. Yakıt Numuneleri

Oluşturulan yakıt karışımlarının isimleri ve karışım oranları çizelge 3.5'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Yakıt karışımlarının isimleri ve karışım oranları

Yakıt	Çay Yağı Metil Esteri	Eurodiesel
B ₂₀ D ₈₀	20	80
B ₅₀ D ₅₀	50	50
B ₁₀₀	100	0
D ₁₀₀	0	100

3.2.4. Motor denemeleri

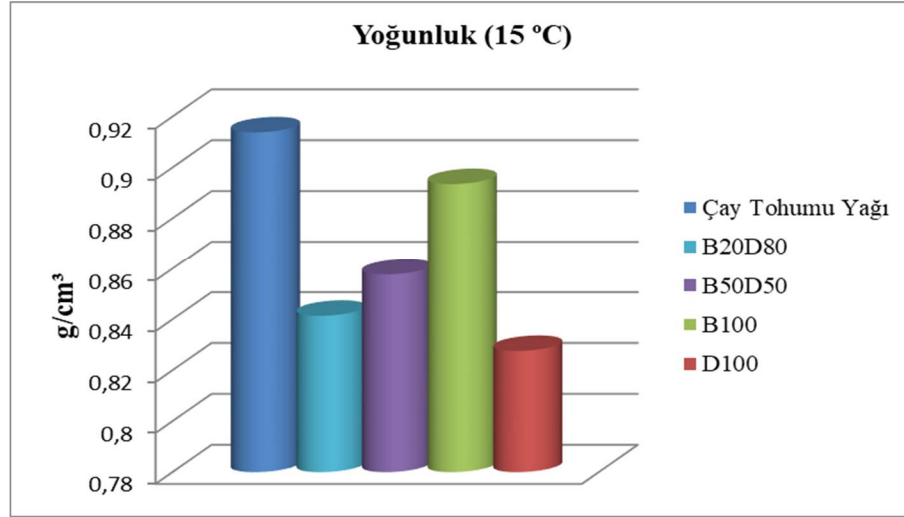
Motor denemeleri TS 1231 standartlarına göre yapılmıştır. Motor denemelerinde iki farklı yakıt enjektör basıncında (175 kg/cm² ve 200 kg/cm²), Çizelge 3.5'te belirtilen yakıt karışım oranlarında yapılmıştır. Motor olarak 4 zamanlı, tek silindirli su soğutmalı dizel motor kullanılmıştır. Hidrolik Dinamometre ile değişik devirlerde güç ve moment değerleri ölçülmüştür. Yakıt ölçer ile saatlik ve özgül yakıt tüketimleri tespit edilmiştir. Egzoz emisyon cihazı ile CO, CO₂, HC, O₂ ve NO_x emisyon değerleri belirlenmiştir. Teste başlamadan önce egzoz emisyon cihazı filtreleri değiştirilmiş ve kalibrasyonu

yapılmıştır. Gürültü ölçüm cihazı ile deney motoru çevresinde dört köşe noktasından 50 cm uzaklıklarda motor gürültü ölçümü yapılmıştır. Ölçülen bu değerlerle motorun karakteristik eğrileri çizilmiştir. Motor yağlama yağı olarak motor kataloğunda tavsiye edilen OPET 20W50 dizel motor yağı kullanılmıştır. Teste başlamadan önce motorun periyodik bakımı yapılmıştır. Testler süresince motor, üretici firmanın önerdiği çalışma saatleri boyunca yağ değişimi yapılmaksızın, her bir çeşit yakıt karışımları ve eurodiesel ile çalıştırılmıştır. Deney yakıtlarının analiz sonuçları Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Deney Yakıtlarının Analiz Sonuçları

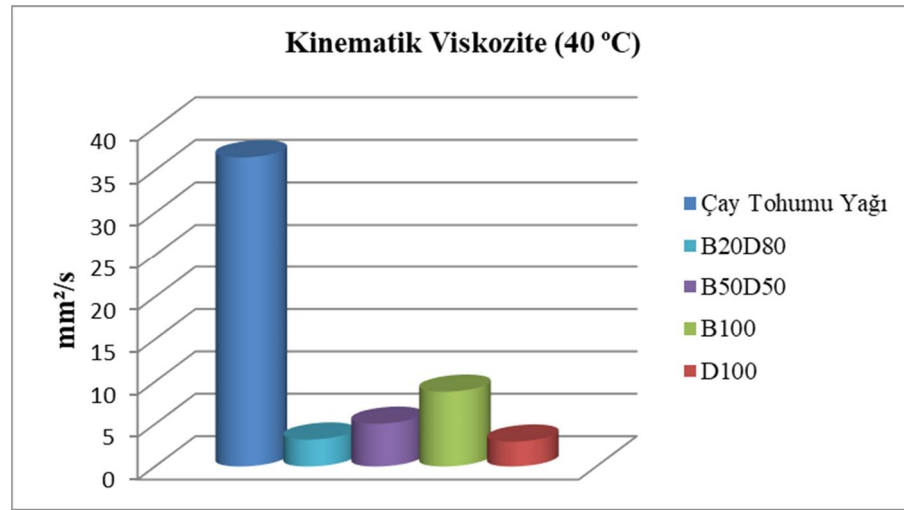
Karakteristik Özellikler	Birimleri	Çay Tohumu Yağı	B ₂₀ D ₈₀	B ₅₀ D ₅₀	B ₁₀₀	D ₁₀₀	Sınırlayıcı Değerler	
							Dizel	Biyodizel
Yoğunluk (15 °C)	g/cm ³	0.913	0.841	0.857	0.893	0.827	0.82- 0.84	0.86-0.90
Kinematik Viskozite (40 °C)	mm ² /s	36.507	3.173	5.036	8.813	2.929	2-4.5	3.5-5
Setan Sayısı	---	65	54.1	59.2	68.1	52.9	51	---
pH	---	7.58	5.95	6.41	6.83	5.12	---	---
Bulutlanma Noktası	°C	-10.7	-3.76	-3.1	-2.3	-4	---	---
Akma Noktası	°C	-17.3	-11.2	-8.1	-4.5	-15	---	---
Donma Noktası	°C	-22.1	-18.3	-15.7	-12.6	-21	---	---
Kalorifik Değer	Cal/gr	-----	10344	10234	9582	10399	---	---
Renk Tayini	ASTM	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	---	---
Parlama Noktası	°C	188	73	82	123	61	55	120
SFTN	°C	-----	-9.5	-7	-3.8	-14	-20	-15
Bakır Şerit Korozyonu	---	1a	1a	1a	1a	1a	No:1	No:1

Yakıtların yoğunluk değerleri şekil 3.30'da görülmektedir. Yoğunluk değerleri incelendiğinde çay tohumu yağının yoğunluk değerinin yüksek olduğu, B₁₀₀ ve D₁₀₀ yakıtlarının yoğunluk değerlerinin standartlar içerisinde kaldığı, B₅₀D₅₀ ve B₂₀D₈₀ karışım yakıtlarının yoğunluk değerlerinin ise D₁₀₀ yakıtına yakın olduğu görülmüştür.



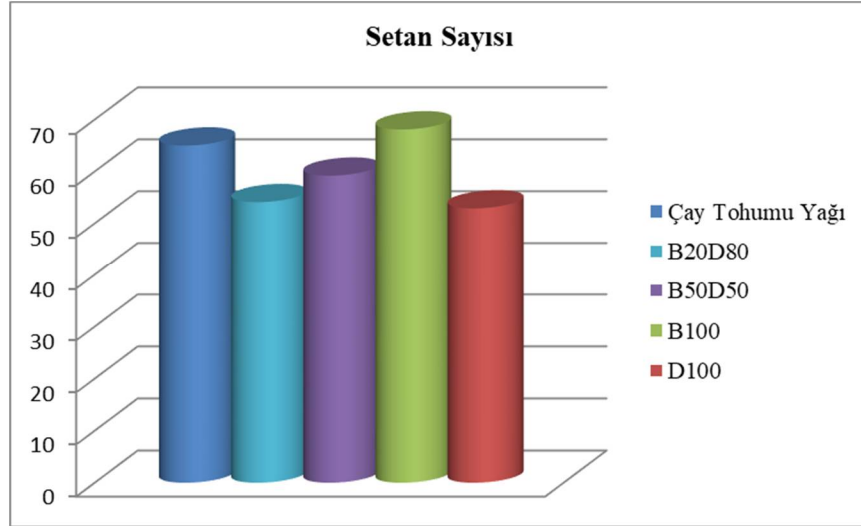
Şekil 3.30. Deney yakıtlarının yoğunluk analiz sonuçları

Yakıtların 40 °C'deki kinematik viskozite değerleri şekil 3.31'de görülmektedir. Değerler incelendiğinde Çay tohumu yağının kinematik viskozite değerinin yüksek olduğu, D₁₀₀ yakıtının kinematik viskozite değerinin standartlar içerisinde kaldığı, B₁₀₀ yakıtının kinematik viskozite değerinin standart dışı olduğu ve bu yüzden B₁₀₀ yakıtının metil ester olarak adlandırılacağı belirlenmiştir. Karışım yakıtları içerisinde en düşük viskozite değerinin B₂₀D₈₀ yakıtında olduğu tespit edilmiştir.



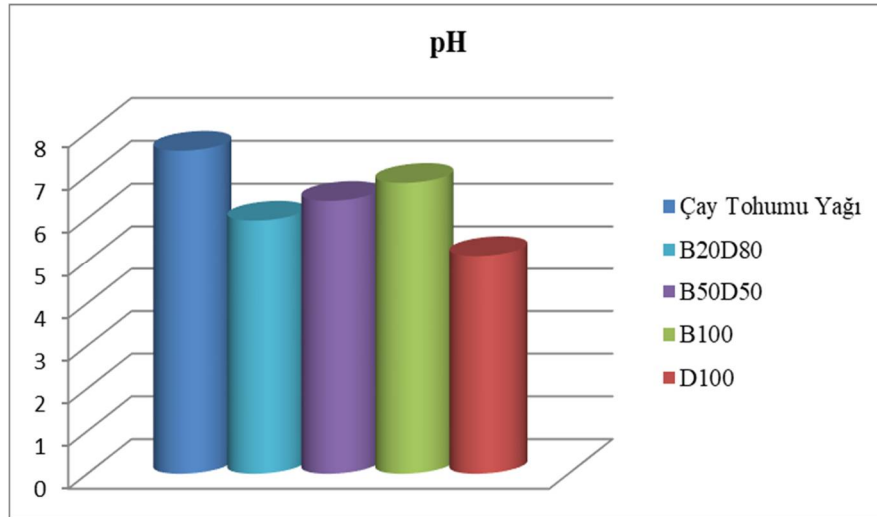
Şekil 3.31. Deney yakıtlarının kinematik viskozite analiz sonuçları

Yakıtların setan sayısı değerleri şekil 3.32'de görülmektedir. Değerler incelendiğinde D₁₀₀ yakıtının setan sayısı değerinin standartlar içerisinde kaldığı, diğer yakıtlar arasında ise en yüksek setan sayısının B₁₀₀ yakıtının yakıtında olduğu tespit edilmiştir.



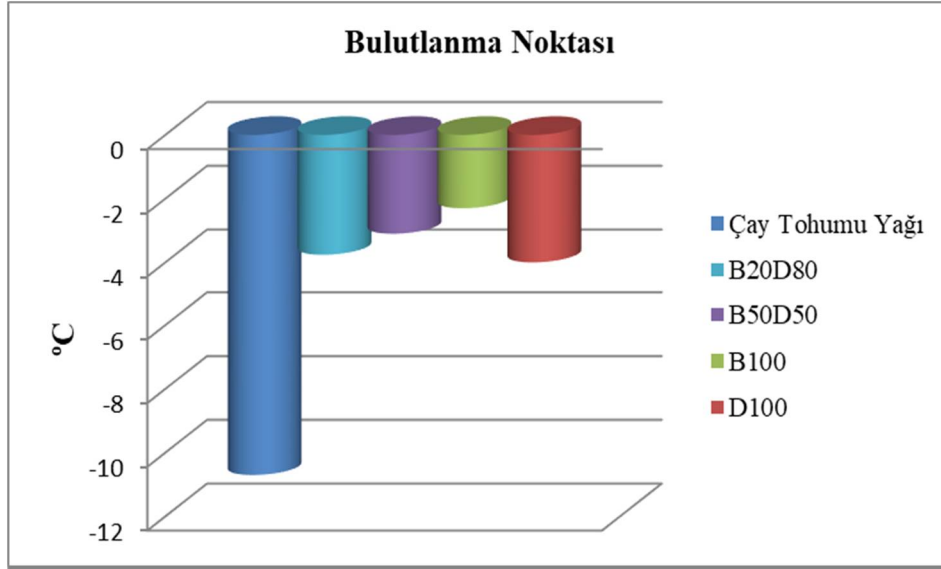
Şekil 3.32. Deneysel yakıtların setan sayısı analiz sonuçları

Yakıtların pH değerleri Şekil 3.33'de görülmektedir. pH, bir çözeltinin asitlik (H^+) veya bazlık (OH^-) derecesini tarif eden ölçü birimidir. Açılımı "Power of Hydrogen" dir. Bir maddenin pH değeri hidrojen iyonu (H^+) ile hidroksit iyonunun (OH^-) derişimlerinin oranına direkt bağlıdır. Eğer H^+ derişimi OH^- derişiminden fazla ise çözelti asidik; yani pH değeri 7 den düşüktür. Eğer OH^- derişimi H^+ derişiminden fazla ise maddemiz bazik; yani pH değeri 7 den büyüktür. Eğer OH^- ve H^+ iyonlarından eşit miktarlarda mevcutsa, madde 7 pH değerine sahip olmak üzere nötrdür. Değerler incelendiğinde çay tohumu yağı pH değerinin bazik, diğer yakıtların ise asidik olduğu görülmektedir.



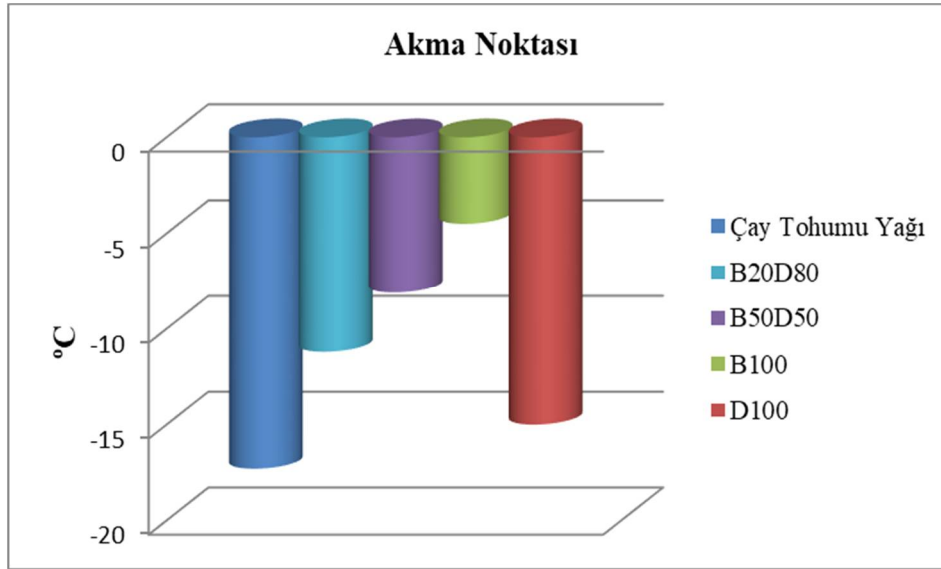
Şekil 3.33. Deneysel yakıtların pH analiz sonuçları

Yakıtların bulutlanma noktası değerleri Şekil 3.34'de görülmektedir. Bulutlanma noktası değerleri incelendiğinde çay tohumu yağının bulutlanma noktası değerinin yüksek olduğu, D₁₀₀ yakıtının B₁₀₀ yakıtı ve diğer yakıt karışımlarına göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.



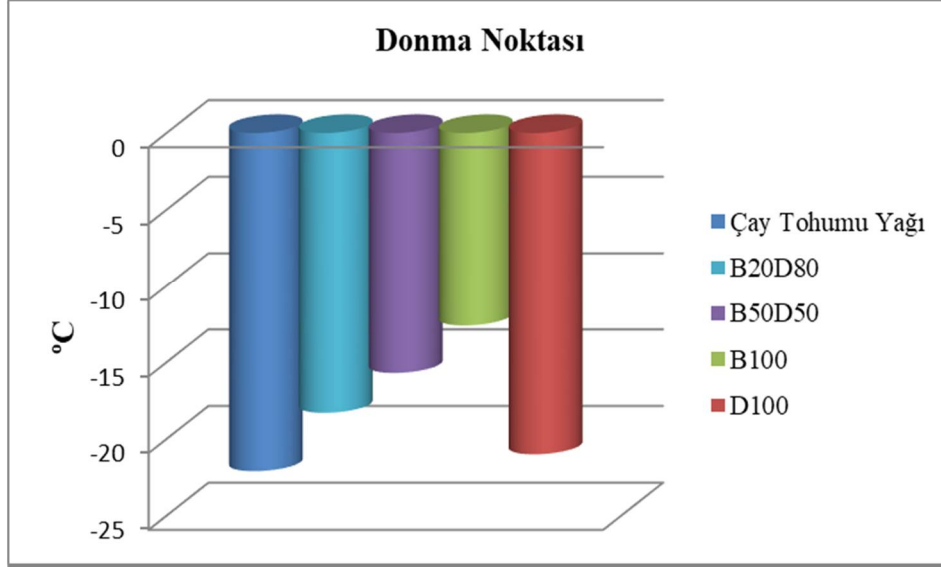
Şekil 3.34. Deney yakıtlarının bulutlanma noktası analiz sonuçları

Yakıtların akma noktası değerleri şekil 3.35'de görülmektedir. Akma noktası değerleri incelendiğinde çay tohumu yağının akma noktası değerinin yüksek olduğu, D₁₀₀ yakıtının B₁₀₀ yakıtı ve diğer yakıt karışımlarına göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.



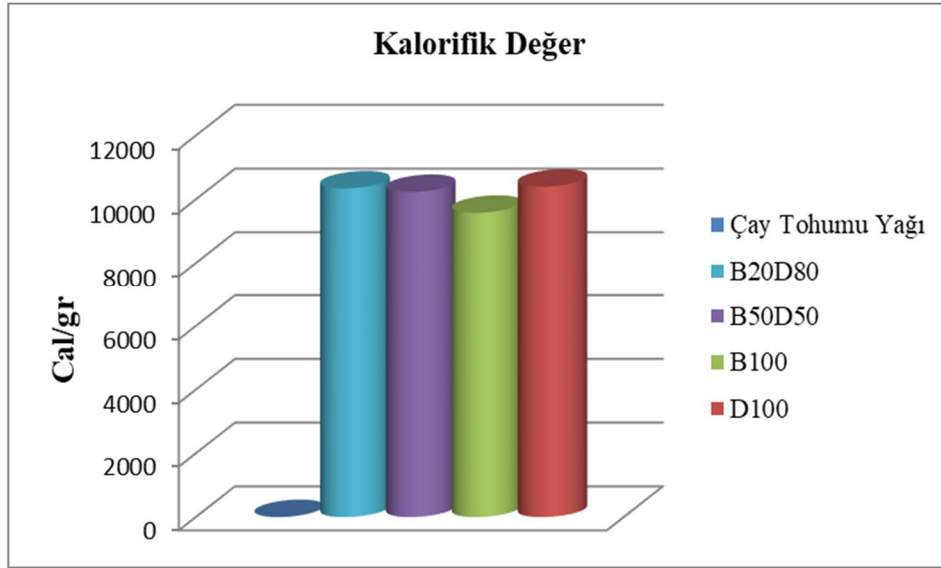
Şekil 3.35. Deney yakıtlarının akma noktası analiz sonuçları

Yakıtların donma noktası değerleri şekil 3.36'de görülmektedir. Donma noktası değerleri incelendiğinde çay tohumu yağının donma noktası değerinin yüksek olduğu, D₁₀₀ yakıtının B₁₀₀ yakıtı ve diğer yakıt karışımlarına göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.



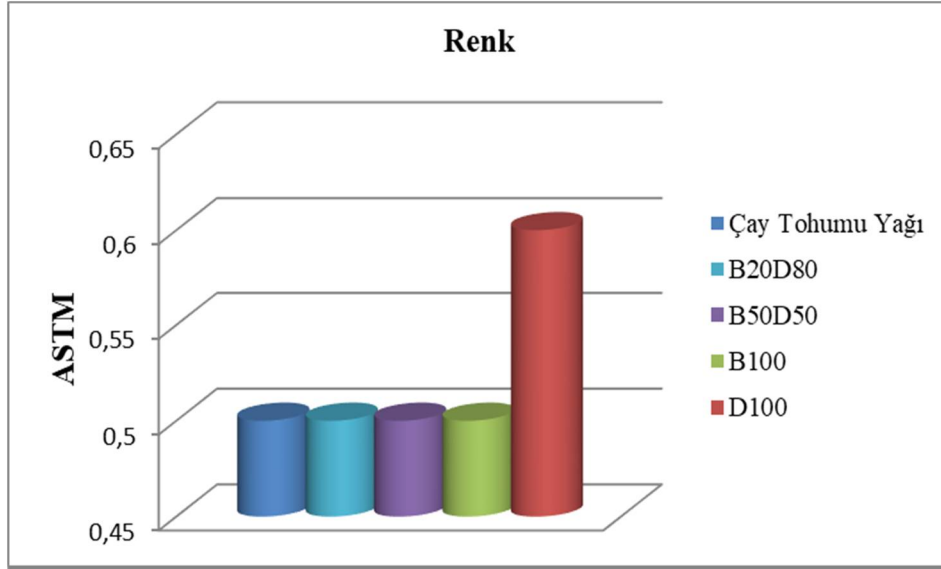
Şekil 3.36. Deney yakıtlarının donma noktası analiz sonuçları

Yakıtların kalorifik değerleri şekil 3.37'de görülmektedir. Kalorifik değerler incelendiğinde D₁₀₀ yakıtının B₁₀₀ yakıtından yüksek olduğu, diğer yakıt karışımlarının ise D₁₀₀ yakıtı kalorifik değerine yakın değerlere sahip oldukları görülmektedir.



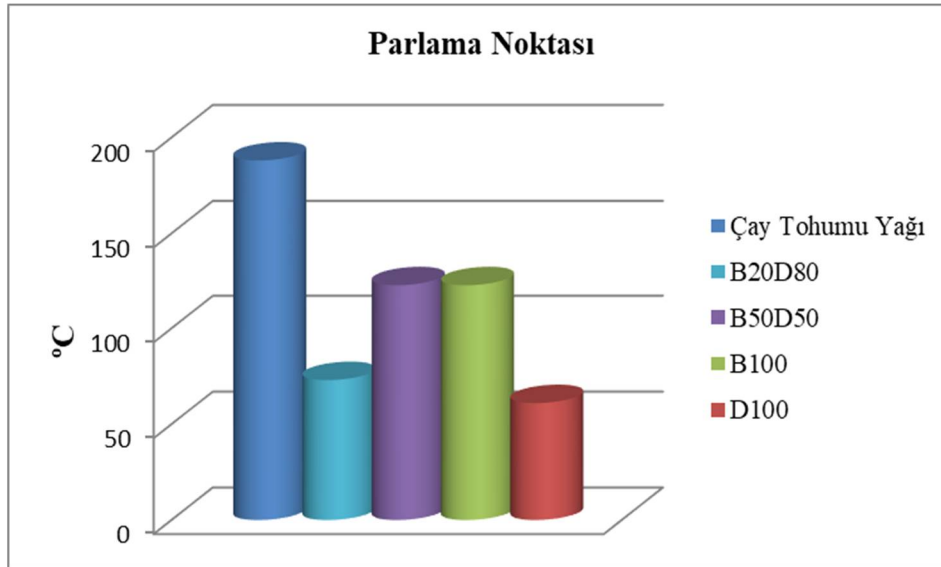
Şekil 3.37. Deney yakıtlarının kalorifik değer analiz sonuçları

Yakıtların renk değerleri şekil 3.38'de görülmektedir. Renk değerleri incelendiğinde, çay tohumu yağı, B₁₀₀ ve B₂₀D₈₀ yakıtlarını aynı renk tonunda olduğu, B₅₀D₅₀ yakıtının D₁₀₀ yakıtına ve diğer yakıt türlerine göre daha koyu renkte olduğu görülmektedir.



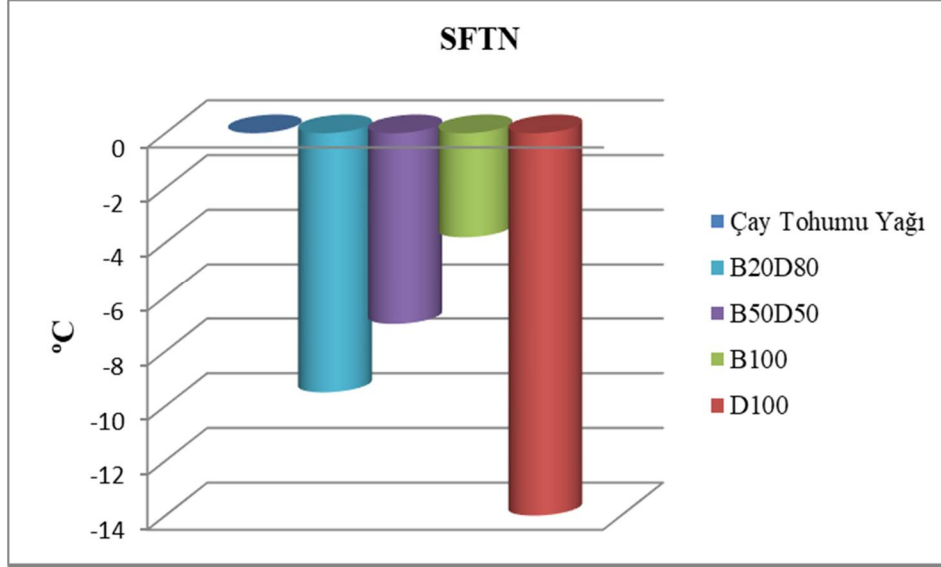
Şekil 3.38. Deneysel yakıtların renk analiz sonuçları

Yakıtların parlama noktası değerleri şekil 3.39'da görülmektedir. Parlama noktası değerleri incelendiğinde çay tohumu yağının parlama noktasının en yüksek olduğu, D₁₀₀ ve B₁₀₀ yakıtların parlama noktası değerlerinin standartlara uygun sonuçlar verdiği ve diğer yakıt türlerinin ise güvenli sınırlarda kullanılabileceği görülmüştür.



Şekil 3.39. Deneysel yakıtların parlama noktası analiz sonuçları

Yakıtların soğukta filtre tıkanma noktası (SFTN) değerleri şekil 3.40'da görülmektedir. SFTN değerleri incelendiğinde, D₁₀₀ yakıtının B₁₀₀ yakıtı ve diğer yakıt karışımlarına göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.



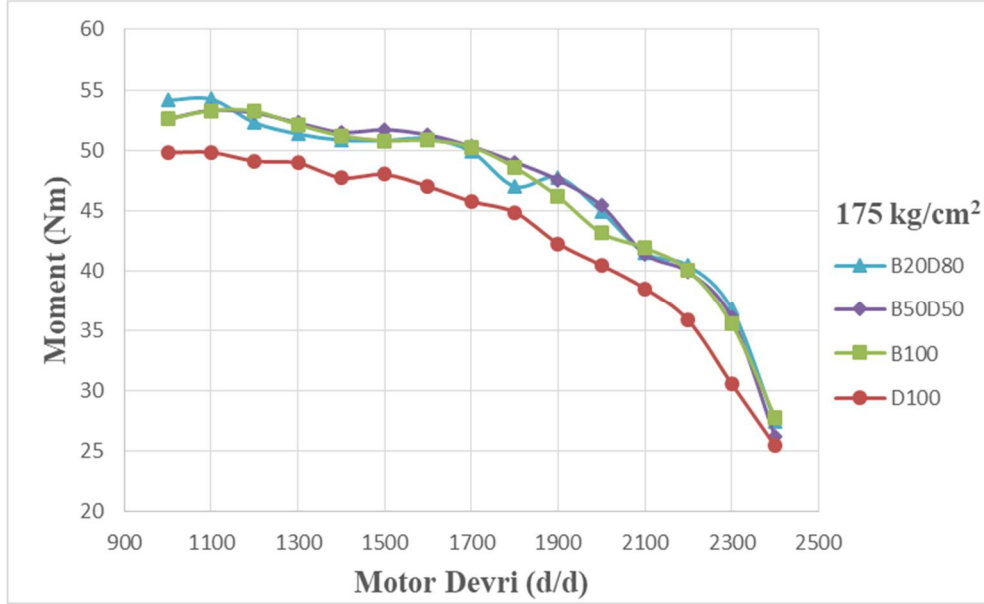
Şekil 3.40. Deney yakıtlarının SFTN analiz sonuçları

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Motor Performans Deneysel Sonuçları

4.1.1. Moment değerlerinin karşılaştırılması

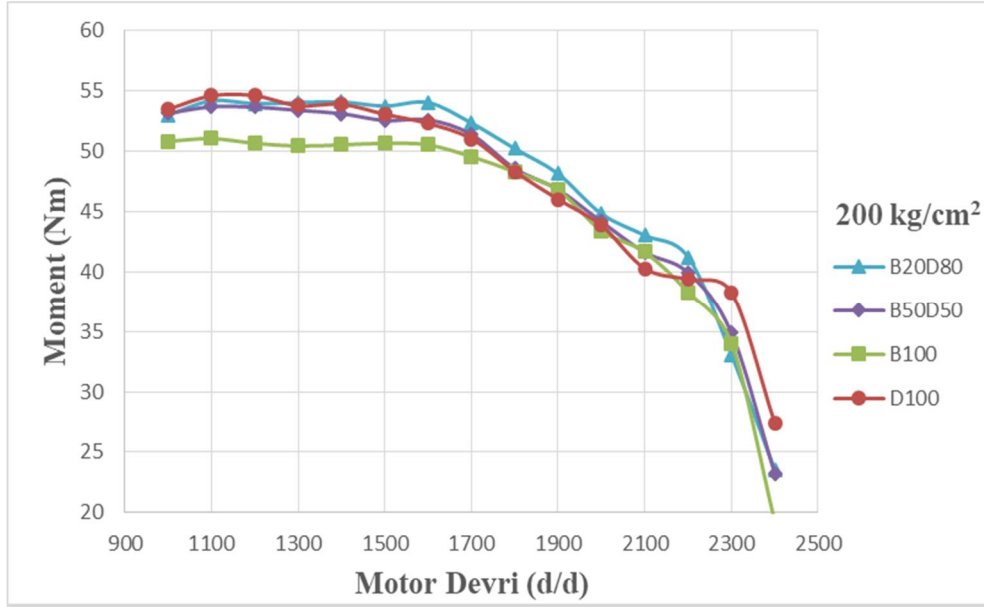
Çay yağı metil esteri (ÇYME) - Motorin yakıt karışımlarının 175 kg/cm^2 ve 200 kg/cm^2 yakıt enjektör basıncı kullanımında, farklı motor devirlerinde tam yük durumunda yapılan deneylerde, motor devrine bağlı olarak motor momenti değerlerinin değişimleri şekil 4.1 ve 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.1. Deneysel yakıtların 175 kg/cm^2 enjektör basıncındaki moment değişimleri

Maksimum motor momenti 175 kg/cm^2 enjektör basıncındaki çalışma durumu için 1100 d/d 'de B₂₀D₈₀ yakıtında 54.235 Nm olarak ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla B₅₀D₅₀, B₂₀D₈₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda % 6.99, % 8.85 ve % 6.94 artış görülmektedir.

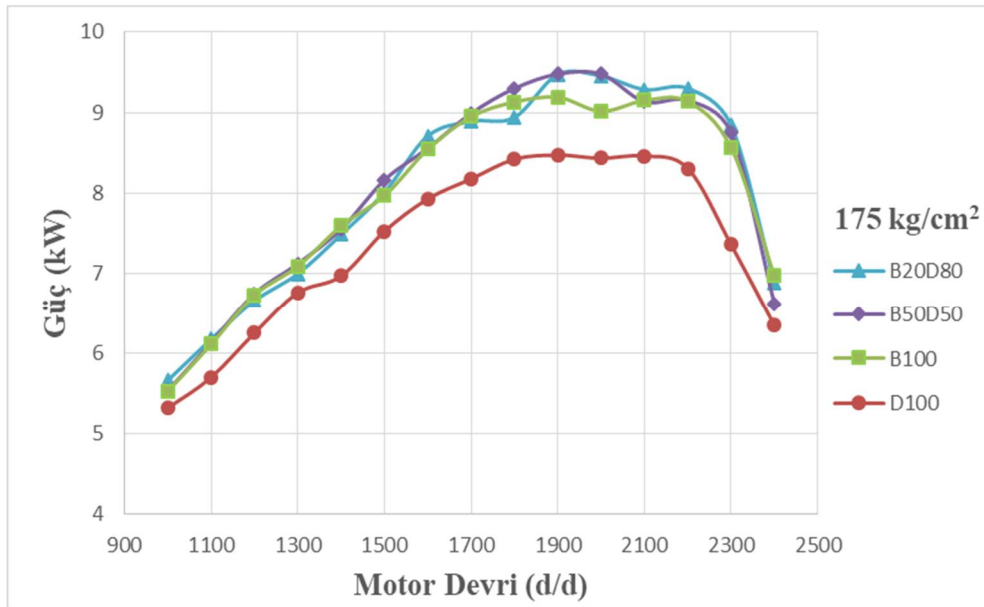
Maksimum motor momenti 200 kg/cm^2 enjektör basıncındaki çalışma durumu için 1100 d/d 'de D₁₀₀ yakıtında 54.570 Nm olarak ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla B₅₀D₅₀, B₂₀D₈₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda % 1.67, % 0.76 ve % 6.49 azalış görülmektedir.



Şekil 4.2. Deneysel yakıtların 200 kg/cm² enjektör basıncındaki moment değişimleri

4.1.2. Güç değerlerinin karşılaştırılması

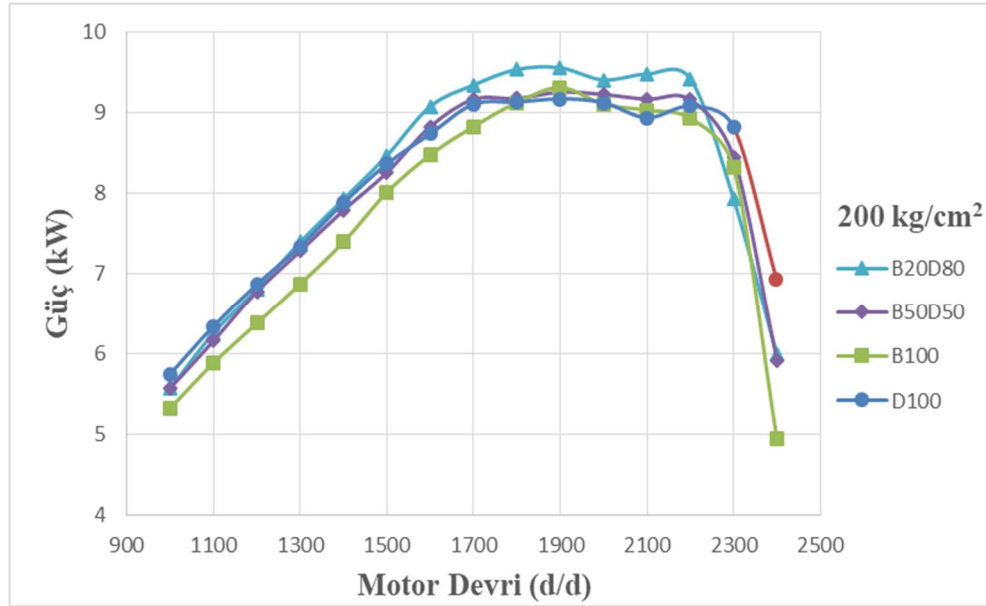
Çay yağı metil esteri (ÇYME) - Motorin yakıt karışımlarının 175 kg/cm² ve 200 kg/cm² yakıt enjektör basıncı kullanımında, farklı motor devirlerinde tam yük durumunda yapılan deneylerde, motor devrine bağlı olarak motor güç değerlerinin değişimleri Şekil 4.3 ve 4.4'de görülmektedir.



Şekil 4.3. Deneysel yakıtların 175 kg/cm² enjektör basıncındaki güç değişimleri

Maksimum motor gücü 175 kg/cm² enjektör basıncındaki çalışma durumu için 1900 d/d'de B₅₀D₈₀ yakıtında 9,477 kW olarak ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile

karşılaştırıldığında sırasıyla B₅₀D₅₀, B₂₀D₈₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda % 11.88, % 11.84 ve % 8.48 artış görülmektedir.



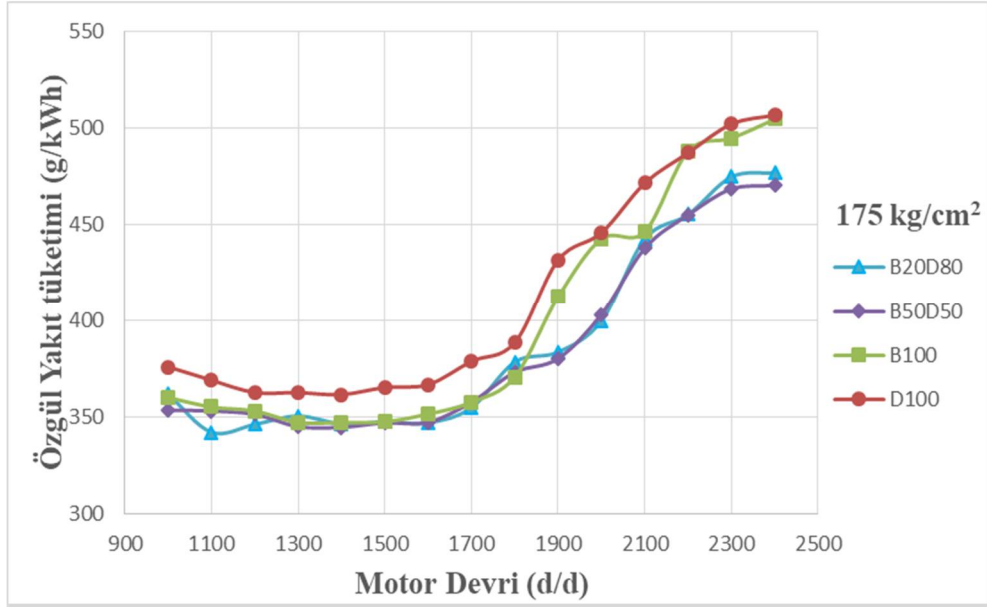
Şekil 4.4. Deney yakıtlarının 200 kg/cm² enjektör basıncındaki güç değişimleri

Maksimum motor gücü 200 kg/cm² enjektör basıncındaki çalışma durumu için 1900 d/d'de B₂₀D₈₀ yakıtında 9.556 kW olarak ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla B₅₀D₅₀, B₂₀D₈₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda % 0.9, % 4.19 ve % 1.52 artış görülmektedir.

4.1.3. Özgül yakıt değerlerinin karşılaştırılması

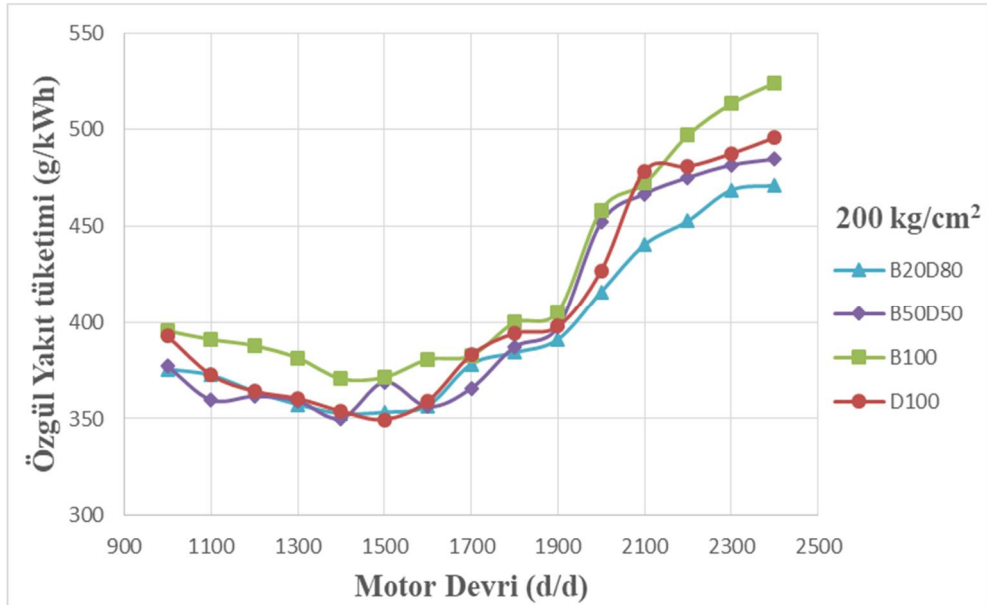
Çay yağı metil esteri (ÇYME) - Motorin yakıt karışımlarının 175 kg/cm² ve 200 kg/cm² yakıt enjektör basıncı kullanımında, farklı motor devirlerinde tam yük durumunda yapılan deneylerde, motor devrine bağlı olarak motor özgül yakıt tüketim değerlerinin değişimleri şekil 4.5 ve 4.6'da görülmektedir.

Minimum özgül yakıt tüketimi 175 kg/cm² enjektör basıncındaki çalışma durumu için, 1400 d/d'de B₅₀D₅₀ yakıtında 344.512 g/kWh olarak ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla B₅₀D₅₀, B₂₀D₈₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda % 4.67, % 4.19 ve % 3.98 azalış görülmektedir.



Şekil 4.5. Deney yakıtlarının 175 kg/cm² enjektör basıncındaki özgül yakıt tüketim değişimleri

Minimum özgül yakıt tüketimi 200 kg/cm² enjektör basıncındaki çalışma durumu için, 1400 d/d'de B₅₀D₅₀ yakıtında 350.213 g/kWh olarak ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla B₅₀D₅₀, B₂₀D₈₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda % 1.06 azalış, % 0.33 azalış ve % 4.72 artış görülmektedir.



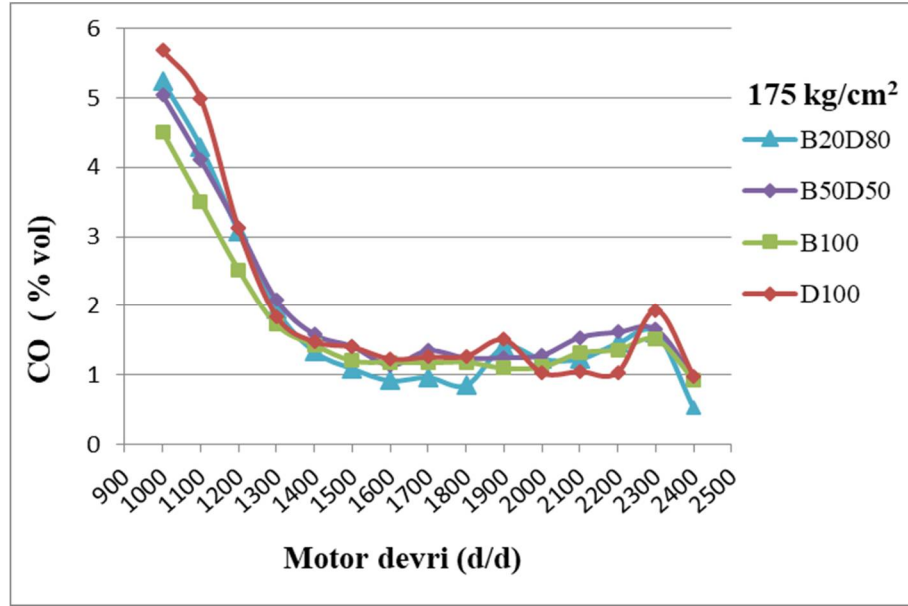
Şekil 4.6. Deney yakıtlarının 200 kg/cm² enjektör basıncındaki özgül yakıt tüketim değişimleri

Deneyleri sonucunda motor momenti, efektif güç ve özgül yakıt tüketimi değerleri incelendiğinde elde edilen sonuçlar, Canacı ve ark. (2009) ve Ögüt ve ark. (2013)'ün yaptığı çalışmalar ile benzerlik göstermektedir.

4.2. Motor Egzoz Emisyon Deney Sonuçları

4.2.1. Karbon monoksit (CO) egzoz emisyon değerleri

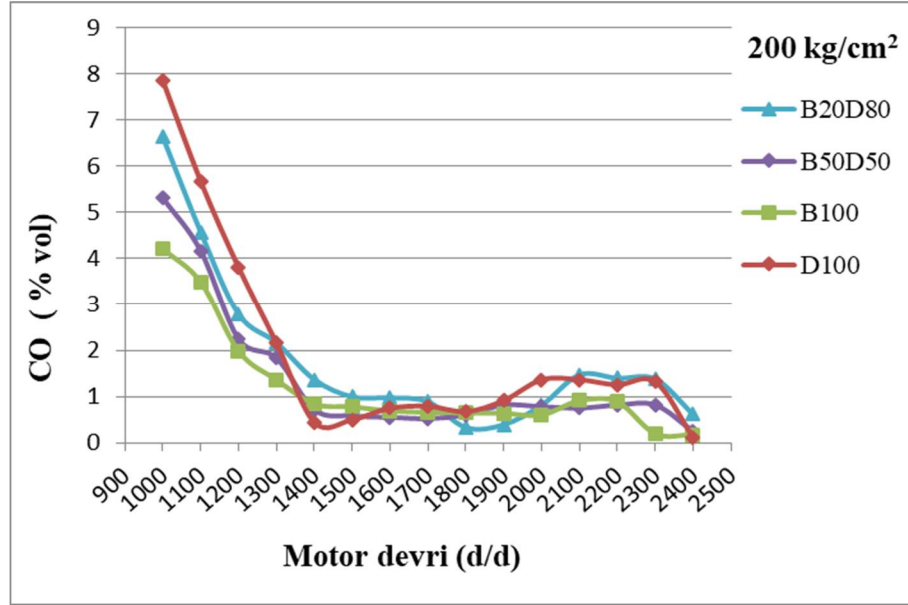
Çay yağı metil esteri (ÇYME) - Motorin yakıt karışımlarının 175 kg/cm^2 ve 200 kg/cm^2 yakıt enjektör basıncı kullanımında, farklı motor devirlerinde tam yük durumunda yapılan deneylerde, motor devrine bağlı olarak karbon monoksit (CO) emisyon değerlerinin değişimleri şekil 4.7 ve 4.8'de görülmektedir.



Şekil 4.7. Deney yakıtlarının 175 kg/cm^2 enjektör basıncındaki karbon monoksit emisyon değişimleri

Karbon monoksit emisyonu 175 kg/cm^2 enjektör basıncındaki çalışma durumu için maksimum motor momenti 1100 d/d 'de B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 13.84, % 17.67 ve % 29.69 azalış görülmektedir. 1900 d/d 'de ki maksimum motor gücünde ise B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 6.91, % 17.28 ve % 27.32 azalış görülmektedir.

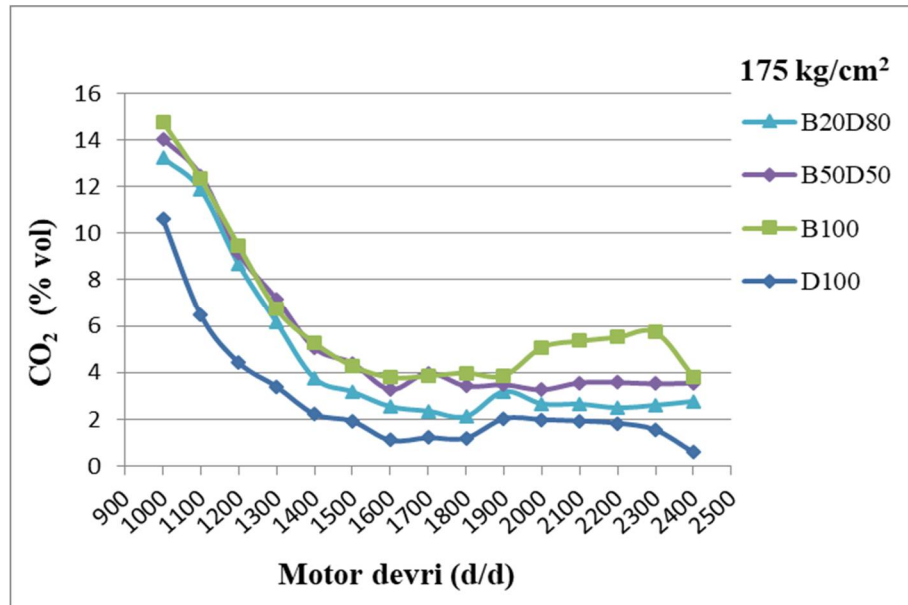
Karbon monoksit emisyonu 200 kg/cm^2 enjektör basıncındaki çalışma durumu için maksimum motor momenti 1100 d/d 'de B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 19.31, % 26.45 ve % 38.43 azalış görülmektedir. 1900 d/d 'de ki maksimum motor gücünde ise B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 56.93, % 10.71 ve % 30.38 azalış görülmektedir.



Şekil 4.8. Deney yakıtlarının 200 kg/cm² enjektör basıncındaki karbon monoksit emisyon değişimleri

4.2.2. Karbon dioksit (CO₂) egzoz emisyon değerleri

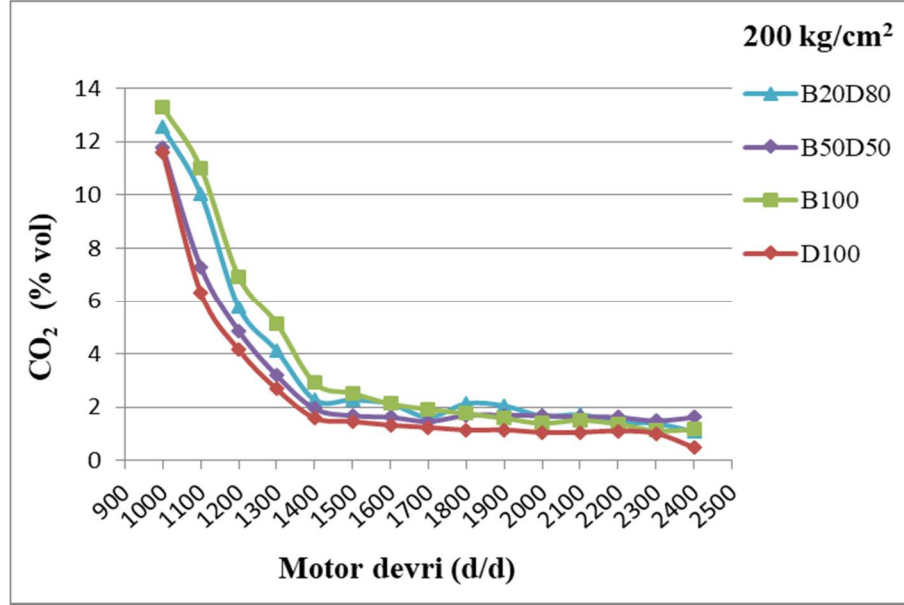
Çay yağı metil esteri (ÇYME) - Motorin yakıt karışımlarının 175 kg/cm² ve 200 kg/cm² yakıt enjektör basıncı kullanımında, farklı motor devirlerinde tam yük durumunda yapılan deneylerde, motor devrine bağlı olarak karbon dioksit (CO₂) emisyon değerlerinin değişimleri şekil 4.9 ve 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.9. Deney yakıtlarının 175 kg/cm² enjektör basıncındaki karbondioksit emisyon değişimleri

Karbon dioksit emisyonu 175 kg/cm² enjektör basıncındaki çalışma durumu için maksimum motor momenti 1100 d/d'de B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀

yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 83.48, % 92.94 ve % 90.72 artış görülmektedir. 1900 d/d'de ki maksimum motor gücünde ise B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 57.39, % 71.59 ve % 90.53 artış görülmektedir.

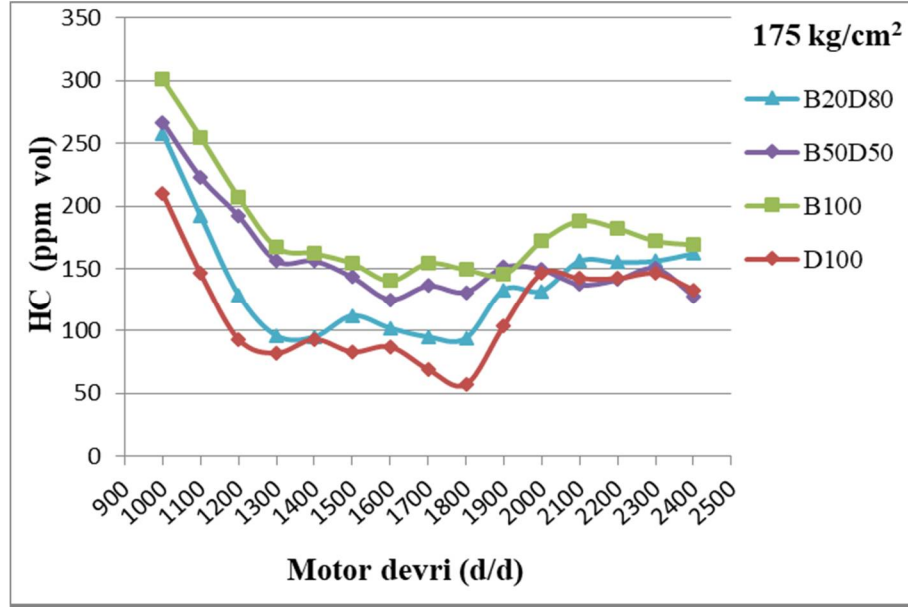


Şekil 4.10. Deneç yakıtlarının 200 kg/cm² enjektör basıncındaki karbondioksit emisyon değışimleri

Karbon dioksit emisyonu 200 kg/cm² enjektör basıncındaki çalışma durumu için maksimum motor momenti 1100 d/d'de B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 58.81, % 15.40 ve % 74.24 artış görülmektedir. 1900 d/d'de ki maksimum motor gücünde ise B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 78.74, % 48.43 ve % 37.97 artış görülmektedir.

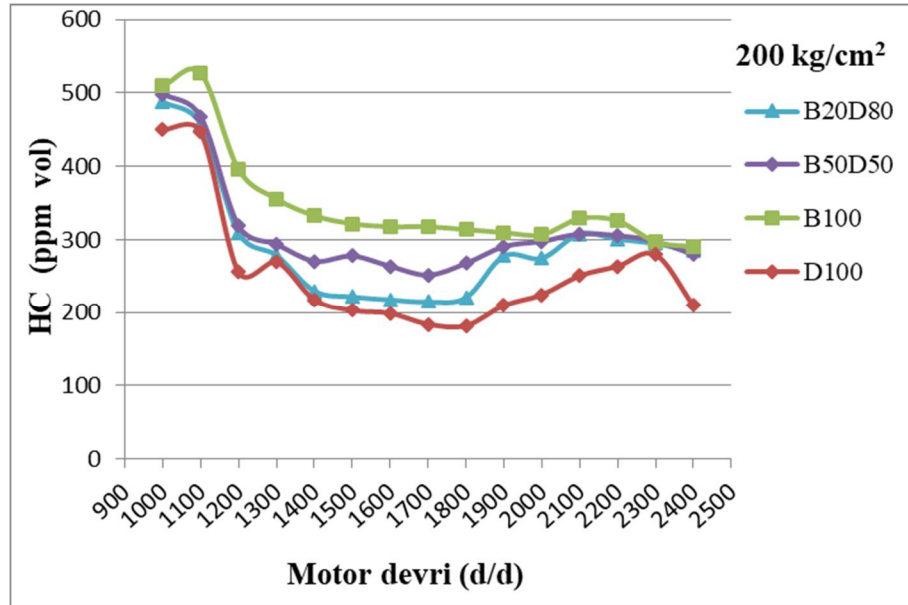
4.2.3. Hidrokarbon (HC) egzoz emisyon değeri

Çay yağı metil esteri (ÇYME) - Motorin yakıt karışımlarının 175 kg/cm² ve 200 kg/cm² yakıt enjektör basıncı kullanımında, farklı motor devirlerinde tam yük durumunda yapılan deneylerde, motor devrine bağılı olarak hidrokarbon (HC) emisyon değeri değışimleri şekil 4.11 ve 4.12'de görülmektedir.



Şekil 4.11. Deney yakıtlarının 175 kg/cm² enjektör basıncındaki hidrokarbon emisyon değişimleri

Hidrokarbon emisyonu 175 kg/cm² enjektör basıncındaki çalışma durumu için maksimum motor momenti 1100 d/d'de B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 31.50, % 52.73 ve % 74.65 artış görülmektedir. 1900 d/d'de ki maksimum motor gücünde ise B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 27.88, % 45.19 ve % 39.42 artış görülmektedir.

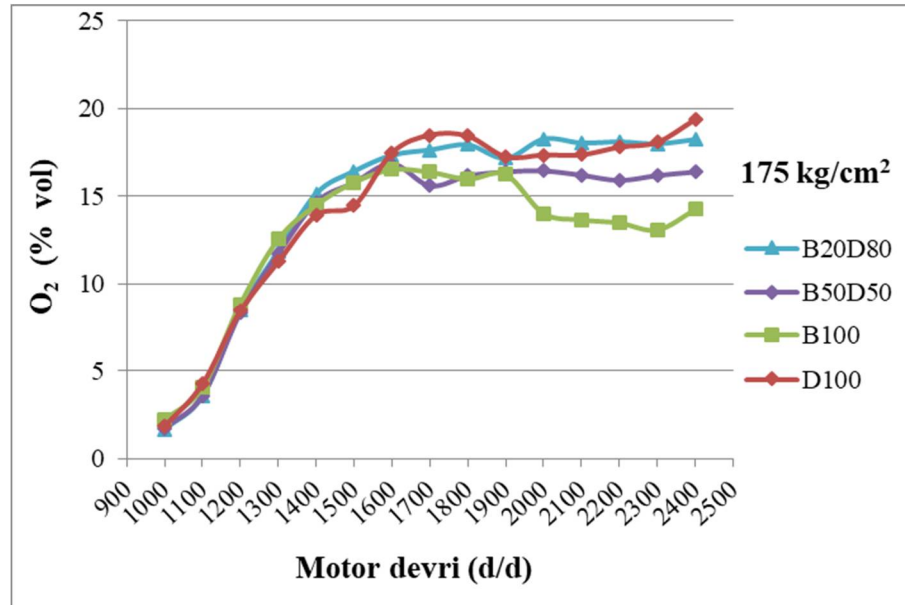


Şekil 4.12. Deney yakıtlarının 200 kg/cm² enjektör basıncındaki hidrokarbon emisyon değişimleri

Hidrokarbon emisyonu 200 kg/cm^2 enjektör basıncındaki çalışma durumu için maksimum motor momenti 1100 d/d 'de $B_{20}D_{80}$, $B_{50}D_{50}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda, D_{100} yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 2.46, % 4.69 ve % 17.89 artış görülmektedir. 1900 d/d 'de ki maksimum motor gücünde ise $B_{20}D_{80}$, $B_{50}D_{50}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda, D_{100} yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 32.38, % 38.57 ve % 47.61 artış görülmektedir.

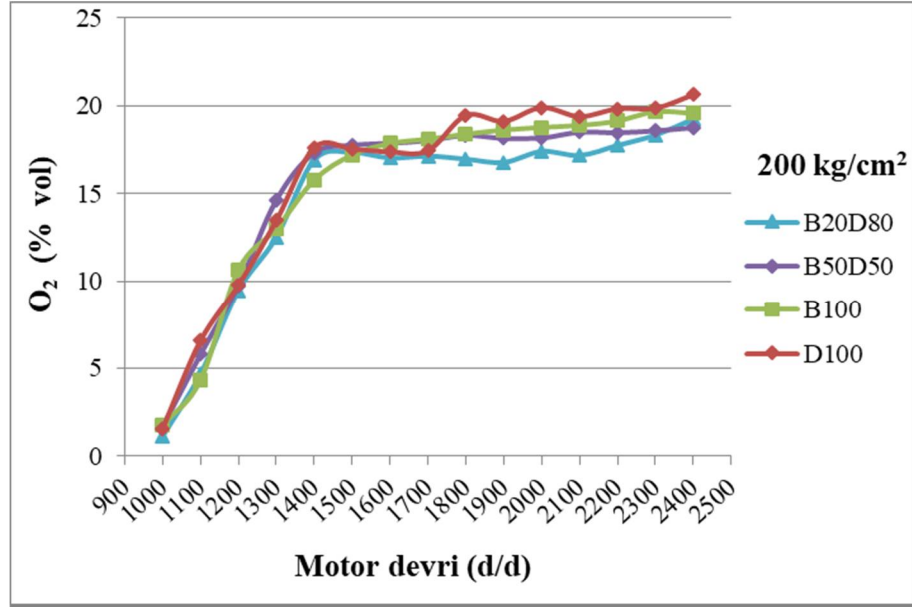
4.2.4. Oksijen (O_2) değerleri

Çay yağı metil esteri (ÇYME) - Motorin yakıt karışımlarının 175 kg/cm^2 ve 200 kg/cm^2 yakıt enjektör basıncı kullanımında, farklı motor devirlerinde tam yük durumunda yapılan deneylerde, motor devrine bağlı olarak oksijen (O_2) değerlerinin değişimleri şekil 4.13 ve 4.14'de görülmektedir.



Şekil 4.13. Deney yakıtlarının 175 kg/cm^2 enjektör basıncındaki oksijen değişimleri

Oksijen değerleri 175 kg/cm^2 enjektör basıncındaki çalışma durumu için maksimum motor momenti 1100 d/d 'de $B_{20}D_{80}$, $B_{50}D_{50}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda, D_{100} yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 16.23, % 15.76 ve % 4.70 azalış görülmektedir. 1900 d/d 'de ki maksimum motor gücünde ise $B_{20}D_{80}$, $B_{50}D_{50}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda, D_{100} yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 0.57, % 4.98 ve % 5.90 azalış görülmektedir.



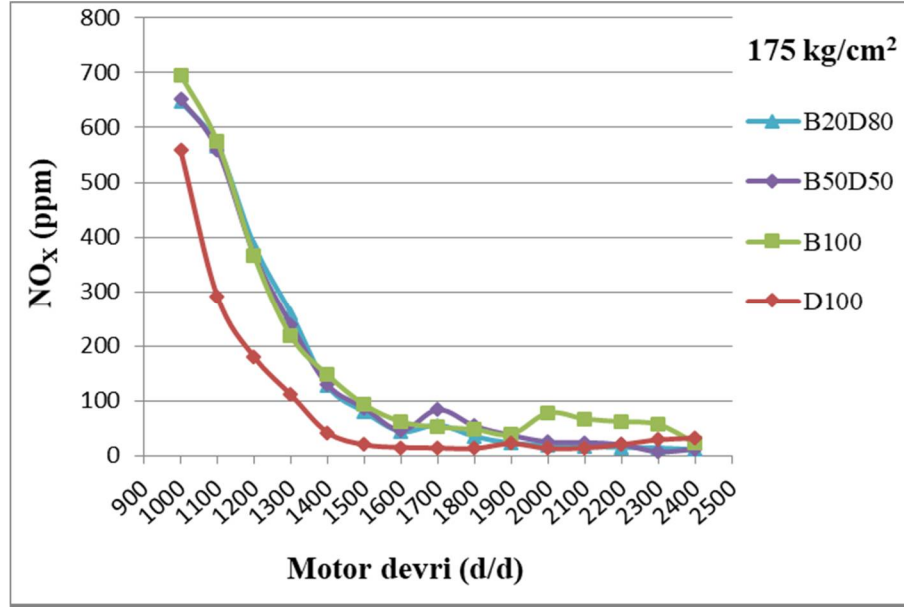
Şekil 4.14. Deney yakıtlarının 200 kg/cm² enjektör basıncındaki oksijen değişimleri

Oksijen değerleri 200 kg/cm² enjektör basıncındaki çalışma durumu için maksimum motor momenti 1100 d/d'de B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 28.72, % 11.85 ve % 34.04 azalış görülmektedir. 1900 d/d'de ki maksimum motor gücünde ise B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 12.24, % 5.07 ve % 2.56 azalış görülmektedir.

4.2.5. Azotoksit (NO_x) egzoz emisyon değerleri

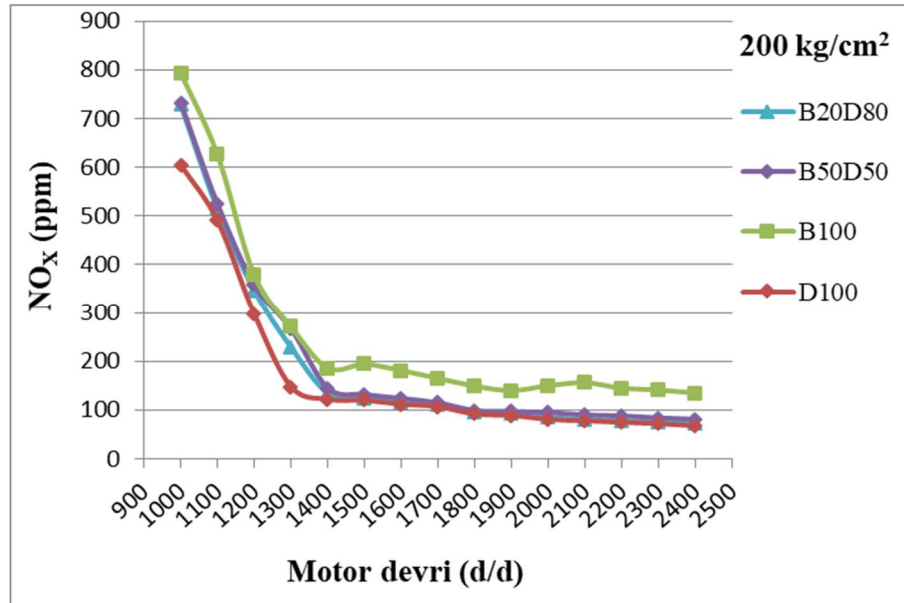
Çay yağı metil esteri (ÇYME) - Motorin yakıt karışımlarının 175 kg/cm² ve 200 kg/cm² yakıt enjektör basıncı kullanımında, farklı motor devirlerinde tam yük durumunda yapılan deneylerde, motor devrine bağlı olarak azot oksit (NO_x) emisyon değerlerinin değişimleri şekil 4.15 ve 4.16'da görülmektedir.

Azot oksit emisyonu 175 kg/cm² enjektör basıncındaki çalışma durumu için maksimum motor momenti 1100 d/d'de B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 94.84, % 92.43 ve % 97.25 artış görülmektedir. 1900 d/d'de ki maksimum motor gücünde ise B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 4.54, % 68.18 ve % 77.27 artış görülmektedir.



Şekil 4.15. Deney yakıtlarının 175 kg/cm² enjektör basıncındaki azot oksit emisyon değişimleri

Azot oksit emisyonu 200 kg/cm² enjektör basıncındaki çalışma durumu için maksimum motor momenti 1100 d/d'de B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 4.68, % 6.92 ve % 27.49 artış görülmektedir. 1900 d/d'de ki maksimum motor gücünde ise B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 4.49, % 8.98 ve %57.30 artış görülmektedir.

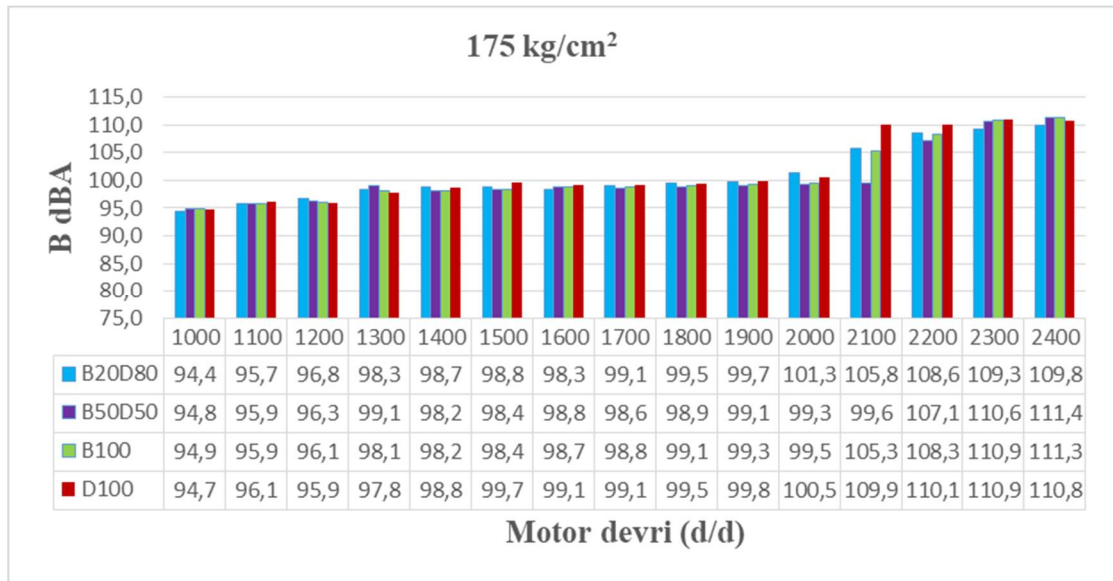
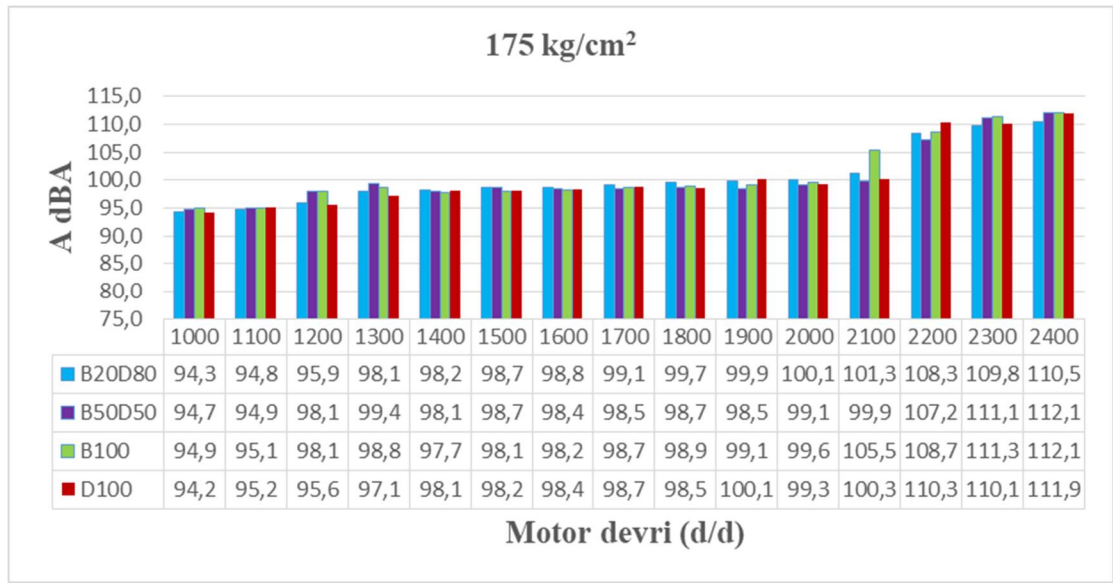


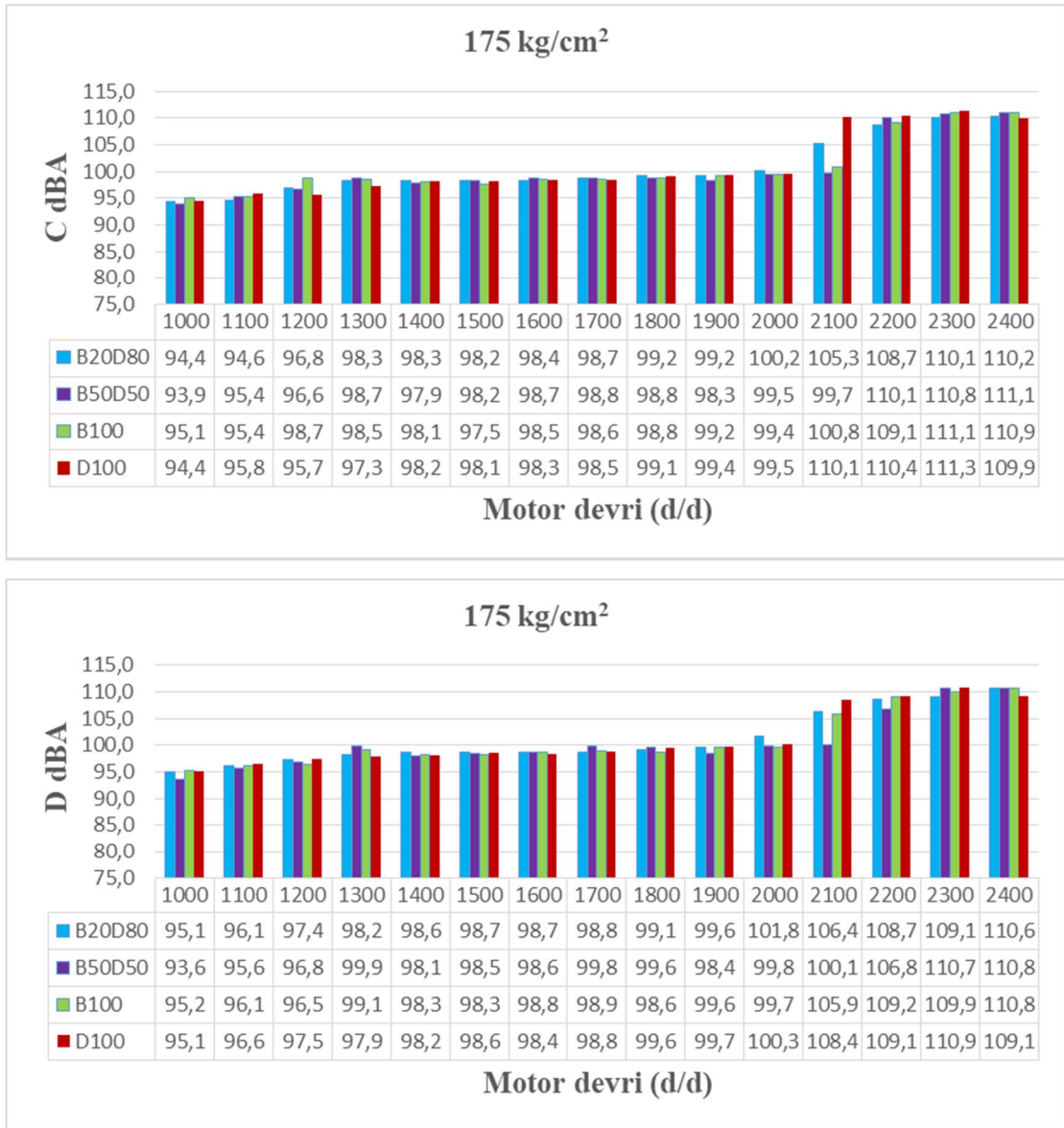
Şekil 4.16. Deney yakıtlarının 200 kg/cm² enjektör basıncındaki azot oksit emisyon değişimleri

Deneyler sonucunda elde edilen egzoz emisyonları (CO), (HC), (CO₂), (O₂) ve (NO_x) değerleri incelendiğinde elde edilen sonuçlar, Özdemir (2011) ve Şahin (2019) un yaptığı çalışmalar ile benzerlik göstermektedir.

4.3. Motor Gürültü Emisyon Deney Sonuçları

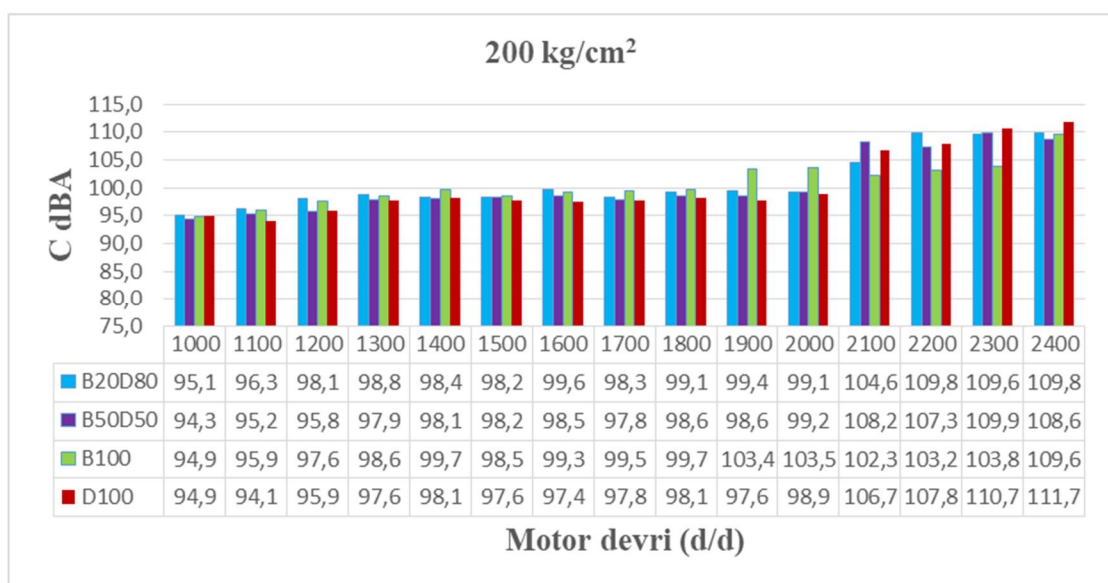
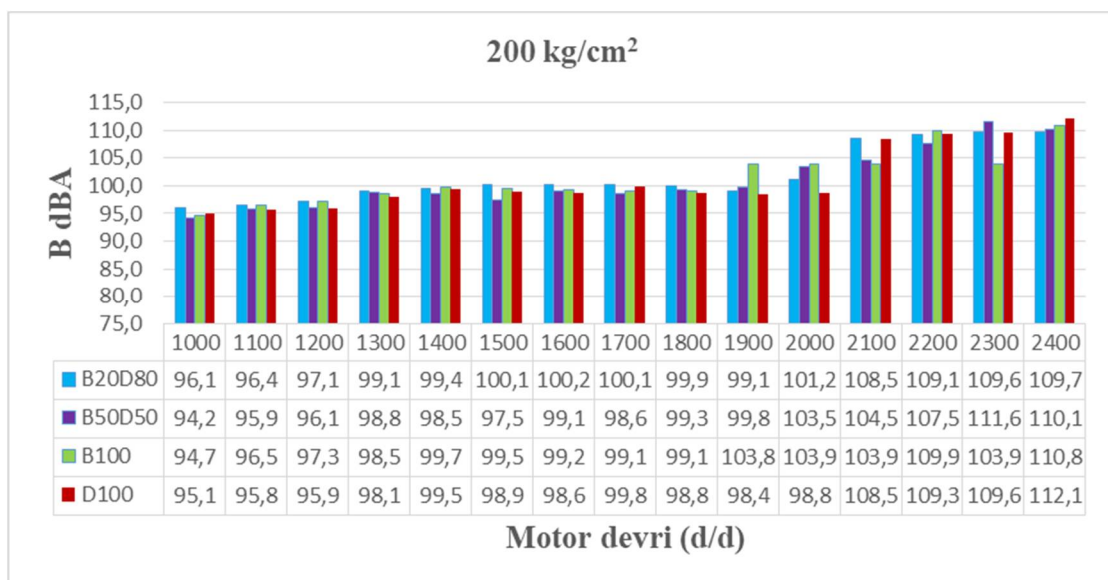
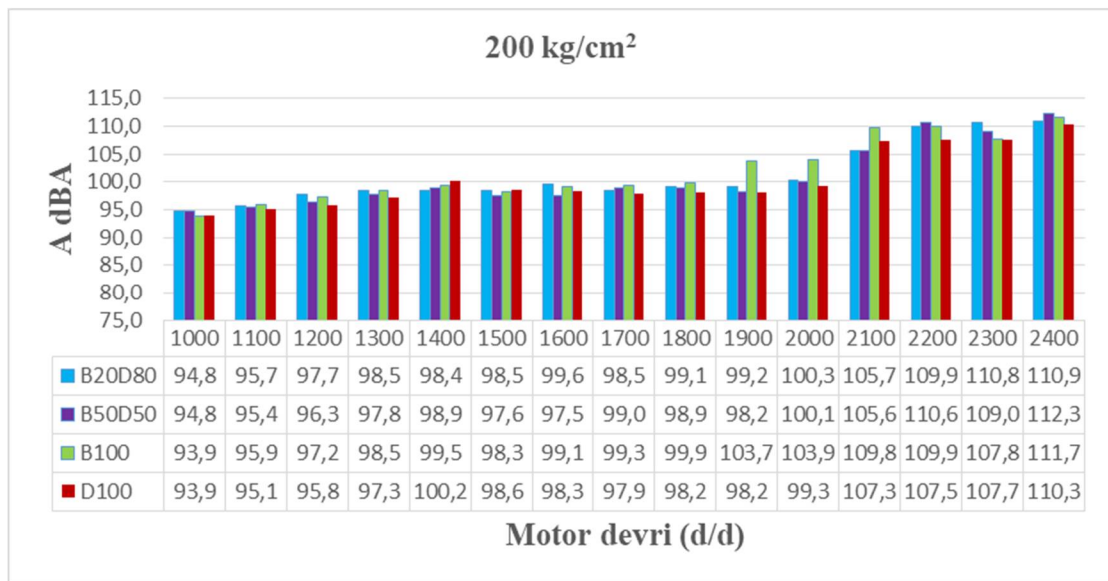
Çay yağı metil esteri (ÇYME) - Motorin yakıt karışımlarının 175 kg/cm² ve 200 kg/cm² yakıt enjektör basıncı kullanımında, farklı motor devirlerinde tam yük durumunda yapılan deneylerde, motor devrine bağlı olarak motora 50 cm uzaklıkta dört ayrı noktadan ölçülen motor gürültü emisyon değerlerinin değişimleri şekil 4.17 ve 4.18'de görülmektedir.

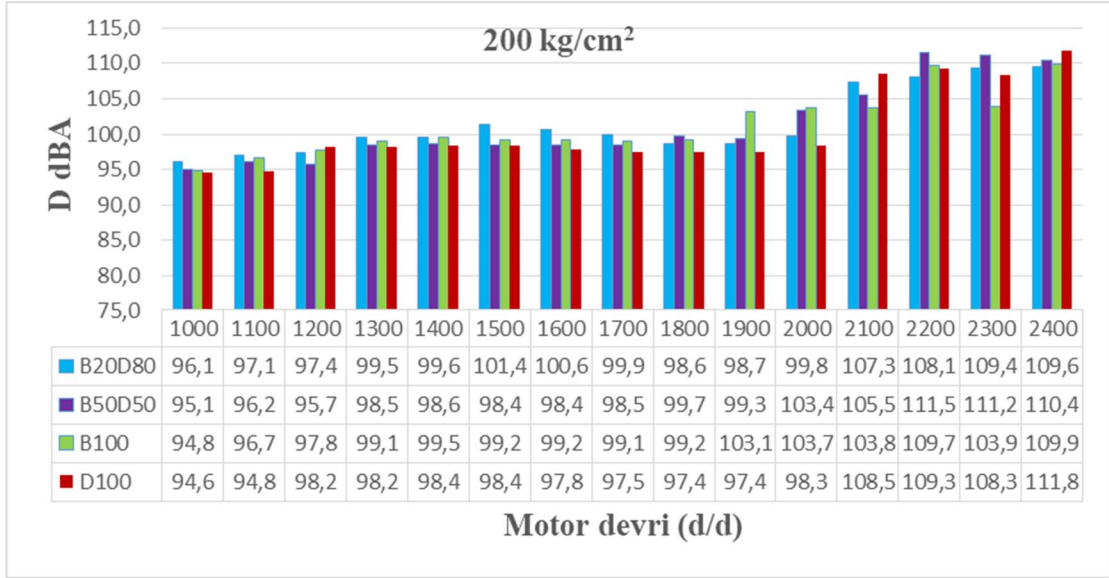




Şekil 4.17. Deney yakıtlarının 175 kg/cm² enjektör basıncındaki gürültü emisyon değişimleri

Gürültü emisyonu 175 kg/cm² enjektör basıncındaki çalışma durumu için maksimum motor momenti devri 1100 d/d'de A, B, C ve D noktalarından 50 cm mesafede ölçülen değerlere göre ortalama alındığında B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 0.65, % 0.49 ve % 0.31 azalış, maksimum güç devri 1900 d/d'de ise B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 0.15, % 1.17 ve % 0.45 azalış görülmektedir.





Şekil 4.18. Deney yakıtlarının 200 kg/cm² enjektör basıncındaki gürültü emisyon değişimleri

Gürültü emisyonu 200 kg/cm² enjektör basıncındaki çalışma durumu için maksimum motor momenti devri 1100 d/d'de A, B, C ve D noktalarından 50 cm mesafede ölçülen değerlere göre ortalama alındığında B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 1.50, % 0.76 ve % 1.36 artış, maksimum güç devri 1900 d/d'de ise B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla %1.22, % 1.09 ve % 5.72 artış görülmektedir.

Motor deneyleri sonucunda elde edilen gürültü emisyon değerleri incelendiğinde elde edilen sonuçlar, Sanjid et.al., (2014) tarafından yapılan çalışmalardaki sonuçlar ile benzerlik göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Yüksek lisans tez çalışmasında, çay tohumundan elde edilen yağ, transesterifikasyon yöntemi ile çay yağı metil esterine (ÇYME) dönüştürülmüştür. Çay yağı metil esteri dizel yakıtı ile belli oranlarda hacimsel olarak karıştırılarak (D₁₀₀, B₁₀₀, B₅₀D₅₀ ve B₂₀D₈₀) deney yakıtları elde edilmiştir. Deney yakıtlarının; yoğunluğu, kinematik viskozitesi, setan sayısı, pH miktarı, bulutlanma, akma ve donma noktası testleri, kalorifik değeri, renk tayini, parlama noktası, soğukta filtre tıkanma noktası testi ve bakır çubuk korozyonu testleri yapılarak yakıt özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca elde edilen karışımlar, motorin ve biyodizel yakıtı, 15 HP gücünde, tek silindri, dört zamanlı, su soğutmalı dizel motorda denenerak incelenmiştir. Her yakıtta motor tam yük altında çalıştırılmış ve deneyler sonucunda test motorunun 175 kg/cm² ve 200 kg/cm² enjektör basınçlarındaki motor momenti, motor gücü, özgül yakıt tüketimi, egzoz ve gürültü emisyonları karakteristiklerine ulaşılmıştır.

Maksimum motor momenti 175 kg/cm² enjektör basıncındaki çalışma durumu için 1100 d/d'de B₂₀D₈₀ yakıtında 54.235 Nm olarak ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla B₅₀D₅₀, B₂₀D₈₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda % 6.99, % 8.85 ve % 6.94 artış görülmektedir. Çizelge 3.6'da da görüldüğü gibi motorin (D₁₀₀) yakıtına göre çay yağı metil esterinin (B₁₀₀) ve karışımların ısı değerlerinin düşük olmasına rağmen maksimum motor momenti 1100 d/d'de meydana geldiği için düşük devirlerde motorun yanma hızı da düşük olmaktadır. Çay yağı metil esteri oksijen içeriği bakımından yanma verimini artırmaktadır. Bu yüzden motorun düşük devirlerinde yanma iyileşmekte ve moment değerlerinde bir miktar artış göstermektedir. Maksimum motor momenti 200 kg/cm² enjektör basıncındaki çalışma durumu için 1100 d/d'de D₁₀₀ yakıtında 54.570 Nm olarak ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla B₅₀D₅₀, B₂₀D₈₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda % 1.67, % 0.76 ve % 6.49 azalış görülmektedir. Düşük devirlerde motorun yanma hızı düşük olmasına rağmen enjektör basıncının artması ile yakıt daha atomize hale gelmekte ve yanma daha düzenli olmaktadır. Çay yağı metil esteri özellik bakımından yanma verimini artırmasına rağmen, çizelge 3.6'da da görüldüğü gibi motorin (D₁₀₀) yakıtına göre çay yağı metil esterinin (B₁₀₀) ve karışımların ısı değerlerinin düşük olması sebebiyle moment değerleri de daha düşük çıkmıştır.

Maksimum motor gücü 175 kg/cm² enjektör basıncındaki çalışma durumu için 1900 d/d'de B₅₀D₈₀ yakıtında 9,477 kW olarak ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile

karşılaştırıldığında sırasıyla B₅₀D₅₀, B₂₀D₈₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda % 11.88, % 11.84 ve % 8.48 artış görülmektedir. Çizelge 3.6'da da görüldüğü gibi motorin (D₁₀₀) yakıtına göre çay yağı metil esterinin (B₁₀₀) ve karışımların setan sayılarının yüksek olması ve biyodizelin yağlayıcılık özelliği sayesinde yüksek devirlerde yanma iyileşmesiyle güç değerleri motorin yakıtına göre daha yüksek çıkmıştır. Maksimum motor gücü 200 kg/cm² enjektör basıncındaki çalışma durumu için 1900 d/d'de B₂₀D₈₀ yakıtında 9.556 kW olarak ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla B₅₀D₅₀, B₂₀D₈₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda % 0.9, % 4.19 ve % 1.52 artış görülmektedir. Çizelge 3.6'da da görüldüğü gibi motorin (D₁₀₀) yakıtına göre çay yağı metil esterinin (B₁₀₀) ve karışımların setan sayılarının yüksek olması ve biyodizelin yağlayıcılık özelliği ve enjektör basıncının da artmasıyla, yüksek devirlerde yanma düzeli hale gelmiş ve güç değerleri motorin yakıtına göre daha yüksek çıkmıştır.

Minimum özgül yakıt tüketimi 175 kg/cm² enjektör basıncındaki çalışma durumu için, 1400 d/d'de B₅₀D₅₀ yakıtında 344.512 g/kWh olarak ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla B₅₀D₅₀, B₂₀D₈₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda % 4.67, % 4.19 ve % 3.98 azalış görülmektedir. Çizelge 3.6'da da görüldüğü gibi motorin (D₁₀₀) yakıtına göre çay yağı metil esterinin (B₁₀₀) ve karışımların ısı değerlerinin düşük olmasına rağmen düşük devirlerde motorun yanma hızı da azalmaktadır. Çay yağı metil esteri oksijen içeriği bakımından yanma verimini artırmaktadır. Bu yüzden motorun düşük devirlerinde yanma iyileşmekte ve özgül yakıt tüketimleri değerlerinde bir miktar azalış göstermektedir. Minimum özgül yakıt tüketimi 200 kg/cm² enjektör basıncındaki çalışma durumu için, 1400 d/d'de B₅₀D₅₀ yakıtında 350.213 g/kWh olarak ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla B₅₀D₅₀, B₂₀D₈₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda % 1.06 azalış, % 0.33 azalış ve % 4.72 artış görülmektedir. Düşük devirlerde motorun yanma hızı daha az olmasına rağmen enjektör basıncının artması ile yakıt daha atomize hale gelmekte ve yanma daha düzenli olmaktadır. Çay yağı metil esteri oksijen içeriği bakımından yanma verimini artırmaktadır. Ancak çizelge 3.6'da da görüldüğü gibi motorin (D₁₀₀) yakıtına göre çay yağı metil esterinin (B₁₀₀) ısı değerlerinin düşük olması sebebiyle özgül yakıt tüketim değerleri de daha yüksek çıkmıştır.

Karbon monoksit emisyonu 175 kg/cm² enjektör basıncındaki çalışma durumu için maksimum motor momenti 1100 d/d'de B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 13.84, % 17.67 ve % 29.69 azalış görülmektedir. 1900 d/d'de ki maksimum motor gücünde ise B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 6.91, % 17.28 ve %

27.32 azalış görülmektedir. Karbon monoksit emisyonu 200 kg/cm^2 enjektör basıncındaki çalışma durumu için maksimum motor momenti 1100 d/d'de B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 19.31, % 26.45 ve % 38.43 azalış görülmektedir. 1900 d/d'de ki maksimum motor gücünde ise B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 56.93, % 10.71 ve % 30.38 azalış görülmektedir. Bunun sebebi biyodizel yakıtının içeriğinde bulunan oksijenden dolayı yanma esnasında karbon monoksiti oksitleyerek karbon dioksit dönüştürmektedir.

Hidrokarbon emisyonu 175 kg/cm^2 enjektör basıncındaki çalışma durumu için maksimum motor momenti 1100 d/d'de B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 31.50, % 52.73 ve % 74.65 artış görülmektedir. 1900 d/d'de ki maksimum motor gücünde ise B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 27.88, % 45.19 ve % 39.42 artış görülmektedir. Hidrokarbon emisyonu 200 kg/cm^2 enjektör basıncındaki çalışma durumu için maksimum motor momenti 1100 d/d'de B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 2.46, % 4.69 ve % 17.89 artış görülmektedir. 1900 d/d'de ki maksimum motor gücünde ise B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 32.38, % 38.57 ve % 47.61 artış görülmektedir. Motorun düşük devirlerinde yakıt tutuşma sıcaklığı da düşük olduğu için hidrokarbon emisyonları artış eğilimindedir. Motorun yüksek devirlerinde ise fakir karışım meydana gelmekte ve yanma kötüleştiği için hidrokarbon emisyonları artmaktadır.

Karbon dioksit emisyonu 175 kg/cm^2 enjektör basıncındaki çalışma durumu için maksimum motor momenti 1100 d/d'de B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 83.48, % 92.94 ve % 90.72 artış görülmektedir. 1900 d/d'de ki maksimum motor gücünde ise B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 57.39, % 71.59 ve % 90.53 artış görülmektedir. Karbon dioksit emisyonu 200 kg/cm^2 enjektör basıncındaki çalışma durumu için maksimum motor momenti 1100 d/d'de B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 58.81, % 15.40 ve % 74.24 artış görülmektedir. 1900 d/d'de ki maksimum motor gücünde ise B₂₀D₈₀, B₅₀D₅₀ ve B₁₀₀ formunda yakıtlarda, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 78.74, % 48.43 ve % 37.97 artış görülmektedir. Karışım yakıtısa ve biyodizelin karbondioksit emisyonunun

motorin yakıtına göre yüksek çıkmasının nedeni, biyodizelde bulunan oksijenden dolayı hava fazlalık katsayılarının motorin yakıtına göre yüksek olmasıdır.

Oksijen emisyonu 175 kg/cm^2 enjektör basıncındaki çalışma durumu için maksimum motor momenti 1100 d/d 'de $B_{20}D_{80}$, $B_{50}D_{50}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda, D_{100} yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 16.23, % 15.76 ve % 4.70 azalış görülmektedir. 1900 d/d 'de ki maksimum motor gücünde ise $B_{20}D_{80}$, $B_{50}D_{50}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda, D_{100} yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 0.57, % 4.98 ve % 5.90 azalış görülmektedir. Oksijen emisyonu 200 kg/cm^2 enjektör basıncındaki çalışma durumu için maksimum motor momenti 1100 d/d 'de $B_{20}D_{80}$, $B_{50}D_{50}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda, D_{100} yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 28.72, % 11.85 ve % 34.04 azalış görülmektedir. 1900 d/d 'de ki maksimum motor gücünde ise $B_{20}D_{80}$, $B_{50}D_{50}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda, D_{100} yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 12.24, % 5.07 ve % 2.56 azalış görülmektedir. Çizelge 3.6'da de görüldüğü gibi D_{100} yakıtının diğer deney yakıtlarına göre yoğunluk değerinin az olması sebebiyle, yanma odasında daha fazla yer kaplamasından ve giren hava miktarının azalmasından dolayı D_{100} yakıtının O_2 emisyon değeri diğer yakıtlara göre daha düşük motor devirlerinde daha az çıkmıştır. Motordevri yükseldikçe karışım yakıtlarındaki biyodizel oranından dolayı oksijen içeriği yanma verimini artırmıştır.

Azot oksit emisyonu 175 kg/cm^2 enjektör basıncındaki çalışma durumu için maksimum motor momenti 1100 d/d 'de $B_{20}D_{80}$, $B_{50}D_{50}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda, D_{100} yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 94.84, % 92.43 ve % 97.25 artış görülmektedir. 1900 d/d 'de ki maksimum motor gücünde ise $B_{20}D_{80}$, $B_{50}D_{50}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda, D_{100} yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 4.54, % 68.18 ve % 77.27 artış görülmektedir. Azot oksit emisyonu 200 kg/cm^2 enjektör basıncındaki çalışma durumu için maksimum motor momenti 1100 d/d 'de $B_{20}D_{80}$, $B_{50}D_{50}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda, D_{100} yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 4.68, % 6.92 ve % 27.49 artış görülmektedir. 1900 d/d 'de ki maksimum motor gücünde ise $B_{20}D_{80}$, $B_{50}D_{50}$ ve B_{100} formunda yakıtlarda, D_{100} yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla % 4.49, % 8.98 ve % 57.30 artış görülmektedir. Artışın sebebi, karışım yakıtlarında olan oksijence zengin dolgu havasının emisyon miktarını artırmasıdır.

Gürültü emisyonu değerleri incelendiğinde D_{100} yakıtı kullanımında meydana gelen emisyon değerlerinin diğer deney yakıtlarına göre motorun düşük çalışma devirlerinde daha fazla gürültü çıkardığı, ancak yüksek motor devirlerine ise daha az gürültü çıkardığı sonucuna varılmıştır. Bunun sebebi Çizelge 3.6'da da görüldüğü gibi biyodizelin ve karışım yakıtlarının viskozite değerinin D_{100} yakıtına göre daha fazla

olmasıdır. Düşük devirlerdeki azalma ise biyodizelin yağlayıcı özelliği sayesinde sönümlenme sağlanmasından kaynaklanmaktadır.

Kazanımlarımız;

- Motorin – çay tohumu yağı biyodizeli yakıt karışımları ile egzoz emisyonlarının motorin yakıt kullanımına göre azaltılması,
- Viskozitesi yüksek olan çay tohumu yağı biyodizeli yakıtının, motorin yakıtı ile karıştırılarak viskozitesinin azaltılması ve dizel motorlarda kullanım alanının genişletilmesi,
- Çay tohumu yağı biyodizeli yakıtının oksijenli bir yakıt olması nedeniyle motorinin yanma verimini iyileştirmesi, olarak belirlenmiştir.

5.2 Öneriler

Sonuçların daha somut hale gelmesi için:

- Karışım içerisindeki biyodizel oranlarına çeşitli alkoller eklenerek ortaya çıkacak yakıt karışımları ile motor performans, egzoz emisyon ve yağlama yağı deneyleri yapılmalıdır.
- Çay tohumu yağı biyodizel ile dizel yakıtı karışımlarının, malzeme uyumu açısından Euro 6.2 egzoz emisyon standardına sahip bir dizel motorlarda kullanımı hakkında çalışmalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abu-Zaid M., 2020, Evaluating The Impact of Using Various Biodiesel Blends on The Performance of Diesel Engine at Variable Load Conditions, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 715 (2020) 012068.
- Akgün, G., Bayındır, H., Aydın H. ve Düz, Z., 2009, Hayvansal Yağlardan Biodizel Üretimi ve Teknik Değerlerinin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma, V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Diyarbakır, Sayfa 131-136.
- Akyarlı, A., Alpaslan, N., Çiçek, T., Diktaş, E., Elmacı, Y., Karagözlü, C., Öztüre, N., Sayın, R., Sezerman, U., Sındır, K.O., Sipahi, D. ve Şahin, O., 2004, Biyodizelin Yakıtın Uluslararası Standartlarda Üretimi, Bioenerji Sempozyumu, İzmir, Sayfa 1-11.
- Alptekin, E. ve Çanakçı, M. 2006, Biyodizel ve Türkiye'deki Durumu, Mühendis ve Makine Dergisi, Cilt 47., Sayı 561, Sayfa 57-64.
- Altınsoy S.A., 2007, Biyodizel Üretimi, Motorlarda Kullanımı ve Türkiye'deki Kaynakların İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 15-16.
- Anonim, 2019, <http://biriz.biz/cay/CamelliaSinensisResim.htm>, [Erişim Tarihi: 25.11.2019].
- Anonim, 2020, <http://rizeziraatodasi.com/cay-bitkisinin-ozellikleri/>, [Erişim Tarihi: 07.01.2020].
- Anonim, 2021, <https://slideplayer.biz.tr/slide/2622238/>, [Erişim Tarihi: 24.01.2021].
- Arabacı, E. and Kılıç, B., 2019, Development of the Biodiesel Characteristic Index for Biodiesel Fuels, The International Multidisciplinary Congress of Eurasia (IMCOFE), Antalya/Turkey.
- Artukoğlu, B.D., 2006, Hayvansal Atık Yağlardan Biyodizel Üretimi ve Özelliklerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 8-9.
- Arunprasad S. and Balusamy T., 2018, Experimental Investigation on The Performance and Emission Characteristics of a Diesel Engine By Varying The Injection Pressure and Injection Timing Using Mixed Biodiesel, International Journal of Green Energy, volüme 15, Issue 6, Pages 376-384.
- Asakuma, Y., Kawanami, O., Maeda, K., Kuramochi, H. and Fukui, K., 2011, Theoretical Study of the Transesterification of Triglycerides to Biodiesel Fuel under Various

- Conditions, International Journal of Thermodynamics (IJOT), Volume 14, No 4, pages 193-196.
- Aydin F. and Caliskan S., 2020, Evaluation of Biodiesel Produced From Tea Seed Oil in Terms of Fatty Acid Components, International Journal of Energy Applications and Technologies, Volume 7(1), Pages 13-19, DOI: 10.31593/ijeat.699439.
- Bilsa, 2021, Bilsa Mod 2210 Egzoz Emisyon Cihazı, <https://www.bilsaltd.com/egzozemisyon-cihazlar>, [Erişim Tarihi: 26.01.2021].
- Canakci, M., Sayin, C., Ozsezen, A. N. and Turkcan, A., 2009. Effect of Injection Pressure on the Combustion, Performance, and Emission Characteristics of a Diesel Engine Fueled with Methanol-blended Diesel Fuel. Energy & Fuels V.23, p: 2908–2920.
- Çılgın E., 2015, 3rd Generation Algae Biofuels Technology Investigation of The Effect of A Diesel Engine Performance and Exhaust Emissions, Iğdır University Journal of the Institute of Science and Technology, Volume 5, Issue 3, Pages 33-41.
- Demirbaş, A., 2008, Biodiesel, A Realistic Fuel Alternative for Diesel Engines, Springer, pp. 111 - 119.
- Demirbaş, A., 2010, Tea Seed Upgrading Facilities and Economic Assessment of Biodiesel Production from Tea Seed Oil, Energy Conversion and Management, Volume 51, Issue 12, Pages 2595 - 2599.
- Deteq, 2021, Deteq TP03 enjektör değişim cihazı [online], <http://www.deteq.com/slides/slide/tp03-brochure-4>, [Erişim Tarihi: 30.01.2021].
- Duda K., Wierzbicki S., Śmieja M. and Mikulski M., 2018, Comparison of Performance and Emissions of a CRDI Diesel Engine Fuelled with Biodiesel of Different Origin, Fuel 212, Pages 202–222.
- Durmuş, B. and Nacar Koçer, N., 2017, Investigation of Biodiesel Production Potential From Oil Seeds in Turkey, Batman University Journal of Life Sciences , Volume 7, Issue 2/2, Pages 45 – 46.
- EPDK, 2017, Motorin Türlerine Biodizel Harmanlanması Hakkında Tebliğ, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Ankara, Türkiye, (16.06.2017 tarih ve 30098 sayılı Resmî Gazete).
- Erdoğan, S., 2019, Bitkisel ve Hayvansal Biyodizel Kullanılan Bir Dizel Motorun Performans, Emisyon ve Yanma Karakteristiklerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ile İncelenmesi, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1 - 2.

- Fidan, M.S. ve Alkan, E., 2014, Bitkisel Hammaddelerden Elde Edilen Biyodizelin Alternatif enerji Kaynağı Olarak Kullanılması, *Gümüşhane University Journal of Science and Technology Institute*, Cilt 4, Sayı 2, Sayfa 144-160.
- Goga G., Chauhan B. S., Mahla S. K. and Cho H. M., 2019, Performance and Emission Characteristics of Diesel Engine Fueled with Rice Bran Biodiesel and n-Butanol, *Energy Reports* 5, Pages 78–83.
- Güler, K., 2008, Biyodizel Teknolojisi, Sistem Tasarımı ve Deneysel Olarak Biyodizel Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 22 - 23.
- Hacıkadıroğlu, H., 2007. Bitkisel Yağ Esterleri-Motorin Karışımının Motor Performansı ve Emisyonlarına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 66 – 67.
- Hajjari, M., Tabatabaei, M., Aghbashlo, M. and Ghanavati, H., 2017, A Review on the Prospects of Sustainable Biodiesel Production: A Global Scenario with an Emphasis on Waste-Oil Biodiesel Utilization, *Renewable Sustainable Energy Reviews*, Volume 72, Pages 445 – 464.
- Hazrat M. A., Rasul M. G., Khan M. M. K., Ashwath N. and Rufford T. E., 2019, Emission Characteristics of Waste Tallow and Waste Cooking Oil Based Ternary Biodiesel Fuels, *Energy Procedia* 160, Pages 842-847.
- İlhan, P., 2007, Çay Tohumu Yağının Biyodizel Üretiminde Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 5 - 56.
- Karabaş H., 2013, Determination of Effective Parameters on the Flash and Freezing Point of the Sunflower Oil Methyl Ester, *Soil-Water Journal*, Volume 2, Issue 1, Pages 1 - 6.
- Keskin A., 2005, Tall Yağı Esaslı Biyodizel ve Yakıt Katkı Maddesi Üretimi ve Bunların Dizel Motor Performansı Üzerindeki Etkileri, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 42 - 43.
- Krishna S. M., Abdul Salama P., Tongroon M. and Chollacoop N., 2019, Performance and Emission Assessment of Optimally Blended Biodiesel-Diesel-Ethanol in Diesel Engine Generator, *Applied Thermal Engineering* 155, Pages 525–533.
- Lopes D. C., Neto A.J.S., Mendes, A.A. and, Pereira D.T.V., 2013, Economic feasibility of biodiesel production from Macauba in Brazil. *Energy Economics*, Volume 40, Pages 819–824.

- Meher, L.C., Sagar, V.D. and Naik, S.N., 2006, Technical Aspects of Biodiesel Production by Transesterification - A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 10, Pages 248 - 268.
- Mohamed Musthafa M., Ashok Kumar T., Mohanraj T. and Chandramouli R., 2018, A Comparative Study on Performance, Combustion and Emission Characteristics of Diesel Engine Fuelled By Biodiesel Blends With and Without an Additive, *Fuel* 225, Pages 343–348.
- Monteiro, M. R.,Kugelmeier, C.L., Pinherio, R.S., Batalha,M.O. and Cesar, A.S.,2018, Glycerol from biodiesel production: Technological paths for sustainability, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 88, Pages 109 – 122.
- Naylor, R. L. and M. M. Higgins, 2017, The political economy of biodiesel in an era of low oil prices, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 77, Pages 695 - 705.
- Ng, J.H., Ng, H.K. and Gan S., 2010, Recent trends in policies, socioeconomy and future directions of the biodiesel industry, *Clean Technologies and Environmental Policy*, Volume 12, Pages 213 – 238.
- Oecd Fao, 2013, *Agricultural Outlook*, OECD Publishing, Overview of The Oecd-Fao Outlook 2013-2022, Pages 47.
- Öğüt, H. ve Oğuz, H., 2006, *Üçüncü Milenyum Yakıtı Biyodizel*, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, (1-80).
- Öğüt, H., Oğuz, H. ve Aydın, F., 2013, Aspir Biyodizelinde Farklı Enjektör Basınçlarının Motor Performansına Etkisi, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi (Journal of Agricultural Machinery Science)* 2013, 9 (2), 93-97.
- Özdemir, Ö.Z. and Mutlubaş, H., 2016, Biodiesel Production Methods and Environmental Effects, *Kırklareli University Journal of Engineering and Science* Volume 2, Pages 129 - 143.
- Özdemir, M., 2011, Bir Dizel Motorda Biyodizel ve Etanol Kullanımının Motor Performansına ve Emisyonlara Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 103-105.
- Polat S., 2011, *Alternatif Motorlar ve Yakıtlar Ders Materyali*, Hitit Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, 61 - 62.
- Radhakrishnan S., Munuswamy D., B., Devarajan Y., Arunkumar T. and Mahalingam A., 2018, Effect of Nanoparticle on Emission and Performance Characteristics of a Diesel Engine Fueled with Cashew Nut Shell Biodiesel, *Energy Sources, Part A:*

- Recovery, Utilization, and Environmental Effects, Volume 40, Issue 20, Pages 2485-2493.
- Rajalingam A., Jani S. P., Senthil Kumar A. and Adam Khan M., 2016, Production Methods of Biodiesel, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, Volume 8(3), Pages 170-173.
- Renewables 2017, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Global Status Report, ISBN: 978-3-9818107-6-9.
- Reşitoğlu İ.A., 2010, Atık Yağlardan Üretilmiş Biyodizelin Dizel Motor Performans ve Emisyonuna Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Mersin, 7-10.
- Sağır O., 2018. Trabzon İlinde Atık Yağların Biyodizel Eldesinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, 26 - 27.
- Sanjid, A., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Rahman, S.M.A., Abedin, M. J. and Palash, S.M., 2014, Production of Palm and Jatropha Based Biodiesel and Investigation of Palm-Jatropha Combined Blend Properties, Performance, Exhaust Emission and Noise in an Unmodified Diesel Engine, *Journal of Cleaner Production*, 65, 295-303.
- Saravanana C.G., Kiran Raj K., Vikneswaran M. and Rajakrishnamoorthy P., 2020, Impact of Fuel Injection Pressure on The Engine Characteristics of CRDI Engine Powered By Pine Oil Biodiesel Blend, Impact of fuel injection pressure on the engine characteristics of CRDI, *Fuel* 264 (2020) 116760, Pages 1-8.
- Sekmen Y. ve Aktaş A., 2008, Soya Yağı Metil Esterinin Dizel Motor Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkileri, *Journal of Poltechnic*, Cilt 11, Sayı 3, Sayfa 249 - 254.
- Seraç M. R., Aydın S., Yılmaz A. and Şevik S., 2020, Evaluation of Comparative Combustion, Performance, and Emission of Soybean-Based Alternative Biodiesel Fuel Blends in a CI Engine, *Renewable Energy* 148, Pages 1065-1073.
- Serin H. and Yıldızhan Ş., 2018, Hydrogen Addition to Tea Seed Oil Biodiesel: Performance and Emission Characteristics, *International Journal of Hydrogen Energy*, 43, Pages 18020-18027.
- Serin H. and Yücel Akar N., 2014, The Performance and Emissions of a Diesel Engine Fueled with Tea Seed (*Camellia sinensis*) Oil Biodiesel-Diesel Fuel Blends, *International Journal of Green Energy*, Volume 11, Issue 3, Pages 292-301.

- Serin H., Aydın K., Özcanlı M. and Yaşar A., 2014, Emission Characteristics of Tea Seed/Soybean/Cotton Seed Biodiesel Blends, 3rd International Conference on Geological and Environmental Sciences, IACSIT Press, Singapore, IPCBEE vol. 73, Pages 15-19.
- Serin, H., Özcanlı, M., Gökçe M.K. and Tüccar, G., 2013, Biodiesel Production from Tea Seed (*Camellia Sinensis*) Oil and its Blends With Diesel Fuel, *International Journal of Green Energy*, Volume 10, Issue 4, Pages 370 - 377.
- Seyis, F., Yurteri, E. and Ozcan, A., 2019, Tea (*Camellia sinensis*) Cultivation and Breeding in Turkey: Past and Present Status, *Ekin Journal of Crop Breeding and Genetics*, Volume 5, Issue 2, Pages 111 - 119.
- Sheehan, J., Camobreco, V., Duffield, J., Graboski, M. and Shapouri, H., 1998, Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus, National Renewable Energy Lab., Technical Report, USA.
- Smart Sensor, 2021, Smart Sensor AS 804 gürültü ölçüm cihazı [online], http://en.smartsensor.cn/products_detail/productId=243.html, [Erişim Tarihi: 26.01.2021].
- Solak S., 2015, Aspir ve Çay Tohumu Yağlarının Endüstriyel Amaçlı Kullanımının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi , *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 15 - 16.
- Sulaiman S., Fisol A., F., C., Sharikh A., M., Jimat D., N. and Jamal P., 2018, Extraction of Caustic Potash From Spent Tea for Biodiesel Production, *Materials Science and Engineering* 290 012062, Pages 1-6.
- Sun C., Qiao X., Ju D., Tang Q., Fang X. and Zhou F., 2020, Composition and Toxicity of Particulate Matter Emitted From Turbocharged Common Rail DME–Biodiesel Engine, *Environmental Science and Pollution Research*, Springer-Verlag GmbH Germany, Part of Springer Nature , Pages 1-15.
- Süperstar 2009, Süper Star Dizel Motorları Kullanma ve Bakım Klavuzu, İstanbul.
- Şahin, T., 2019, Biyodizel ve Bioetanol Karışımının Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Kullanımının Motor Performansına ve Emisyonlara Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-62.
- Todaka M., Kowhakul W., Masamoto H. and Shigematsu M., 2018, Improvement of Oxidation Stability of Biodiesel by an Antioxidant Component Contained in Spent Coffee Grounds, *Biofuels*, <https://doi.org/10.1080/17597269.2018.1468977>, Pages 1759-7277.

- Türkyılmaz, K., 2015, Türkiye’de Çaylık Alanların ve Üretici Sayılarının İstatistiksel Analizi, Çay İşletmeleri Genel Müdürlüğü, Atatürk Çay ve Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, 35 – 36.
- Uyumaz A., 2020, Experimental evaluation of linseed oil biodiesel/diesel fuel blends on combustion, performance and emission characteristics in a DI diesel engine, Fuel 267 117150, Pages 1-11.
- Yüce, İ., 2008, Alternatif Yakıt Olarak Biyodizelin Türkiye’deki ve Almanya’daki Durumu ile Taşıtlarda Kullanımının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 10-12.
- Zivkovic S. and Veljkovic M., 2018, Environmental Impacts The of Production And use of Biodiesel, Environmental Science and Pollution Research, 25, Pages 191–199.