



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ÇAY TOHUMU BİYODİZELİNİN MOTORİN VE ETANOL İLE
KARIŞIMLARININ TEK SİLİNDİRLİ BİR DİZEL MOTORDA FARKLI
ENJEKTÖR BASINÇLARINDAKİ MOTOR PERFORMANSI, EGZOZ VE
GÜRÜLTÜ EMİSYONLARINA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Betül ERÇEK SERİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

**Ocak-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çay Tohumu Biyodizelinin Motorin ve Etanol ile Karışımlarının Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Farklı Enjektör Basınçlarındaki Motor Performansı, Egzoz ve Gürültü Emisyonlarına Etkilerinin Araştırılması

Betül ERÇEK SERİN

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN
2022, 70 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Hidayet OĞUZ
Prof. Dr. Hasan AYDOĞAN
Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN

Bu çalışmada, çay tohumundan elde edilen yağ, transesterifikasyon metodu kullanılarak biyodizele dönüştürülmüştür. Çay yağı biyodizeli, dizel yakıtı motorin ve etanol ile belli oranlarda hacimsel olarak karıştırılarak D₁₀₀, B₁₀₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve D₇₀B₁₀E₂₀ isimli deney yakıtları elde edilmiştir. Deney yakıtlarının yakıt özellikleri belirlenerek, 15 HP gücündeki tek silindirli bir dizel motorda 175 kg/cm² & 200 kg/cm² enjektör basınçlarında tam yük altında çalıştırılmış ve motor performans, egzoz ve gürültü emisyon karakteristiklerine ulaşılmıştır. Deney yakıtları arasında en yüksek motor gücü 175 kg/cm² enjektör basıncında 1900 d/d'de D₇₀B₁₀E₂₀ yakıtında 9.795 kW olarak, en yüksek motor torku 200 kg/cm² enjektör basıncında 1100 d/d D₁₀₀ yakıtında 54.570 Nm ve minimum özgül yakıt tüketimi ise 175 kg/cm² enjektör basıncında 1400 d/d'de D₇₀B₁₀E₂₀ yakıtında 338.729 g/kWh olarak ölçülmüştür. Deney motorunun egzoz emisyon değerlerinden CO emisyonları; D₇₀B₂₀E₁₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve B₁₀₀ yakıtlarında D₁₀₀ yakıtına göre daha az çıkmıştır. Azalışın nedeni B₁₀₀ yakıtının içeriğinde bulunan ayrıca D₇₀B₁₀E₂₀ ve D₇₀B₂₀E₁₀ karışım yakıtları içerisindeki hacimsel olarak biyodizel yüzdesinden dolayı olan oksijen sebebiyle yanma esnasında karbon monoksitin oksitlenerek karbon dioksite dönüştürülmesinden kaynaklanmaktadır. CO₂ emisyonları; D₇₀B₂₀E₁₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve B₁₀₀ yakıtlarında D₁₀₀ yakıtına göre daha fazla çıkmıştır. Artışın nedeni, B₁₀₀ ve karışım yakıtları içerisindeki oksijen sebebiyle hava fazlalık katsayılarının motorin yakıtına göre daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. HC emisyonları; D₇₀B₂₀E₁₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve B₁₀₀ yakıtlarında D₁₀₀ yakıtına göre daha fazla çıkmıştır. B₁₀₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve D₇₀B₂₀E₁₀ yakıtlarının D₁₀₀ yakıtına göre alt ısı değerlerinin düşük olması ve motorun alçak devirlerinde yakıt tutuşma sıcaklığının da düşük olması sebebiyle hidrokarbon emisyonları artış eğilimindedir. Motorun yüksek devirlerinde ise karışım oranı fakirleştiği için yanma kötüleşmekte ve hidrokarbon emisyonları artmaktadır. O₂ değerleri, her iki enjektör basıncında da maksimum motor gücü devrinde D₇₀B₂₀E₁₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve B₁₀₀ yakıtlarında D₁₀₀ yakıtına göre azalış gösterirken, maksimum motor torku devrinde ise artış göstermiştir. Egzozdaki O₂ miktarının yüksek olması motorda fakir karışım oranı olduğunu göstermektedir. Dizel motorlarda karışım fakirleştiçe yakıt tüketimi de azalmaktadır. Yoğunluk değeri az olan yakıtlar yanma odasında daha fazla yer kaplar ve giren havanın azalmasına sebep olur. Enjektör basıncının artmasıyla da düşük devirlerde karışım fakirleşmiştir. Ancak motor devrinin artmasıyla karışım yakıtlarındaki biyodizel oranından dolayı oksijen içeriği yanma verimini artırmıştır. NO_x emisyonları; D₇₀B₂₀E₁₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve B₁₀₀ yakıtlarında D₁₀₀ yakıtına göre daha fazla çıkmıştır. Artışın sebebi, karışım yakıtlarında olan oksijence zengin dolgu havasının emisyon miktarını artırmasıdır. Motor gürültü değerleri incelendiğinde D₇₀B₂₀E₁₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve B₁₀₀ yakıtlarında D₁₀₀ yakıtına göre daha az çıkmıştır. B₁₀₀ yakıtının setan sayısının yüksek oluşu ve biyodizelin yağlayıcı özelliği sayesinde motor gürültüsünü olumlu yönde etkilemektedir.

Anahtar Kelimeler: Çay yağı biyodizeli, Egzoz emisyonları, Etanol, Gürültü emisyonları, Motor performansı.

ABSTRACT

MS THESIS

Investigation of the Effects of Mixtures of Tea Seed Biodiesel with Diesel Fuel and Ethanol on Engine Performance, Exhaust and Noise Emissions at Different Injector Pressures in a Single Cylinder Diesel Engine

Betül ERÇEK SERİN

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
2022, 70 Pages

Jury
Prof. Dr. Hidayet OĞUZ
Prof. Dr. Hasan AYDOĞAN
Dr. Fatih AYDIN

In this study, the oil obtained from tea seed was converted into biodiesel using the transesterification method. Experimental fuels named D₁₀₀, B₁₀₀, D₇₀B₂₀E₁₀ and D₇₀B₁₀E₂₀ were obtained by mixing tea oil biodiesel with diesel fuel and ethanol in certain proportions volumetrically. By determining the fuel properties of the experimental fuels, a single-cylinder diesel engine with 15 HP power was operated at 175 kg/cm² & 200 kg/cm² injector pressures under full load, and engine performance, exhaust and noise emission characteristics were achieved. Among the test fuels, the highest engine power was measured as 9,795 kW in D₇₀B₁₀E₂₀ fuel at 175 kg/cm² injector pressure at 1900 rpm, the highest engine torque was 54,570 Nm at 200 kg/cm² injector pressure at 1100 rpm in D₁₀₀ fuel, and the minimum specific fuel consumption was 338.729 g/kWh at 175 kg/cm² injector pressure in D₇₀B₁₀E₂₀ fuel at 1400 rpm. CO emissions from the exhaust emission values of the experimental engine were lower in D₇₀B₂₀E₁₀, D₇₀B₁₀E₂₀ and B₁₀₀ fuels compared to D₁₀₀ fuel. The decrease results from the oxidation of carbon monoxide into carbon dioxide during combustion due to the percentage of biodiesel in the content of the B₁₀₀ fuel and also in the D₇₀B₁₀E₂₀ and D₇₀B₂₀E₁₀ mixture fuels. CO₂ emissions were higher in D₇₀B₂₀E₁₀, D₇₀B₁₀E₂₀ and B₁₀₀ fuels compared to D₁₀₀ fuel. The increase results from the fact that the air excess coefficients are higher than the diesel fuel due to the oxygen in the B₁₀₀ and mixture fuels. HC emissions were higher in D₇₀B₂₀E₁₀, D₇₀B₁₀E₂₀ and B₁₀₀ fuels compared to D₁₀₀ fuel. Hydrocarbon emissions tend to increase due to the lower heating values of B₁₀₀, D₇₀B₁₀E₂₀ and D₇₀B₂₀E₁₀ fuels compared to D₁₀₀ fuel and the low ignition temperature of the fuel at low engine speeds. At high engine speeds, combustion deteriorates and hydrocarbon emissions increase as the mixing ratio becomes poorer. While the O₂ values decreased in D₇₀B₂₀E₁₀, D₇₀B₁₀E₂₀ and B₁₀₀ fuels compared to D₁₀₀ fuel at maximum engine power speed at both injector pressures, it increased at maximum engine torque speed. The high amount of O₂ in the exhaust indicates a poor mixture ratio in the engine. In diesel engines, fuel consumption decreases as the mixture gets poorer. Fuels with a low density value take up more space in the combustion chamber and cause a decrease in the incoming air. With the increase in injector pressure, the mixture became poorer at low speeds. However, with the increase of engine speed, the oxygen content increased the combustion efficiency due to the biodiesel ratio in the mixture fuels. NO_x emissions were higher in D₇₀B₂₀E₁₀, D₇₀B₁₀E₂₀ and B₁₀₀ fuels compared to D₁₀₀ fuel. The reason for the increase is that the oxygen-rich filler air in the mixture fuels increases the emission amount. When the engine noise values were examined, it was found that they were less in D₇₀B₂₀E₁₀, D₇₀B₁₀E₂₀ and B₁₀₀ fuels than D₁₀₀ fuels. The high cetane number of B₁₀₀ fuel and the lubricating feature of biodiesel positively affect engine noise

Keywords: Engine performance, Ethanol, Exhaust emissions, Noise emissions, Tea oil biodiesel.

ÖNSÖZ

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

Çalışmada bitkisel yağlardan olan çay tohumu yağından transesterifikasyon işlemi ile elde edilen alternatif yakıt biyodizelin, etanol ve motorinle karışımlarının yakıt özellikleri incelenmiş, ayrıca tek silindirli bir dizel motorda farklı enjektör basınçlarındaki motor performansı ile egzoz ve gürültü emisyonlarına etkileri araştırılmıştır.

Tezin her bir aşamasında görüşleriyle beni destekleyen, samimiyetini her zaman hissettiren ve bilimsel yönlendirmeleriyle büyük yardımlarını gördüğüm danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN'a, tezin deneysel sürecinde desteğini ve yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Hidayet OĞUZ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca benden desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyip, bana olan güvenlerini hiç kaybetmeyen, bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan annem, babam ve kardeşime teşekkürü bir borç bilirim.

Hayatımın her anında olduğu gibi, tez çalışmamı hazırlarken de her aşamada bana yardımcı olan ve beni cesaretlendiren sevgili eşim Ali SERİN'e en kalbi duygularıyla teşekkür ederim.

Betül ERÇEK SERİN
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Alternatif Enerji Kaynakları	2
1.1.1. Alternatif Enerji Kaynaklarının Önemi	2
1.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	3
1.2. Biyoyakıtların Türkiye ve Dünyadaki Uygulamaları	3
1.2.1. Biyoyakıtlar	3
1.2.2. Biyodizel	4
1.2.3. Türkiye’de Biyodizel	6
1.2.4. Dünyada Biyodizel	6
1.2.5. Biyodizel Kaynakları	8
1.2.5.1. Çay Bitkisi, Çay Tohumu ve Çay Tohumu Yağı	10
1.2.5.2. Çay Bitkisi	10
1.2.5.3. Dünyada ve Türkiye’de Çay ve Çay Tohumu Yağı Üretimi	11
1.2.6. Biyodizel Elde Etme Yöntemleri	12
1.2.6.1. Transesterifikasyon Yöntemi	13
1.2.7. Biyodizelin Kullanım Alanları	14
1.2.8. Biyodizelin Avantajları	15
1.2.9. Biyodizelin Dezavantajları	15
1.2.10. Etanol	15
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	26
3.1. Materyal	26
3.1.1. Deney Cihazları	27
3.1.1.1. SFTN ölçümü	27
3.1.1.2. Akma noktası ve bulutlanma ve noktası ölçümü	28
3.1.1.3. Viskozite (Kinematik) ölçümü	29
3.1.1.4. Yoğunluk ölçer	30
3.1.1.5. Renk ölçümü	30
3.1.1.6. Egzoz emisyon ölçümü	31
3.1.1.7. Bakır şerit korozyon ölçümü	31
3.1.1.8. Yakıt tüketimi ölçümü	32
3.1.1.9. Teraziler	33
3.1.1.10. Parlama noktası ölçümü	33
3.1.1.11. Termometreler	34
3.1.1.12. Adyabatik kalorimetre cihazı	35

3.1.1.13. Kronometre	36
3.1.1.14. pH metre	36
3.1.1.15. Test motoru dinamometresi	37
3.1.1.16. Dinamometre kontrol ünitesi	38
3.1.1.17. Pick/up	38
3.1.1.18. Yük Hücresi(S Tipi).....	39
3.1.1.19. Enjektör basınç değişim cihazı	39
3.1.1.20. Gürültü ölçümü	40
3.1.2. Kimyasallar	40
3.1.2.1. Katalizör.....	40
3.1.2.2. Alkol (Metanol)	41
3.1.3. Etanol	41
3.1.4. Üretim reaktörü	42
3.2. Yöntem.....	43
3.2.1. Çay tohumu yağının temini.....	43
3.2.2. Çay tohumu yağından biyodizel üretilmesi	44
3.2.3. Yakıt numunelerin hazırlanması	44
3.2.4. Yakıt özellik tespiti	45
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	47
4.1. Deney Motoru Performans Testleri	47
4.2. Deney Motoru Egzoz Emisyon Testleri.....	50
4.3. Deney Motoru Gürültü Emisyon Testleri	57
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	61
5.1 Sonuçlar	61
5.2 Öneriler	64
6. KAYNAKLAR	65

SİMGELER VE KISALTMALAR

%	: Yüzde
°C	: Santigrat derece
AB	: Avrupa birliği
Al ₂ O ₃	: Alüminyum oksit
ASTM	: American society for testing and material
B ₀	: % 100 dizel
B ₁₀	: % 90 dizel + % 10 biyodizel
B ₁₀₀	: % 100 biyodizel
B ₂₀	: % 80 dizel + % 20 biyodizel
B ₃₀	: % 70 dizel + % 30 biyodizel
B ₄₀	: % 60 dizel + % 40 biyodizel
B ₅	: % 95 dizel + % 5 biyodizel
B ₅₀	: % 50 dizel + % 50 biyodizel
Bio-CNG	: Zenginleştirilmiş metan
BSFC	: Fren özgül yakıt tüketimi
BTE	: Fren termal verimliliği
C ₂ H ₅ OH	: Etanol
C ₃	: Propanol
C ₄	: n-butanol
C ₅	: 1-pentanol
cal/gr	: Kalori/gram
CDC	: Konvansiyonel dizel yanma motoru
CH ₃ OH	: Metanol
cm	: Santimetre
CNT	: Karbon nanotüp
CO	: Karbon monoksit
Co	: Kobalt
CO ₂	: Karbon dioksit
COPRAS	: Karmaşık oransal değerlendirme
d/d	: Devir / dakika
D ₇₀ B ₁₀ E ₂₀	: % 70 Dizel + % 10 Biyodizel + % 20 Etanol
D ₇₀ B ₂₀ E ₁₀	: % 70 Dizel + % 20 Biyodizel + % 10 Etanol
D ₁₀₀	: % 100 Dizel Yakıtı
dB	: Desibel
D-BD	: Dizel-biyodizel
DEE	: Dietil eterin
DI	: Direkt enjeksiyonlu
DIN	: Deutsches institut für normung standartı
dm ³	: Desimetreküp
DSOME	: Süt köpüğü yağı metil esteri
EGR	: Egzoz gazı geriçevrimi
EGT	: Egzoz gazı sıcaklığı
EN	: Avrupa Standartları
EPDK	: Enerji piyasası düzenleme kurumu
FAO	: Birleşmiş milletler gıda ve tarım örgütü
g	: Gram
g/cm ³	: gram/santimetreküp
g/kWh	: gram/kilowattsaat

g/mol	: gram/ mol
HC	: Hidrokarbon
HP	: Beygir gücü
Hz	: Hertz
ISO	: International organization for standardization
J	: Joule
J-BD	: Jatropa biyodizel
kg/cm ²	: Kilogram/santimetrekare
kg/ha	: Kilogram/hektar
kg/L	: Kilogram/litre
kg/m ³	: Kilogram/metreküp
kg/s	: Kilogram/saniye
kgf	: Kilogramkuvvet
KHz	: Kilohertz
kW	: Kilowatt
L	: Litre
m	: Metre
mbar	: Milibar
Mg	: Magnezyum
mg	: Miligram
ml	: Mililitre
min ⁻¹	: devir / dakika
MJ/ha	: Megajoule/hektar
mm	: Milimetre
mm ² /s	: milimetrekare/saniye
Mn	: Manganez
M.Ö.	: Milattan önce
MPa	: Megapaskal
MTPE	: Milyon ton petrol eşdeğeri
NaOH	: Sodyum hidroksit
NB	: Neem biyodizel
NB ₈₅ W ₁₅ CNT ₁₀₀	: % 85 Neem biyodizel, % 15 su, 100 mg karbon nanotüp
NB ₈₅ W ₁₅ CNT ₂₅	: % 85 Neem biyodizel, % 15 su, 25 mg karbon nanotüp
NB ₈₅ W ₁₅ CNT ₅₀	: % 85 Neem biyodizel, % 15 su, 50 mg karbon nanotüp
NEB	: Net enerji dengesi
NER	: Net enerji oranı
Ni	: Nikel
Nm	: Newton metre
NO _x	: Azot oksit
PCCI-DI	: Şarj sıkıştırma ateşleme-doğrudan enjeksiyon motoru
POB	: Nar çekirdeği yağı
ppm	: Milyonda bir (parts per million)
RCCI	: Reaktivite kontrollü sıkıştırma ateşleme motoru
rpm	: Dakikadaki devir sayısı
SCM	: Süper kritik metanol
SFTN	: Soğuk filtre tıkanma noktası
TEA	: Tekno-ekonomik analiz
TiO ₂	: Titanyum dioksit
UHC	: Yanmamış hidro karbon
VCR	: Değişken sıkıştırma oranı

VGT : Değişken geometrili turboşarj
W : Watt
WB : Atık yağ metil esteri
WCO : Atık pişirme yağı



1. GİRİŞ

Dünya genelinde enerji ihtiyacının büyük bir kısmı fosil kökenli yakıtlardan karşılanmaktadır. Fosil kökenli yakıtların başında petrol gelmektedir. Petrol rezervlerinin belirli bölgelerde toplanması ile o bölgelerin stratejisi artar ve bu bir avantaj sayılır. Ancak fosil kökenli yakıtların, yakın gelecekte tükenerek olması, CO₂ salınımı yaparak küresel ısınmaya sebep olması ve bu yakıtlarla çalışan taşıt motorlarının egzoz ve gürültü emisyonları nedeni ile çevre kirliliğini önemli oranda arttırması bu kaynaklar için dezavantajdır. Bu dezavantajlardan dolayı ve her geçen gün artan enerji talebinin karşılanabilmesi için alternatif enerji kaynaklarına yönelim giderek artmaktadır. Bundan ötürü ülkemiz açısından değerlendirecek olursak biyodizel kullanımının Türkiye çapında yaygınlaştırılması, küresel ısınmanın önüne geçilebilmesi, daha temiz bir çevre, canlılığın devamı ve en önemlisi ekonomi adına hayati öneme sahip olacaktır.

Biyokütle kökenli en önemli Diesel motoru alternatif yakıtı biyodizeldir. Biyodizel yeşil dizel, biyomotorin ve dizel-bi adları ile de bilinmektedir. Biyodizel kanola (kolza), ayçiçeği, soya, palm gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağların veya hayvansal yağların bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve Diesel motor yakıtı olarak Avrupa ve Amerika'da yaygın olarak kullanılan bir üründür (Şeker, 2007).

Biyodizelin organik menşeli olması, çevreyi kirletmeden toprağa karışmasını sağlamaktadır. Ayrıca biyodizelin yapısının sülfür içermemesi ve yapısında oksijen bulunması temiz bir yakıt olduğunu ortaya koymaktadır. Yapılan çalışmalar biyodizelin CO, CO₂, HC ve is emisyonu bakımından dizel yakıtına göre daha iyi durumda olduğunu göstermektedir (Kaplan, 2001).

Temiz (yenilenebilir) enerji kaynakları arasında belli bir yeri olan biyodizelin, belli planlamalar doğrultusunda tam manasıyla kullanılabilmesi için, uzunca bir zamana ihtiyaç duyulmaktadır. Biyodizelin kullanımı, ekonomikliği, ciddi çevre kirliliği oluşturmaması, dışa bağımlılığı azaltacak yönde öz kaynaklarımızdan elde edilecek olması ve ülke ekonomisine getireceği katkılardan dolayı bu süreçte çalışmaların en iyi şekilde yürütülmesi gerekmektedir.

Yapılan çalışmada, biyodizel kaynağı olarak çay tohumu tercih edilmiştir. Geçmişten günümüze kadar ülkemizin Doğu Karadeniz bölgesinde çay yetiştiriciliği büyük önem kazanmıştır. Bugün ekilen çay tohumu ile uzun yıllar boyunca çay hasadı

edilir, bu da üreticiler için kolaylık olarak görülmektedir. Ancak çaylıkların her yıl tohum dökmesi ve bu tohumların bir nevi boşa gitmesi bu çalışmanın yapılmasını ortaya çıkarmıştır. İçeriğinde bulunan saponin maddesi ve tadının acı olması sebebiyle herhangi bir hayvan yemi olarak da tüketilemeyen çay tohumları, biyodizel üretimi için uygun bir hammaddedir. Bu tohumlar başka bir şekilde değerlendirilemediğinden biyodizel için umut vaat etmektedir.

Bu çalışmada, çay tohumu yağından transesterifikasyon metodu kullanılarak biyodizel üretilmiştir. Optimum koşullarda üretilen biyodizel, hacimsel olarak % 70 Dizel + % 20 Biyodizel + % 10 Etanol ve % 70 Dizel + % 10 Biyodizel + % 20 Etanol oranlarında karıştırılmıştır. Farklı enjektör basınçlarındaki (175 kg/cm² & 200 kg/cm²) motor performansı, egzoz ve gürültü emisyonlarına etkileri; tek silindirli, su soğutmalı, 15 HP gücündeki bir dizel motorda incelenmiştir.

1.1. Alternatif Enerji Kaynakları

Dünyamızın enerji ihtiyacının yaklaşık %70'ini karşılayan petrol, doğal gaz ve kömür gibi fosil kökenli yakıtların önümüzdeki 40-50 yıl içerisinde tükeneceğinin tahmin edilmesiyle bu yakıtların çevre üzerinde olumsuz etkilerinin bulunması alternatif enerji kaynaklarına yönelişin başlıca sebepleri arasındadır. Bu sebeple yenilenebilir enerji kaynakları olarak tanımlanan güneş, rüzgâr, hidroelektrik, jeotermal, hidrojen, biyokütle enerjileri ile beraber verimli sistemler oluşturma amaçlanmıştır.

1.1.1. Alternatif Enerji Kaynaklarının Önemi

Gelişen teknoloji canlı yaşamını ve çevreyi tehdit eden bazı olumsuz etkileri de beraberinde getirmektedir. Dünyada artan insan nüfusu enerji gereksinimini artırmakta, bu da yeni enerji kaynağı arayışlarını zorunlu kılmaktadır. Enerji kaynakları yenilenebilir ve geleneksel kaynaklar olarak adlandırılan iki kısımda incelenebilir. Geleneksel kaynaklar bir kez kullanılabilen kaynaklardır. Bu kaynakların maliyeti ve dünyadaki rezervlerinin tükenme riskinin yanında çevreye olumsuz etkilerinden dolayı, farklı enerji kaynakları aramak zorunlu hale gelmiştir. Örneğin küresel ısınma çevre sorunlarından biridir. Günümüzde karşılaşılan çevre sorunlarına çözüm üretmek ve sürdürülebilir kalkınma için uzun vadeli potansiyel eylemler gerekmektedir. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynakları en etkili çözümlerin başında gelmektedir. Yenilenebilir kaynaklar art arda kullanılabilen kaynaklardır. Bu kaynaklar sınırsız, temiz, pratik, ekonomik ve çevre dostudur (Zeray, 2010).

1.1.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları dendiğinde doğadaki tükenmeyen ve kendi kendini yenileyebilen enerji türleri kastedilmektedir. Bu enerji kaynakları arasında güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, hidroelektrik enerji, dalga enerjisi, biyokütle enerjisi gibi enerjiler yer almaktadır. Türkiye'nin, bu enerji kaynakları açısından sahip olduğu potansiyel kendisine oldukça avantajlı bir durum oluşturmakta, ayrıca stratejik ve ekonomik olarak Türkiye'nin değerini yükseltmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları nedeniyle bir ülkenin enerjide dışa bağımlılığının azalacağı gerçeği ise o devletin jeopolitiği açısından son derece olumlu bir katkı sağlamaktadır (Bekar, 2020).

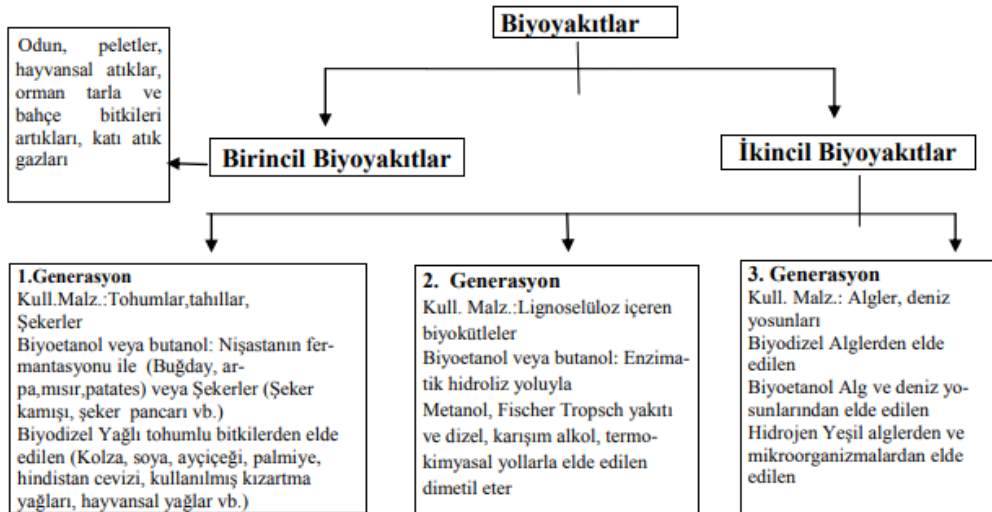
Bu kaynaklar arasında yer alan biyokütle, sonsuz bir enerji kaynağı olması, yetiştirilme alanlarının geniş olması, özellikle kırsal kesimler için sosyoekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeni ile uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir.

1.2. Biyoyakıtların Türkiye ve Dünyadaki Uygulamaları

1.2.1. Biyoyakıtlar

Biyoyakıtların hammaddesi büyük ölçüde tarımsal ürünler ve atıklardır. Dünya üzerinde birçok ülkede biyoyakıtlara verilen önem her geçen gün artmaktadır. Önemi her geçen gün artan biyoyakıtlar çevrenin korunması için de duyarlılık arz etmektedir. Ülkeler açısından biyoyakıtların tercih edilmesi, kaynakların değerlendirilmesi, atık kontrolünün sağlanması, enerji alternatiflerinin çoğaltılması, ihtiyaca göre enerji üretiminin sağlanması, talep fazlası enerjinin ekonomik anlamda ticaretini yapması ve yine bu bağlamda sürdürülebilir kalkınmanın artırılması açısından önemlidir. Biyoyakıt üretiminin ekonomik anlamda yapılabilmesi için, biyoyakıt elde edilen bitkilerin tarımının yapılması gerekmektedir. Bundan dolayı, biyoyakıt üretimi için, getirisi en fazla olan bitkiler tercih edilmektedir. Biyokütle bitkileri aynı zamanda enerji bitkileridir. Enerji bitkileri olarak; şeker ve nişasta bazlı ürünler, yağlı tohumlular, orman ürünleri, selüloz yapıda olan ürünler bilinmektedir (Üstün ve Genç, 2015).

Biyoyakıtlar, kaynaklarına ve tiplerine göre farklı şekillerde sınıflandırılabilir. Biyoyakıtlar; birincil (işlenmemiş) biyoyakıtlar ve ikincil (işlenmiş) biyoyakıtlar olmak üzere iki temel sınıfa ayrılırlar. Şekil 1.1'de biyoyakıtların sınıflandırılması verilmiştir.



Şekil 1.1. Biyoyakıtların sınıflandırılması (Nigam and Singh, 2011)

1.2.2. Biyodizel

Biyodizel en uygun dizel motor yakıtlarından biridir. Biyodizel, bitkisel yağlı tohumlardan, kullanılmış atık kızartma yağlarından, hayvansal yağlardan ve her türlü biyolojik kökenli yağlardan bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile (metanol veya etanol) reaksiyon sonucunda oluşan ve yakıt olarak kullanılan yağ asidi metil esterleridir. Diğer bir ifade ile biyodizel, bitkisel yağ asidi esterlerinin metanol veya etanol gibi basit alkollerle belirli koşullar altında reaksiyona girmesi ile elde edilen mono alkil esterlerdir. Yenilenebilir bitkisel ve hayvansal yağlardan üretilen, uzun zincirli yağ asidi alkil esterleri (genellikle metil esteri) yapısında ve uluslararası standartlar tarafından tarif edilen ve/veya biyodizel gibi doğrudan kullanımını sağlayacak performansa sahip bir üründür (Atakan, 2006).

Biyokütleden elde edilen biyodizel, bitkisel yağlardan veya hayvansal yağlardan üretilmekte ve petrol esaslı dizelin yerini alması için önerilmektedir. Çünkü biyodizel; çevreye duyarlı bir emisyon profili ile yenilenebilir ve kolaylıkla biyolojik olarak parçalanabilir bir kaynaktır (Zhang ve ark., 2003).

Biyodizel petrol içermez; fakat saf olarak veya her oranda petrol kökenli dizelle karıştırılarak yakıt olarak kullanılabilir. Saf biyodizel ve dizel-biyodizel karışımları herhangi bir dizel motoruna, motor üzerinde herhangi bir modifikasyona gerek kalmadan veya küçük değişiklikler yapılarak kullanılabilir (Fidan ve Alkan, 2014).

Biyodizel, yanma verimini ve emisyon oluşumunu olumsuz etkileyen kükürt, aromatik hidrokarbonlar, metaller ve ham petrol artıklarını bünyesinde içermemektedir (Wedel, 1999).

Şekil 1.2’de biyodizel döngüsü görülmektedir.



Şekil 1.2. Biyodizel döngüsü (Şahin, 2019)

Alt ısı değer, yoğunluk ve viskozite değerleri gibi özellikleri dizel yakıt değerlerine çok yakındır. Ayrıca dizel yakıtına göre yağlama özelliğinin daha iyi, setan sayısının daha yüksek ve daha az toksik olması avantaj sağlayan yakıt özelliklerindedir (Akgün vd., 2009).

Biyodizel, motorine göre giderek kabul görmektedir. Bunun başlıca sebepleri:

- Yenilenebilir karakterlidir, yerel imkânlarla üretilebilir,
- Biyolojik olarak ayrışabilir ve zehirli değildir,
- Emisyonlarında karbonmonoksit, partikül madde, yanmamış hidrokarbon daha azdır ve aromatik bileşikler ile kükürt hemen hemen hiç yoktur,
- Motorinle mukayese edildiğinde CO₂ atmosferde birikimine ve bunun sonucunda da sera etkisine neden olmaz. Çünkü biyodizelin yanması sonucu oluşan CO₂ biyodizelin elde edildiği bitkiler tarafından kullanılır,
- Parlama noktası motorine göre daha yüksektir. Bu özellik biyodizeli taşıma ve kullanımda güvenli yapar,
- Biyodizel belli karışım oranlarına kadar motorda kullanımında herhangi bir değişikliğe ihtiyaç göstermez ve motor yağlanmasını iyileştirir,
- Oksijen içeriği fazla olduğu için, yanma verimi daha yüksektir,
- Yapılan araştırmalarda yağlayıcılık özelliği dizel yakıtına göre daha iyi çıkmaktadır (Oğuz ve ark., 2011).

1.2.3. Türkiye’de Biyodizel

Türkiye, biyodizel ile ilgili ilk çalışmasını AB’den önce 1934 yılında “Bitkisel Yağların Tarım Traktörlerinde Kullanımı” adı altında Atatürk Orman Çiftliği’nde yapmıştır. Türkiye’de biyodizel, dünyadaki gelişmelerin etkisinde 2000’li yılların başında gündeme gelmiştir. Üniversitelerdeki çalışmalar hızla gelişmiştir. 2001 yılında Sanayi ve Ticaret Bakanlığı’nda “Biyodizel Çalışma Grubu” oluşturulmuştur. Biyodizel üretiminde soya, ayçiçeği, hurma, pamuk, kanola ve aspir kullanılmaktadır. Ancak Türkiye’de kalitesi daha yüksek olması nedeniyle kanola ve aspir tercih edilmektedir. Bu ürünlerin tercih edilmesinin nedeni ise Türkiye’de gıdada kullanılmamasıdır. Ayrıca biyodizelin tarımdaki etkilerinin gözlenebilmesi de bir diğer nedeni oluşturmaktadır. Son üç yılda Türk tarımında üretimde en çok artışın kanolada görülmesi biyodizelin yağlı tohumlar üzerindeki çarpan etkisinin bir sonucudur (Narin, 2008).

Çevre Bakanlığı verilerine göre 6 adet tesis atık bitkisel yağlardan biyodizel üretimi için izinlidir. Ancak biyodizel üretiminin yapılabilmesi için EPDK’dan da işleme lisansı alınması gereklidir. Bu tesislerin EPDK’dan aldıkları işleme lisanslarının süresi 2011 yılı sonu itibarıyla sona ermiştir (Ar, 2012).

Biyodizel kullanımı Türkiye açısından değerlendirilirse şu neticeler ön plana çıkmaktadır.

- Türkiye’de diesel yakıtına alternatif bir yakıt üretilecektir.
- Üretilen yakıt çevre dostu olarak, çevre kirliliğine çözüm olacaktır.
- Türkiye’nin petrole olan ihtiyacı açısından dışa bağımlılıktan kurtulmasına katkı sağlayacaktır.
- Türkiye’deki tarımsal potansiyel daha doğru ve faal olarak kullanabilecek ve yeni iş olanakları açılacaktır.
- Biyodizelin üretimi ve kullanımı ile ilgili yasal düzenlemelerin ve teşviklerin gecikmeksizin sağlanması hem tarımsal üretim planlaması hem de enerji ihtiyacının karşılanması açısından önemlidir (Ulusoy ve Alibaş, 2002).

1.2.4. Dünyada Biyodizel

Rudolf Diesel (1858-1913), 1893’te bitkisel yağlara göre tasarladığı motorunun denemesini gerçekleştirmiş ve 1900 yılında Paris Dünya Fuarı’nda yakıt olarak yer fıstığı yağını kullanan motorunu sergilemiştir. R. Diesel 1911’de “Bitkisel yağların

motor yakıtı olarak kullanımının tarımın gelişiminin ciddi bir katkısı olacağını” ifade etmiş ve 1912’de “Bitkisel yağların motorlarda kullanımı günümüzde önemsiz görünebilir, ancak bitkisel yağlar zamanla petrol ve kömür katranı kadar önem kazanacak” demiştir. Bitkisel yağların doğrudan yakıt olarak kullanımındaki zorluklara, petrol ürünlerinin kullanımının yaygınlaşması eklenince konu gündemden düşmüştür.

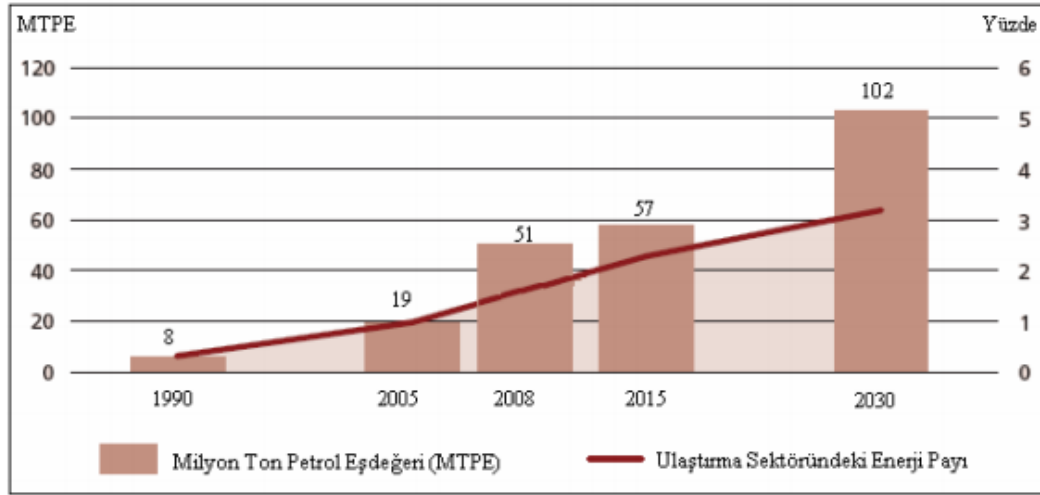
Ancak, biyolojik yağların yakıt olarak kullanılabilmesi için bünyesindeki gliserinin uzaklaştırılması alanındaki akademik çalışmalar yine de devam etmiş ve bugün “BİYODİZEL” olarak adlandırılan yakıt için ilk patent Belçika’daki Brüksel Üniversitesinden G. Chavanne tarafından 31 Ağustos 1937 tarihinde alınmıştır. 1994 yıllarında yaşanan petrol krizleri alternatif enerji arayışlarını hızlandırmış ve “BİYODİZEL” tekrar gündeme taşınmıştır. Özellikle 2000 yılında dünyada ham petrol ve ham kanola fiyatlarının kesişmesi dünyada biyodizeli ön plana çıkarmış ve yatırımlar büyük bir hızla başlamıştır (Gizlenci ve Acar, 2008).

Biyoyakıtlar içinde yer alan biyodizel çevre dostu olduğu için sürekli desteklenmiş, kapalı su havzalarında, orman arazilerinde, gıda işletmelerinde, maden ocaklarında, karbondioksit emisyonları yüksek kentlerde toplu taşımacılıkta zorunlu kullanım haline getirilmiştir. AB’ye üye ülkelerden ilerleme raporlarında ulusal hedefleri belirlemeleri istenmiştir. AB’de biyoyakıtlar enerji güvenliği, tarımsal kalkınma ve küresel ısınmayla mücadele açısından büyük önem taşımaktadır. Enerji politikalarında vergilendirmede “kirleten öder” kriterini kullanmaktadırlar. Çizelge 1.1’de AB’nin 2030 yılına kadar biyoyakıt kullanımına yönelik hedeflediği yüzdeler görülmektedir (Şahin, 2013).

Çizelge 1.1. AB biyoyakıt kullanımı ve hedefleri (Şahin, 2013)

AB Biyoyakıt Kullanımı ve Hedefleri			
2007	2010	2020	2030
%5	%5.75	%10	%25

Şekil 1.3’de 1990 yılından günümüze kadar ki dönemde biyoyakıt tüketimi ve 2030 yılı projeksiyonu milyon ton petrol eşdeğeri cinsinden gösterilmektedir. Buna ek olarak, biyoyakıtların ulaştırma sektöründe kullanılan yakıtlar içerisindeki payı da Şekil 1.3’de yer almaktadır (Hatunoğlu, 2010).



Şekil 1.3. Dünya biyoyakıt tüketim piyasasındaki gelişmeler (1990-2008 ve 2015-2030) projeksiyonu (Hatunoğlu, 2010)

1.2.5. Biyodizel Kaynakları

Biyodizelin; yağ bitkilerinden, hayvansal yağlardan, kullanılmış atık kızartma yağlarından ve alglerden üretildiği bilinmektedir. Bu kaynaklar içerisinde en büyük pay yağ bitkilerindedir. Biyodizelin üretilebileceği dünyanın farklı toprak ve iklim şartlarında yetiştirilebilen 50'nin üzerinde yağ bitkisi vardır. Bunlardan bir kısmı Çizelge 1.2'de görülmektedir (Altınsoy, 2007).

Bir tohumun biyodizel olarak kullanılmasını belirleyen faktörler şunlardır;

- Yağ oranı,
- İçerdiği yağın kimyasal özelliği, yağ asitleri ve nispeti,
- İçerdiği yağın fiziksel özellikleri (donma noktası gibi),
- Rengi, kokusu,
- Tarıma elverişliliği, iklim ve toprak seçiciliği, sulama isteği, tarımsal mekanizasyona yatkınlığı, sosyal ve kültürel alışkanlıklar, eğitim ve öğretimin kolaylığı,
- Ekim ve hasat tarihi,
- Depolama şartları, taşınabilirlik, bozulma süresi,
- Ürün işleme teknolojisi ve yağ çıkarmaya yatkınlık,
- Üretim miktarı / üretilebilme büyüklüğü,
- Bitkinin tek yıllık veya çift yıllık olması,
- Verimi dekar / kg,
- Maliyet / ürün fiyatı diğer rakip tarımsal ürünleri fiyatı (parite),

- Gıda ve diğer sektörlerde kullanılabilmesi ve fiyatı (rekabeti),
- Ülkelerin verdiği teşvik ve destekler,
- Tarımsal girdi maliyetleri,
- Tohumun preslenmesinden sonra kalan küspenin protein miktarı ve pazarıdır (Koç, 2011).

Çizelge 1.2. Biyodizel hammadde kaynakları (Altınsoy, 2007)

Yağ Bitkisinin Adı	Yağ Miktarı (kg/ha)	Yağ İçeriği (%)
Mısır	145	5-6
Mahun Cevizi	148	38-46
Palm	189	50
Termiye	195	6-9
Pamuk	273	20
Kenevir	305	30-35
Soya	375	17-26
Keten	402	38
Fındık	405	65-75
Bezir Yağı	442	49-51
Bal kabağı	449	24-30
Hardal	481	27-35
Susam	585	50
Aspir	655	25-37
Ayçiçeği	800	35-40
Kakao	863	50
Yer Fıstığı	890	36-50
Haşhaş	978	40-50
Kanola	1000	33-40
Zeytin	1019	35-70
Zencibar	1119	35-38
Badem	1125	25-50
Jajoba	1528	48-52
Ceviz	4500	60

Biyodizel üretimi için tercih edilen yağ bitkilerinden bir diğeri ise çay tohumudur.

1.2.5.1. Çay Bitkisi, Çay Tohumu ve Çay Tohumu Yağı

Camellia bitkisi uzun ömürlü, her daim yeşil olan, 1–20 m. uzunluğundaki ağaççıklardır. Ağaçlık arazilerde, asitli topraklarda yetişen Camellia cinsinin, 250'den fazla türü vardır. Hindistan ve Himalayalar'dan, Çin, Japonya, Güney Endonezya'ya, Jawa ve Sumatra'ya uzanan geniş bir coğrafyada yetişir. Geniş, parlak, kenarları tırtıklı olan yapraklarının şekli sivri uçlu şekilden ovale kadar değişir. Kalın yaprakları ve pembe, kırmızı, beyaz, sarı renklerinde olan gösterişli çiçeğiyle ünlüdür (İlhan, 2007).



Şekil 1.4. Çay Bitkisi (*Camellia japonica*) (Anonim, 2021a)

1.2.5.2. Çay Bitkisi

Çay bitkisi çiçekli bitkilerin kapalı tohumlarının alt kısmının iki çenekli sınıfının serbest taç yapraklı alt sınıfından Parietales takımının Theaceae familyasının *Camellia* cinsindedir. Ekonomik verim yaşı 50 yıldır, 100 yıl yaşabilmektedir. 1881 yılında Ogust Kunntz isimindeki botanikçi çayı *Camellia sinensis* olarak isimlendirilmiştir. (Anonim 2021 b).



Şekil 1.5. *Camellia sinensis* (Anonim, 2021 c)

Çay bitkisinde meyveler olgunlaşmadan önce yeşil olup, kalın kabuklu, yaklaşık 2.5 cm çapında ve 1-4 bölmelidir. 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 yarım küre şeklindedir. Tohumların üzeri sert bir kabukla kaplıdır (Anonim 2021 d).



Şekil 1.6. Çay Tohumu (Anonim, 2021 e)

1.2.5.3. Dünyada ve Türkiye’de Çay ve Çay Tohumu Yağı Üretimi

Dünyada sudan sonra tüketilen ikinci içecek olan Çay (*Camellia sinensis*), çaygiller (*Theaceae*) familyasından nemli iklimlerde yetişen, yaprak ve tomurcukları içecek maddesi üretmekte kullanılan bir tarım bitkisidir. *Camellia Assamica* ve *Camellia Sinensis* olmak üzere iki türü bulunmaktadır.

Çay Dünyada ilk defa Çin ve Hindistan’da yetiştirilmeye başlanmış olup anavatanı Assam (Hindistan’ın Çin’e bakan iç tarafları) dır. Çay bitkisinin M.Ö. 2700 yıllarında Assam’dan Çin’e taşındığı ve orada da kültürü yapılmaya başlandığı bilinmektedir.

Günümüzde, başta Hindistan, Çin, Sri Lanka (Seylan), Kenya, Endonezya ve Türkiye olmak üzere yaklaşık 45 ülkede çay üretimi yapılmaktadır.

FAO istatistiklerine göre Dünya’da çay tarım alanları 2010 yılında 3.149.608 hektar, 2011 yılında 3.412.539 hektar, 2012 yılında 3.517.383 hektar, 2013 yılında 3.521.220 hektar, 2014 yılında ise 3.779.382 hektara ulaşmıştır. Aynı istatistiki rakamlar doğrultusunda Dünya’da çay üretimi ise 2010 yılında 4.606.606 ton iken(siyah çay, yeşil çay ve diğer çay çeşitleri), 2011 yılında 4.771.205 ton, 2012 yılında 5.034.967 ton, 2013 yılında rakam 5.361.523 ton ve 2014 yılında da 5.561.339 ton olmuştur.

Türkiye dünyada, çay tarım alanlarının genişliği bakımından 8., kuru çay üretiminde 6., kuru çay tüketimi yönünden de 3.sırada yer almaktadır (Çaykur, 2015).

Ülkemizde hâlihazırdaki çay bahçelerinde bulunan çay tohumları atıl bir vaziyettedir ve ekonomiye herhangi bir katkı sağlamamaktadır. Yüksek rakımlı arazilerdeki çaylıkların tohum verimi, rakımı düşük olan arazilere göre daha yüksektir. Bundan dolayı, çay arazilerini içimlik ve yağlık olarak ikiye ayırmak daha uygun olacaktır. Ülkemizde fazla bir öneme sahip olmayan ve üzerinde durulmayan çay tohumlarının özellikleri ve miktarı ile ilgili yaygın bir çalışma yapılmamıştır.

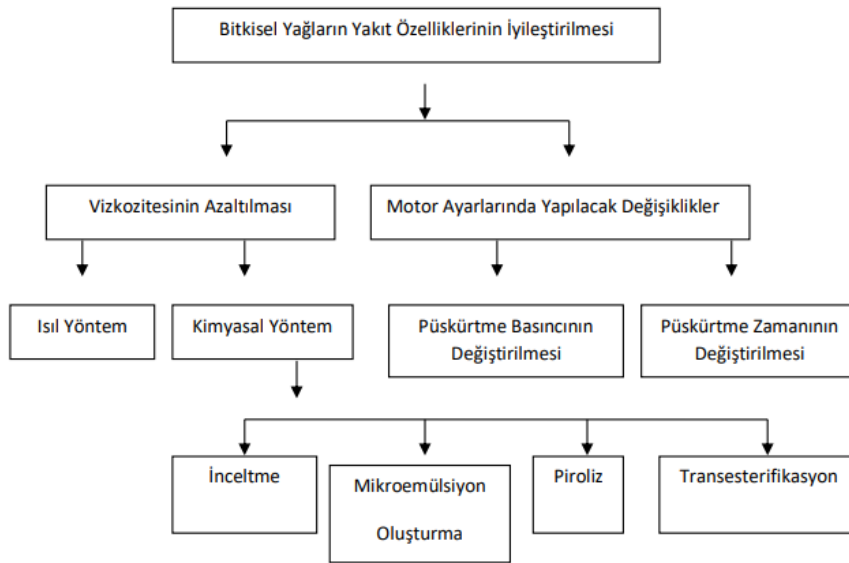
1.2.6. Biyodizel Elde Etme Yöntemleri

Dizel motorlarda, alternatif yakıt olarak bitkisel yağlar kullanılmaktadır. Alternatif yakıt olarak bitkisel yağların kullanılması yüksek viskozite denilen bir sorunu ortaya çıkarmaktadır.

Bitkisel yağların dizel yakıt alternatifi olarak değerlendirilebilmesi için, öncelikle yüksek viskozite probleminin çözülmesi gerekmektedir. Buna göre yüksek viskozite problemi, ya motorda bir takım değişiklikler yaparak ya da saf bitkisel yağlara çeşitli yöntemler uygulanarak çözülmeye çalışılmaktadır. Yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi konusundaki çalışmaların ağırlığını, bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılması oluşturmaktadır (Kaya, 2007).

Bu sebeple bitkisel yağlardan biyodizel elde edilmesi konusundaki çalışmaların büyük bir çoğunluğunu, yüksek viskozitenin azaltılması oluşturmaktadır (Haşimoğlu vd. 2008).

Şekil 1.7’de yakıt özelliklerinin iyileştirilmesinde ki yöntemler gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Bitkisel yağların yakıt özelliklerinin iyileştirilmesi (Koçer ve Durmuş, 2019)

Bitkisel yağların viskozitelerinin azaltılmasında, ısı ve kimyasal olmak üzere iki yöntem uygulanmaktadır. Bu yöntemlerin başlıcaları inceltme (seyreltme), mikroemülsiyon oluşturma, piroliz ve transesterifikasyon yöntemleridir (Kaya, 2007).

Kimyasal yöntem;

- seyreltme,
- mikroemülsiyon oluşturma,
- piroliz (ayırıştırma),
- transesterifikasyon işlemlerini içermektedir.

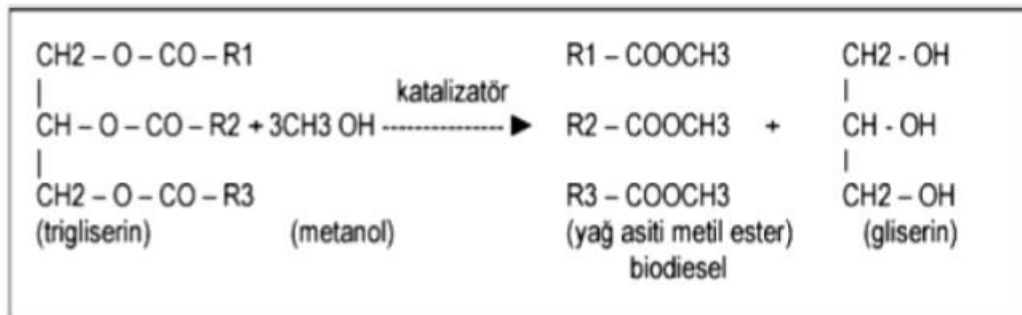
Bitkisel yağdan biyodizel elde etme işlemine transesterifikasyon denmektedir. Transesterifikasyon, bir esterin başka bir estere dönüştürülmesi işlemidir. Ester; bir başka moleküle bağlanabilen hidrokarbon zinciridir (Demirbaş, 2007).

Bu çalışmada da, bitkisel yağdan biyodizel elde etmede transesterifikasyon yöntemi kullanılmıştır.

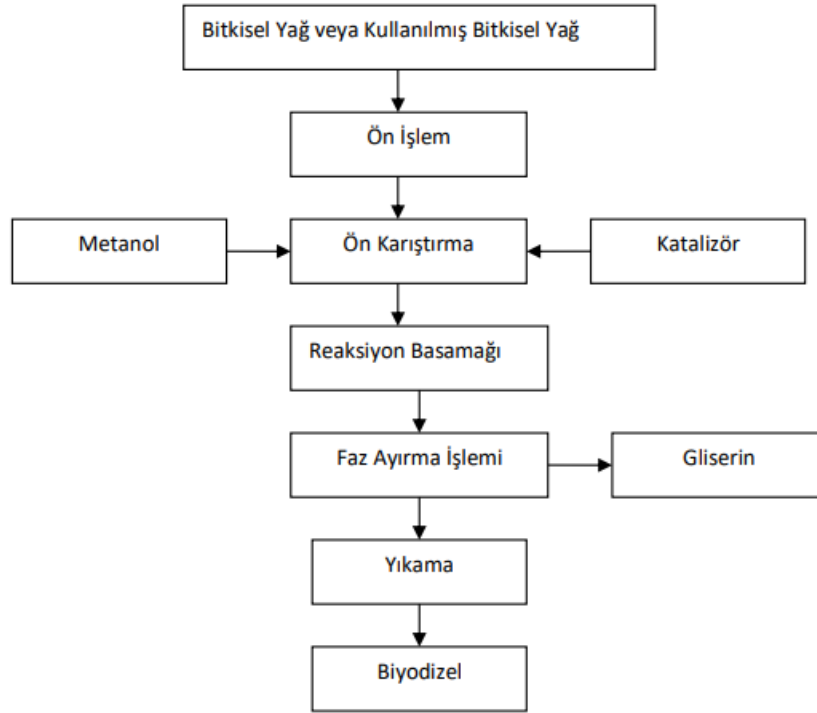
1.2.6.1. Transesterifikasyon Yöntemi

Bitkisel yağların, diesel yakıt alternatifi olarak uygunlaştırılmasında izlenen en önemli kimyasal yöntemdir. Bu yöntemde alkoliz reaksiyonu adı da verilmektedir. Transesterifikasyon, bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı alkolle bir katalizatör eşliğinde gliserin ve yağ asidi esteri oluşturmak üzere reaksiyona girmesidir. Bu reaksiyon sonucu biyodizel elde edilmektedir. Transesterifikasyon reaksiyonu aşağıdaki gibidir (Ulusoy ve Alibaş, 2002).

Şekil 1.8’de Transesterifikasyon reaksiyonu ve Şekil 1.9’da ise işlem basamakları verilmiştir.



Şekil 1.8. Transesterifikasyon reaksiyonu (Ulusoy ve Alibaş, 2002)



Şekil 1.9. Biyodizel üretim şeması (Ulusoy ve Alibaş 2002)

1.2.7. Biyodizelin Kullanım Alanları

Biyodizelin motor yakıtı olarak kullanımını dışında sayısız kullanım alanı vardır.

Bunlar;

- Soba, fener ve diğer ısıtıcılarda,
- Model uçaklarda,
- Kalorifer kazanlarında,
- Yapışkan kimyasal, sprey boyaların ve otomobillerdeki istenmeyen boyaların temizlenmesinde çözücü (solvent) olarak,
- Motor parçalarındaki yağ ve kurumun temizlenmesinde,
- Çok amaçlı makina yağlayıcısı olarak,
- Jeneratör yakıtı olarak,
- Hidrolik sıvısı olarak,
- Demiryolu yağlayıcısı olarak,
- Gıda işletmelerinin yakıt ihtiyacının karşılanmasında kullanabilmektedir (Kaya, 2007).

1.2.8. Biyodizelin Avantajları

Dizel yakıtı alternatif olarak kullanılan biyodizelin, dizel yakıtı göre birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlar;

- Biyodizel, dizel motorlarda herhangi bir değişiklik yapılmadan kullanılabilir.
- Dizel yakıtın depolandığı koşullarda depolanabilir.
- Çevreye herhangi bir zararı olmadığı için kullanımı ve taşınması oldukça güvenlidir. Ayrıca dizele göre yüksek parlama noktasına sahip olması yine güvenlik açısından önemlidir.
- Saf bir şekilde kullanılabilmesi gibi dizel yakıtı ile de belli oranlarda karıştırılarak kullanılabilir.
- Dizel yakıtı göre çevreye yaydığı emisyon miktarı çok daha azdır.
- Yağlayıcılık özelliği iyidir.

1.2.9. Biyodizelin Dezavantajları

- Düşük sıcaklık özelliği (Özellikle hurma yağından elde edilen memnun edici değildir.)
- Yüksek viskozite
- Daha düşük enerji içeriği
- Daha yüksek nitrojen-oksit (NO_x) emisyonu
- Yüksek fiyat
- Yenebilir yağlardan biyodizel üretimi, dünya gıda ihtiyacının karşılanmasında sıkıntı yaratabilir (Akbin, 2012).

1.2.10. Etanol

Etanol şekerli ve nişastalı bitkilerin fermentasyonu veya selülozik kaynakların asidik hidrolizi ile üretilen bir biyoyakıttır. Hammadde olarak şeker pancarı, şeker kamışı, mısır, buğday, patates gibi bitkiler; sap, saman, kabuk gibi odunsu bitkiler; tarımsal atık ve artıklar ile şeker üretimi yan ürünü olan melas kullanılabilir (Balat ve ark., 2008, Aydın, 2014).

Yakıtın oktan sayısını artırır. Fosil yakıtlara göre daha az sera gazı emisyonu yayar. Alt ısı değeri petrole göre daha düşüktür. Buharlaştırma ısısının yüksek oluşu motorlarda soğukta ilk hareketi zorlaştırmaktadır (Özdingis and Koçar, 2018).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatürde, birbirinden farklı yağlı tohum bitkilerinden biyodizel üretimi, bunların değişik özellikteki motorlarda test edilmesi, oluşturulan değişik platformlarda analiz edilmesi üzerine birçok çalışma yer almaktadır.

Hosseini ve diğerleri 2017, deneylerini tek silindirli dizel motorda gerçekleştirerek, motorun performansı ve emisyonu üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Biyodizeli, ASTM D6751 standardına uygun transesterleştirme reaksiyonu kullanarak atık pişirme yağından üretmişlerdir. B₅ (atık pişirme yağından % 95 dizel % 5 biyodizel) ve B₁₀ (atık pişirme yağından % 90 dizel % 10 biyodizel) yakıt karışımlarına alümina (Al₂O₃) nanoparçacıklar (30, 60 ve 90 ppm'lik dozaj ile) eklemiştirler. Deneysel çalışmalarını tam yük altında 1800, 2300 ve 2800 rpm'lik üç motor devri üzerinde, 22 °C ortam sıcaklığı ve 878 mbar atmosfer basıncı altında gerçekleştirmişlerdir. Testlerin sonucuna bağlı olarak CO ve UHC emisyonlarının azaldığını, NO_x ve CO₂ emisyonlarının ise arttığını söylemişlerdir.

Islam ve diğerleri 2017, çalışmalarında mikroalglerden biyodizel üretimi için tür seçim süreci, bu konuya ilişkin güncel gelişmeler, ticari hasat biyoyakıt üretimindeki zorluklar ve genel mikroalg biyodizel özellikleri ve performansları, ve bu konularla ilgili literatürde ki yetersizlikler üzerinde durmuşlardır. Mikroalglerdeki yapısal lipidlerin çoğunun, daha az setan sayısı, daha düşük yanıcılık ve daha yüksek iyot değerleri gibi yakıt kalitesini olumsuz etkileyen ikiden fazla çift bağa sahip uzun zincirler olduğunu ifade etmişlerdir. Bu nedenle, biyodizel üretimi için ekstraksiyon yöntemlerinin, bu olumsuz durumu önleyebilmesi gerektiğini söylemişlerdir. Yaptıkları araştırmalar sonucunda mikroalg özütlerinden omega-3 ve omega-6 ayrımı gibi yüksek değerli ürünlerin biyodizel kalitesini artıracaklarını ifade etmişlerdir. Biyodizel üretimi için uygulanması gereken ekstraksiyon işleminin yüksek maliyetli olmasından kaynaklı üretimde engellerin ortaya çıktığını söylemişlerdir. Mikroalg biyodizel ile yapılan çok sınırlı sayıda motor testlerinde, motor emisyonu açısından etkileyici bir performans gösterdiğini ileri sürmüşlerdir.

Srihari ve diğerleri 2017, bu çalışmada biyodizel-dizel harmanlarındaki dietil eterin, PCCI-DI motorundaki performans ve emisyon özellikleri üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Yakıt olarak pamuk tohumu yağından elde edilen biyodizeli

kullanılmışlardır. Girdap akımı dinamometresi ile birleştirilmiş tek silindirli, dört zamanlı doğrudan enjeksiyonlu diesel motor kullanmışlardır. Motor giriş manifolduna bir buharlaştırıcı ünitesi takmışlardır. Deney 2000 rpm'de yüksüzden maksimum 14 Nm yüke kadar yapılmıştır. PCCI-DI motorunda farklı dizel, biyodizel ve DEE (dietil eterin) karışımları ile testler yapmışlardır. Bu testlere bağlı olarak fren özgül yakıt tüketimi (BSFC), fren termal verimliliği (BTE), egzoz gazı sıcaklığı, silindir basıncı, NO_x, CO, HC ve duman konsantrasyonu gibi parametreleri incelemişlerdir.

Yıldızhan ve diğerleri 2017, bu çalışmada atık pişirme yağından (WCO) üretilen biyodizelin ve üniversiteden toplanan atık kızartma yağından üretilen biyodizelin değişken sıkıştırma oranlı (VCR) dizelindeki yakıt özelliklerini, performansını ve emisyon özelliklerini araştırmışlardır. Biyodizel üretiminde transesterifikasyon yöntemini kullanmışlardır. Dizel, WCO-biyodizel ve WCO-dizel biyodizel karışımlarını (B₂₀), VCR (tek silindirli, çoklu yakıtlı ve değişken sıkıştırma oranlı dizel motor) motorunda test etmişlerdir. Motorun performans ve emisyon karakteristiklerini, iki farklı sıkıştırma oranında (14:1 ve 16:1) ölçmüşlerdir. Bu çalışmaya göre atık yemeklik yağ kullanımı CO, CO₂ ve NO_x emisyonlarının artmasına sebep olmuştur.

Dhas ve diğerleri 2018, biyodizel yakıtlı dizel motorda etin gazı kullanımını farklı akış hızında araştırmışlar ve dizel çalışma ile karşılaştırmışlardır. Temiz biyodizel yakıtlı sabit dizel motorun emisyon karakteristikleri üzerinde çift yakıtlı çalışarak etin gazının sonucunu incelemişlerdir. Yakıt olarak hardal tohumu yağından yararlanmışlardır. Hardal yağı, metanol (bazik alkol) ve potasyum hidroksit (katalizör) içeren basit transesterifikasyon yöntemi ile biyodizele dönüştürmüşlerdir. Etin gazı ile çalışmak için motor silindir kapağını, giriş valfinin üzerine konumlandırılarak solenoid gaz enjektörü ile modifiye etmişlerdir. Yapılan deneysel çalışmanın sonucuna göre; üretilen yakıt ele alındığında normal dizele göre; hidrokarbon, karbon monoksit ve duman emisyonunda maksimum azalma olduğunu gözlemlemişlerdir. NO_x emisyonlarının ise daha yüksek olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Sakdasri ve diğerleri 2018, bu çalışmada temel olarak, L-SCM(süperkritik metanol)'ün Tekno-ekonomik analizini (TEA) 12:1 metanol/yağ molar oranında değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Proses simülasyonunu, Aspen plus® sürüm 8.8

yazılımı kullanarak yapmışlardır. Biyodizel üretimi için hammadde olarak palmye (hurma) yağı kullanmışlar; geleneksel alkali katalizli ve alternatif C-SCM ve L-SCM teknolojileri ile bir proses oluşturmuşlardır. Reaksiyonu, 60 °C'de atmosfer basıncı altında, sırasıyla transesterifikasyon ve nötralizasyon reaksiyonları ile gerçekleştirmişlerdir. Katalizör olarak susuz sodyum hidroksit ve fosforik asit kullanmışlardır. Yapılan deneyde, hurma yağı ve metanolü, 25 °C ve 1 bar'da iki yüksek basınçlı pompa ile süperkritik reaktöre ayrı ayrı vermişlerdir. Her iki akışı da reaktöre girmeden önce 20 MPa basınca kadar basınçlamışlardır. Hem yağ hem de metanolü karıştırarak ve 300 °C'de ürün dönüşümünü gerçekleştirmişlerdir. Bu üç işlem için de, duyarlılık analizi, hammadde ve ürün satış fiyatlarındaki farklılıkları araştırmışlardır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre; alkali katalizli ve C-SCM işlemlerinden yaklaşık olarak 5046.95 ve 5024.29 kg/s biyodizel üretmişlerdir. L-SCM işleminden ise 5376.66 kg/s biyodizel elde etmişlerdir. Alkali katalizli ve C-SCM işlemlerine kıyasla, L-SCM ile 1.07 kat artırılmış verim sağlamışlardır. Bu işlemlerde toplam enerji tüketiminin düşükten yükseğe doğru sırasıyla; L-SCM (3121.85 kW), ardından Alkali katalizli (3775.85 kW) ve C-SCM (7271.56 kW) şeklinde olduğunu gözlemlemişlerdir. Alkali kataliz, C-SCM ve L-SCM işlemlerinin TCI değerlerini sırasıyla 4.91 \$, 7.19 \$ ve 9.91 milyon \$ olarak hesaplamışlardır. L-SCM sürecinin finansal açıdan en umut verici işlem olduğunu ileri sürmüşlerdir. C-SCM işleminin finansal açıdan karlı olmadığını belirtmişlerdir.

Soudagar ve diğerleri 2018, yaptıkları çalışmalarında bir dizel motorunun performans ve emisyon özelliklerine dayanarak dizel ve biyodizel yakıt karışımları için kullanılan en uygun nanoparçacıkları seçme kriterleri üzerinde durmuşlardır. Nanoparçacıkların kullanılmasına, hazırlanmasına yönelik tekniklere, kararlılık kontrol cihazları ve termofiziksel özellikleri gibi farklı özellikler üzerinde yapılan çalışmalarını incelemişlerdir. Nanoparçacıkların insan sağlığı üzerindeki zararlı etkileri, yanma ve egzoz sırasındaki sonuçları, motor korozyonu gibi konularda çeşitli bilgilendirmeler yapmışlardır. Nanoparçacıkların sıvı yakıt içine dahil edilerek, egzoz emisyonunun azaltılması ve performansın artırılması gibi birçok avantaj sağlayabileceğini ifade etmişlerdir. Biyodizel karışımına metal bazlı (Mn, Ni, Mg, Co) katkı maddeleri ve az sayıda oksijenli katkı maddesi eklenmesiyle viskozite, yoğunluk ve parlama noktasının azaldığını, ancak karışımın oksijen içeriğinin arttığı sonucuna varmışlardır. Oksijenli katkı maddelerinin yanma odası sıcaklığındaki artış sebebiyle CO emisyonunu

azalttığını ifade etmişlerdir. Metalik ve CNT nano-katkı maddeleri, emisyonu azalttığı ve motor performansını arttırdığı için yakıt karışımlarında kullanılması konusunda araştırmacılarda olumlu bir düşünce yaratmıştır. Bunun yanında TiO₂ katkı maddelerinin, motor gücünü artırmada daha etkili olduğu ifade edilmiştir. Metalik NP'lerin eklenmesiyle, ateşleme gecikme süresinin azaldığını, alt ısıl değerinin ve oksidasyonun arttığını ifade ederek tam ve temiz bir yanmaya yol açtığını söylemişlerdir. Bütün bunların yanında nanopartiküllerin dizel ve biyodizel yakıtlara dâhil edilmesinden kaynaklanan çevre kirliliği konusuna da dikkat çekmişlerdir.

Tüccar ve Uludamar 2018, nar çekirdeği yağından elde edilen biyodizelin yakıt olarak kullanılabilirliğini ve dizel motor kullanarak saf hidrojenle zenginleştirilmiş nar çekirdeği yağı biyodizelinin (POB) motor performansını ve emisyon özelliklerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Nar çekirdeği yağından üretilen biyodizeli, transesterifikasyon yöntemi ile üretmişlerdir. Üretim esnasında katalizör olarak % 0,5 oranında sodyum hidroksit kullanmışlar ve %15 metanol (reaktan) içerisinde çözünmesini sağlamışlardır. Yakıtı (B₂₀), %20 Nar çekirdeği yağı biyodizeli %80 geleneksel dizel yakıtla harmanlayarak hazırlamışlardır. Motor deneylerini, TT elektrik AMP 160-4B elektrikli dinamometre yardımıyla dört zamanlı, dört silindri Mitsubishi Canter 4D31 dizel motor üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada elde edilen motor performans verilerini 1200 rpm ile 2800 rpm arasında değişen motor devirlerinde değerlendirmişler ve testleri tam yük koşullarında yapmışlardır. Bu çalışmanın sonucunda; POB'nin yüksek viskozite ve yoğunluğunun, düşük setan sayısının dizel yakıtla karıştırılmasıyla beraber dengelenebileceği, POB'un dizel motorlarda direkt kullanılabileceği kanısına varmışlardır. POB'nin kullanımının CO emisyonlarını ve motor gücünü azalttığını, NO_x emisyonlarını belirli bir miktar artırdığını gözlemlemişlerdir. POB'ne hidrojen ilavesinin motor gücü ve BSFC üzerinde pozitif etkileri olduğunu da ileri sürmüşlerdir.

Charitha ve diğerleri 2019, bu çalışmada yakıt olarak pamuk tohumu biyodizeli kullanmışlardır. Motorun emme manifolduna beş farklı yüzdelik oranlarla (%10, %15, %20, %25 ve %30) yakıt enjekte ederek performans ve emisyon parametrelerini incelemişlerdir. İncelenen parametreler; BSFC (fren özgül yakıt tüketimi), BTE (fren termal verimliliği), EGT (egzoz gazı sıcaklığı), silindir içi basınç, NO_x, CO, HC ve duman konsantrasyonudur. Deneyi, Reaktivite Kontrollü Sıkıştırma

Ateşleme (RCCI) motorunda gerçekleştirmişlerdir. Sonuçları ise Konvansiyonel Dizel Yanma (CDC) motoru ile kıyaslamışlardır. Bu çalışmanın sonucunda, NO_x emisyonlarının azaldığını, biyodizelin yüzdelik artışına bağlı olarak HC emisyonlarının arttığını, duman konsantrasyonunun azaldığını gözlemlemişlerdir. Fren termal verimliliğinin pamuk tohumu biyodizeli ilavesiyle arttığını, ateşleme gecikmesinin ise azaldığını söylemişlerdir.

Dimitriou ve diğerleri 2019, yaptıkları bu çalışmada düşük kükürtlü ve aromatik bir yakıt uygulayarak hidrojen fumigasyonlu çift yakıtlı bir motordaki NO_x ve kurum emisyonlarını azaltmayı hedeflemişlerdir. Yapılan tüm deneyler, 3mm³ pilot enjeksiyonlu bir çift enjeksiyon stratejisi uygulanarak, 5.2 L ağır hizmet tipi sıkıştırma ateşlemeli bir motorda gerçekleştirilmiştir. Motoru, emme yükünü artırmak için yüksek basınçlı bir EGR sistemi ve değişken geometri bir turboşarj (VGT) ile donatmışlardır. Yapılan deneylere göre; dizel ve biyodizelin emisyonlarını kıyasladıklarında, kurum oluşumunun her iki motor yükü için de % 75'in üzerinde azaldığını tespit etmişlerdir. Düşük sıcaklıklarda CO artışını biyodizelin eksik yanmasına bağlamışlardır. Her iki motor yükünde de yaklaşık % 5 oranında beklenen bir NO_x artışı gözlemlemişlerdir. Hidrojen ve biyodizel ile motorun çalışması, motorun fren termal verimliliğinde (BTE) önemli bir azalma göstermiştir. Son olarak elde edilen sonuçlara göre hidrojen-dizel ve hidrojen-biyodizel karşılaştırmasının zor olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Dinesh ve diğerleri 2019, bu çalışmada Tamanu yağından biyodizel üretmişler, motor performans analizi ve emisyon özelliklerini incelemişlerdir. Deneyleri dört zamanlı bir Kirloskar marka dizel motorunda gerçekleştirmişlerdir. Biyodizel üretimi için transesterifikasyon yöntemini kullanmışlardır. Biyodizeli B₁₀, B₂₀, B₃₀ ve B₄₀ gibi ticari dizel yakıtlarla harmanlamışlardır. Potasyum hidroksit ve metanolü, katalizör ve reaktan olarak kullanmışlardır. Metanol ve ham yağ oranının 4:1, 6:1, 8:1, 9:1 gibi molar oranını değiştirerek biyodizelin maksimum verimini belirlemek için ön çalışma yapmışlar ve verimleri sırasıyla % 82, % 86.15, % 81 ve % 75 olarak bulmuşlardır. En yoğun verim oranını 6:1 molar oranından sağlamışlardır. B₁₀ ile karıştırılmış biyodizelin, daha az yakıt tüketimi gerektirdiğini ve diğer karışımlara kıyasla daha yüksek performans gösterdiğini söylemişlerdir. Genel olarak emisyonlarda azalma, performanslarda da önemli bir artış olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Erdoğan ve diğerleri 2019, bu çalışmada 7,2 kW yükte ve 1500 rpm sabit motor hızında çalışan bir dizel motor kullanmışlardır. Deneysel saf biyodizel yakıtı %5, %20 ve %50 dizel yakıtla karıştırmışlar ve bunları B₅, B₂₀ ve B₅₀ olarak adlandırmışlardır. Dizel yakıt ve saf biyodizel yakıtı da sırasıyla B₀ ve B₁₀₀ olarak adlandırmışlardır. En iyi yakıt tipini DINCOPRAS (Karmaşık Oransal Değerlendirme) ile belirlemişlerdir. Motorda herhangi bir değişiklik yapmamışlardır. Farklı fiziksel ve kimyasal özellikteki yakıtları kullanarak motorun performans ve emisyon özelliklerini araştırmışlardır. Performans parametrelerine göre, harman yakıtında biyodizel oranı arttıkça yakıt tüketiminin arttığını gözlemlemişlerdir. Testlerde, biyodizel ile yakıt karışımlarında CO, HC ve NO_x emisyonlarının daha düşük olduğunu ve CO₂ emisyonlarının dizel yakıtı göre arttığını söylemişlerdir. COPRAS yöntemine göre, en iyi yakıt sıralamasını B₅ > B₂₀ > B₅₀ > B₀ > B₁₀₀ olarak bulmuşlardır.

Fazal ve diğerleri 2019, bu çalışmada klasik yakıtların ve biyodizelin performanslarına göre farklılıklarını değerlendirmişlerdir. Deneysel bir çalışmadan ziyade, yapılmış olan çalışmalar üzerinden ilerlemişlerdir. Yanma odasında ki enjeksiyon jetinin yapısının motor performansındaki artışı belirlediğini ve kirletici emisyonlarını azalttığını söylemişlerdir. Biyodizelin kalitesine etki eden birçok parametreyi ayrı ayrı incelemişlerdir. Bunlar; yoğunluk, kinematik viskozite, parlama noktası, bulut noktası, donma noktası, asitlik indeksi, iyot indeksi, damıtma sıcaklığı, sabunlaşma indeksi, kırılma indisi, oksidasyon kararlılığıdır. Bu parametrelere bağlı olarak, biyodizelin atomizasyonu, dizel yakıtla karşılaştırılan daha yüksek yüzey gerilimi ve viskozite değerlerinin sonucu demişlerdir. Biyodizelin daha fazla sayıda setan, düşük kükürt içeriği, daha düşük CO emisyonları ve biyobozunurluk, yanmamış HC ve partikül madde gibi bazı avantajları olduğunu söylemişlerdir. Yoğunluğun, viskozitenin ve ısıtma değerinin motor performansını ve emisyon özelliklerini etkilediğini dile getirmişlerdir.

Khond ve Kriplani 2019, bu çalışmada yakıt olarak transesterifikasyon yöntemiyle elde edilen Neem biyodizel kullanmışlardır. Hindistan'da oldukça fazla bulunan bu yakıtın yüksek viskoziteye, düşük alt ısı değere ve düşük buharlaşma oranına sahip olduğunu ve bu durumun yanma uygulamalarında problem yarattığını söylemişlerdir. Yapılan çalışmada da Neem biyodizele farklı dozlarda su içeren ve su içermeyen nanotüp süspanse ederek yakıtın buharlaşma özelliklerini belirlemeyi

amaçlamışlardır. Neem biyodizele eklenen karbon nanotüp sayesinde buharlaşma hızında bir iyileşme gözlemlenmiştir. Yapılan testlerde kullanılan yakıtları; D-BD (Dizel-biyodizel), J-BD (Jatropha biyodizel), NB (Neem biyodizel), NB₈₅W₁₅CNT₂₅ (% 85 Neem biyodizel, % 15 su, 25 mg karbon nanotüp), NB₈₅W₁₅CNT₅₀ (% 85 Neem biyodizel, % 15 su, 50 mg karbon nanotüp), NB₈₅W₁₅CNT₁₀₀ (% 85 Neem biyodizel, % 15 su, 100 mg karbon nanotüp) şeklinde ifade etmişlerdir. Yapılan testlerin sonucunda, NB yakıtlara CNT (karbon nanotüp) ilavesi ile saf NB yakıtı göre buharlaşma süresinin azaldığını tespit etmişlerdir. NB₁₀₀CNT₁₀₀ için buharlaşma süresinin dizele göre % 86.9 azaldığını söylemişlerdir. CNT konsantrasyonu arttıkça buharlaşma süresinde bir azalma, suyun eklenmesiyle de buharlaşma süresinin daha da azaldığını gözlemlenmiştir.

Rahman ve diğerleri 2019, çalışmalarında çeşitli uçucu yağ karışımlarının çok silindirli dizel motorun emisyon özellikleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bunun yanında saf uçucu yağların kimyasal bileşimini belirlemeyi, uçucu yağları ve bunların dizel ile karışımlarını karakterize etmeyi hedeflemişlerdir. Portakal, okaliptüs ve çay ağacı yağını hacimce %5 ve %10 dizel ile harmanlamışlar, temiz dizel ve %10 atık pişirme yağı biyodizel-dizel harmanını da karşılaştırma için test etmişlerdir. Deneyleri altı silindirli, turboşarjlı bir dizel motorla gerçekleştirmişlerdir. Her test yakıtı için CO, NO_x, partikül kütlesi ve partikül sayısı dahil egzoz emisyonlarını ölçmüşlerdir. Yapılan test sonuçlarına göre tüm yüklerde okaliptüs yağ-dizel ve portakal yağ-dizel harmanlarının, diğer yakıtlara kıyasla daha az NO_x yaydığını, çay ağacı yağı-dizel harmanlarının en fazla CO yayarken portakal-dizel ve okaliptüs-dizel harmanlarının en az CO yaydığını söylemişlerdir. Okaliptüs yağını dizel ile karıştırdıklarında, okaliptüsün dizelin oksidasyon stabilitesini önemli ölçüde arttırdığı sonucuna varmışlardır. Tüm uçucu yağların ve uçucu yağ-dizel karışımlarının yüksek yoğunluk, düşük viskozite ve düşük parlama noktası sergilediğini söylemişlerdir.

Sandouqa ve Al-Hamamre 2019, çalışmalarında jojoba yağından biyodizel üretiminin tam zincir enerji analizini yapmışlardır. Jojoba yağından biyodizel üretmek için iki aşamalı esterleştirme-transesterifikasyon yöntemini kullanarak biyodizel üretimi için gereken enerjiyi hesaplamışlardır. Enerji verimliliğini, net enerji dengesi (NEB) ve net enerji oranı (NER) olarak ifade etmişlerdir. Gübre üretimi ve uygulaması sırasındaki enerji girdilerine, jojoba ekimi ve hasadı, yağ çıkarma, biyodizel üretimi, ürün nakliyesi

ve dağıtımını dâhil etmişlerdir. Biyodizel ve yan ürünlerini (saman, tohum posası ve gliserin) enerji çıktıları olarak dahil etmişlerdir. Üretilen biyodizelin ve yan ürünlerin enerji üretimi değerlendirildiğinde, net enerji dengesi (NEB) değerini 46724.1 MJ/ha ve net enerji oranını $NER = 2.16$ olarak hesaplamışlardır.

Atmanlı ve Yılmaz 2020, atık yağ metil esteri (WB) ve yüksek karbonlu C_3 (propanol), C_4 (n-butanol) ve C_5 (1-pentanol) alkollerinin ikili karışımlarıyla elde edilen yakıtların özelliklerini ve bunların yarı düşük sıcaklıkta yanma (S-LTC) işlevini gerçekleştirmek için motor özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Hazırlanan yakıtların hacimsel olarak oranlarını: %80 WB - %20 C_3 , %80 WB - %20 C_4 ve %80 WB - %20 C_5 şeklinde belirlemişlerdir. Atık yemeklik yağın biyodizele dönüşümünü üç aşamalı transesterifikasyon yöntemi ile gerçekleştirmişlerdir. Yapılan deneyde, Onan DJC tipi, dolaylı enjekte edilmiş, dört silindirli dizel motor jeneratörü kullanmışlardır. Sabit motor devri (1800 rpm) ile dört motor yükünde (0, 3, 6, 9 kW) testler yaparak, motor performansını ve egzoz emisyonlarını belirlemişlerdir. Yapılan deneyin sonucunda, yakıt karışımlarının düşük setan sayısı ve düşük ısıtma değerleri nedeniyle kullanılan motorun sağlanan yakıtla beraber veriminin arttığını gözlemlemişlerdir. WB'ye C_3 , C_4 ve C_5 ilavesi, fren özgül yakıt tüketimini (BSFC) ve egzoz gazı sıcaklıklarını (EGT) artırma etkisine sahipken, fren termal verimliliğini (BTE) azalttığına yönelik sonuç sunmuşlardır. WB karışımlarının düşük ısıtma değeri ve yüksek alkollerin buharlaşmasının yüksek gizli ısı nedeniyle, WBC_3 , WBC_4 ve WBC_5 için alev sıcaklığında ve NO_x emisyonlarında bir düşüşün olduğu sonucuna varmışlardır. Propanol, n-butanol ve 1-pentanolün en önemli avantajının, herhangi bir motor modifikasyonu veya katkı maddesi olmaksızın dizel motorlarında güvenle kullanılabileceğini öne sürmüşlerdir.

Channappagoudra ve diğerleri 2020, çalışmalarında Kirloskar marka 3.5 kW, direkt enjeksiyonlu (DI), su soğutmalı konvansiyonel dizel motor kullanmışlardır. Motoru deney boyunca 1500 rpm'lik sabit bir hızda çalıştırmışlardır. Yakıt olarak süt köpüğü yağı metil esteri (DSOME) (pilot yakıt) ve (ana yakıt) kullanmışlardır. DSOME'den transesterifikasyon yöntemi ile saf yağ metil esteri üretmişlerdir. Çeşitli karışım oranlarında ki dizel ile süt pisliği biyodizel karışımları (B_{10} , B_{20} , B_{30} ve B_{100}) ile çalışan dizel motorun temel performansını (BTE) incelemişlerdir. Deneylerde hem tekli hem de ikili yakıt kullanarak farklı parametreleri incelemişlerdir. Süt atığı pisliğinin

yakıtta ilave edilmesinin, süt işletmelerinin ekonomisine faydalı olacağını, küresel ısınmanın hafifleyeceğini ve fosil yakıtlara olan bağımlılığın azalması açısından yararlı olacağını ileri sürmüşlerdir. Motorun tek yakıt iletiminde, B₁₀, B₂₀, B₃₀ ve B₁₀₀ yakıtları arasında en iyi sonuç veren yakıt karışımını B₂₀ olarak seçmişlerdir. Bu yakıtın test sonuçlarına bağlı olarak mevcut temel dizel motoru, optimize edilmiş yakıt harmanı, IOP, IT, CR, nozul delikleri ve farklı yüklerdeki piston haznesi geometrisi gibi çeşitli motor parametrelerine göre ikili yakıt sistemine göre optimize etmişlerdir. Çift yakıt iletiminde B₂₀ yakıt harmanını sıvı yakıt ve Bio-CNG yakıtını, 160 bar basınçta bir silindire doldurulmuş gazlı yakıt olarak kullanmışlardır. Deneysel çalışmaların sonucuna bağlı olarak DSOME-B₂₀'nin diğer yakıt harmanlarına göre daha düşük BTE ile sonuçlandığını buna bağlı olarak B₂₀'nin optimize edildiğini söylemişlerdir. Değitirilmi motorun standart motora kıyasla daha iyi performans gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Kan ve diğerleri 2020, çalışmalarında biyokütle atıklarından üretilen sentetik gaz ve biyodizelden yakıt türü olarak Strateji S (syngas-biyodizel), Strateji U (yükseltilmiş syngas-biyodizel) ve Strateji D (DME-biyodizel) adında  çift yakıt stratejisi gelitirmilerdir. Sıkıştırma ateşleme motorunda syngas-biyodizeli Strateji S, hidrojenle zenginletirilmi syngas-biyodizeli Strateji U ve DME-biyodizeli Strateji D olarak tanımlamışlardır. Bu üç farklı stratejinin hem yanma hem de emisyon özelliklerini karılatırabilmek adına KIVA 4-CHEMKIN adında bir platform oluturmulardır. Yapılan testlerin sonucunda farklı motor yüklerinde, artan takviye oranı ile tüm stratejilerin motor gücünün arttığını bulmuşlardır. Yakıt takviyesi oranındaki artışla, yüksek motor yüklerinde Strateji S ve Strateji U için NO_x emisyonu artarken, artırılmış g nedeniyle de NO_x emisyonunun azaldığını gözlemlemişlerdir. D stratejisinin ise genel olarak diğerlerine göre daha yüksek NO_x emisyonuna sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Kurum emisyonunun ise tüm stratejiler için azalma eğilimi gösterdiğini söylemişlerdir.

Thiyagarajan ve diğerleri 2020, bu çalışmada motorun emme manifolduna metanol ve n-pentanol iki farklı oranda enjekte etmişler ve bu iki yakıtla motor özelliklerini karılatırmılardır. Deneyde kullandıkları yakıt aspir biyodizeldir. Aspir yağından biyodizel elde etmek için transesterifikasyon işlemi uygulamışlardır. Yapılan deneylerde Kirloskar marka tek silindirli dizel motor kullanmışlardır. Motoru ift yakıt

modunda çalıştırmak için, motoru ilk olarak biyodizel ile çalıştırmışlardır. Motor stabilize edildikten sonra, emme manifolduna alkollerini enjekte etmişlerdir. Hem metanolü hem de n-pentanolü, B₁₀₀ ile birlikte kütle bazında %10 ve %30 oranında enjekte etmişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda, Dizel ve B₁₀₀ için motorun fren termal verimliliğini (BTE), maksimum yükte sırasıyla %34 ve %31 olarak test etmişlerdir. Alkol enjeksiyonu ile HC ve NO_x emisyonları artarken, CO ve duman emisyonlarında azalma gözlemlenmiştir. Karışımındaki alkol yüzdesinin verimliliği etkilediğini; tam yükte, %10 n-pentanol ve metanol için BTE'nin, sırasıyla %33 ve %31.7 olduğunu, oysa %30 n-pentanol ve metanol için BTE'nin sırasıyla %31.5 ve %32.4 olduğunu test etmişlerdir. Kütle olarak %30 oranında n-pentanol içerenin enerji tüketiminin, metanole göre daha yüksek olduğunu, daha yüksek alt ısı değere ve setan indeksine sahip olduğunu ve metanole kıyasla düşük gizli buharlaşma ısısı nedeniyle, ateşleme gecikmesinin daha az olup, karışımın hemen yandığını söylemişlerdir. Bu nedenle de, salınan ısının daha az olduğunu ve aynı gücü üretmek için daha fazla yakıt gerektiğini ifade etmişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmamızda, karadeniz bölgesinden aldığımız çay tohumlarından önce çay yağı daha sonra ise biyodizel elde edilmiştir. Elde edilen biyodizel, dizel yakıt ve etanol ile karıştırılmış ve motor üzerinde değişik yakıt enjeksiyon basınçlarında, egzoz emisyon, performans ve gürültü emisyon değerleri tespit edilmiştir.

3.1. Materyal

Çalışmada kullanılan çay tohumu Rize'den getirilmiştir. Çay tohumundan yağ elde etme işlemi Konya / Iğın'da bulunan Esen Yağ firması tarafından sıcak sıkım olarak gerçekleştirilmiştir. Bu çay tohumu yağından biyodizel üretimi üniversitemiz bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Dizel yakıtı ise; Opet'den satın alınmıştır. Çalışmada, tek silindirli, su soğutmalı, 15 HP (11,029 kW) gücünde Super Star diesel motor kullanılmıştır. Şekil 3.1'de motor ve dinamometre, çizelge 3.1'de ise motorunun karakteristik özellikleri gösterilmiştir. Deney motorunda, motorun üretici firması tarafından önerilen OPET 20W-50 dizel motor yağı, yağlama yağı olarak kullanılmıştır. Deneye başlamadan önce motorun periyodik bakımları ve deney tesisatındaki cihazların kalibrasyonları yapılmıştır.



Şekil 3.1. Motor ve dinamometre

Çay tohumu yağından transesterifikasyon yöntemiyle elde edilen biyodizel yakıtı motorin ile %10 ve %20 oranında etanol ilavesi ile birlikte hacimsel olarak karıştırılarak, % 70 Dizel + % 20 Biyodizel + % 10 Etanol ve % 70 Dizel + % 10 Biyodizel + % 20 Etanol formunda deney yakıtları elde edilmiştir.

Çizelge 3.1. Motor karakteristik özellikleri (Super Star, 2009)

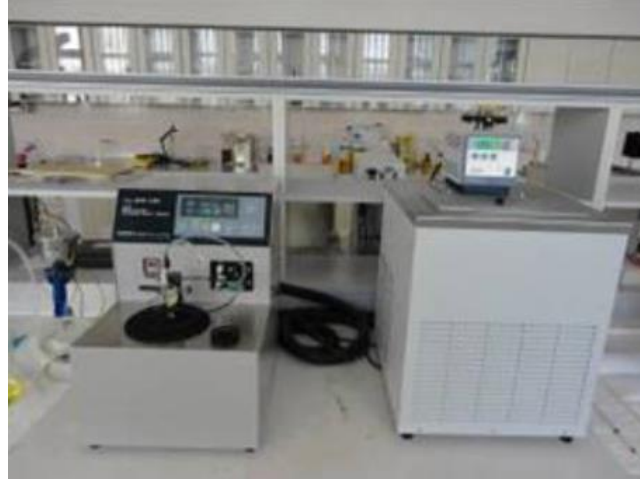
Tipi	Birim	Değer
Silindir Hacmi	dm ³	0,92
Silindir Sayısı	adet	1
Strok	cm	10
Silindir Çapı	cm	10,8
Yakıt Deposu Kapasitesi	dm ³	16
Yağ Kapasitesi (Filtre dahil)	dm ³	2,3
Sıkıştırma Oranı	--	17:1
Max Tork	Nm	60
Max Güç	kW	11.029
Soğutma Suyu Kapasitesi	dm ³	3
Püskürtme Başlangıcı	° C	28-35 ° C üst ölü noktadan önce
Püskürtme Basıncı	kg/cm ²	175
Enjektör Memesi	--	Bosch / Lucas
Enjektör Kütüğü	--	Bosch / Lucas
Yakıt Pompası	--	Super Star / Bosch Tipi

Yakıtlar; D₁₀₀, B₁₀₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve D₇₀B₁₀E₂₀ şeklinde adlandırılmıştır. Elde edilen karışımların ve motorinin yakıt özellikleri; parlama noktası, renk tayini, bakır şerit korozyon testi, alt ısı değeri, SFTN – Soğuk Filtre Tıkanma Noktası testi, bulutlanma, akma ve donma noktası testleri Selçuk Üniversitesi Ziraat Fakültesi'nde, yoğunluk, kinematik viskozite, pH miktarı özellikleri ise üniversitemiz bünyesinde gerçekleştirilmiştir.

3.1.1. Deney Cihazları

3.1.1.1. SFTN ölçümü

SFTN ölçümü, Şekil 3.2'de gösterilen SFTN tayin cihazı ile yapılmıştır. Çizelge 3.2'de de cihazın karakteristik özellikleri verilmiştir.



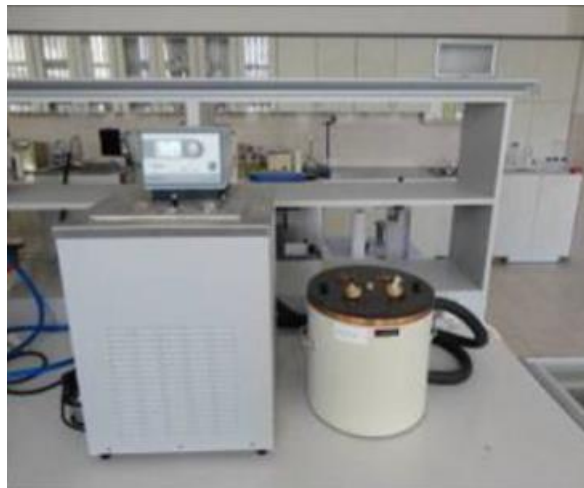
Şekil 3.2. SFTN cihazı

Çizelge 3.2. SFTN cihazı karakteristik özellikleri (Tanaka, 2021)

Ürün Özellikleri	Birimi	Değeri
Markası	-	Tanaka
Modeli	-	AFP-102
Ölçüm Aralığı	°C	0 ile -60
Hacmi	ml	45
Türü	-	Sıvı Soğutmalı Peltier Soğutuculu
Ölçüm Standardı	-	ASTM D6371
		EN116

3.1.1.2. Akma noktası ve bulutlanma ve noktası ölçümü

Yakıtların akma noktası ve bulutlanma noktası ölçümünde, şekil 3.3’de verilen cihaz kullanılmıştır. Cihazın özellikleri çizelge 3.3’de ki gibidir.



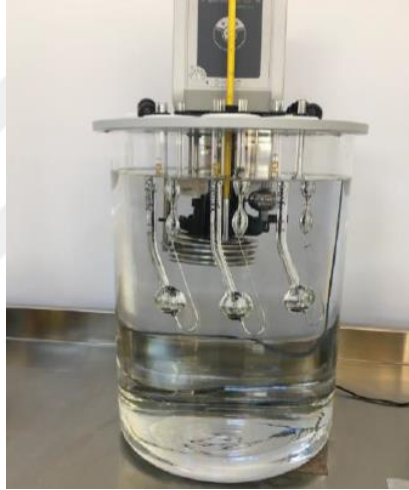
Şekil 3.3. Akma noktası ve bulutlanma noktası cihazı

Çizelge 3.3. Bulutlanma ve akma noktası test cihazı özellikleri (Koebler, 2020)

Ürün Özellikleri	Birimi	Değeri
Markası	-----	KOEHLER
Modeli	-----	K 46000
Yükseklik	mm	304,8
Ürün Çapı	mm	266,7
Ölçüm Standardı		ASTM D97
		ASTM D2500

3.1.1.3. Viskozite (Kinematik) ölçümü

Yakıtların viskozite(kinematik) lerinin ölçümü için Şekil 3.4’de gösterilen cihaz kullanılmıştır. Cihazın teknik özellikleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

**Şekil 3.4.** Viskozite cihazı**Çizelge 3.4.** Viskozite cihazı teknik özellikleri (Julabo, 2021)

Ürün Özellikleri	Birimi	Değeri
Markası	-	Julabo
Pompalama Kapasitesi	lt/dk	11-16
Çalışma Sıcaklığı	°C	20-100
Pompa Basıncı	mbar	450
Banyo Hacmi	lt	18
Hassasiyet	°C	±0.03
Ölçüm Standardı	-	ASTM D 445
		D 446
		D 2170

3.1.1.4. Yoğunluk ölçer

Yapılan deneyler esnasında yakıtların yoğunluk ölçümü için, şekil 3.5’de görülen yoğunluk ölçüm cihazı kullanılmıştır. Bu cihazın teknik özellikleri de çizelge 3.5’de verilmiştir.



Şekil 3.5. Yoğunluk ölçer

Çizelge 3.5. Yoğunluk ölçerin teknik özellikleri (Kyoto, 2021)

Ürün Özellikleri	Birimi	Değeri
Markası	-	Kem Kyoto
Modeli	-	DA-130N
Ölçüm Yöntemi	-	Rezonans frekans salınımı
Yoğunluk Ölçüm Aralığı	g/cm ³	0-2
Hassasiyet	g/cm ³	± 0,001
Çözünürlük	g/cm ³	0.0001
Sıcaklık Aralığı	°C	0-40
Ölçüm Standardı	-	EN 61326-1

3.1.1.5. Renk ölçümü

Yakıtların renk tayininin yapılmasında şekil 3.6’da görülen dijital otomatik renk ölçüm cihazı kullanılmıştır. Çizelge 3.6’de cihazın karakteristik özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.6. Renk ölçüm aygıtı

Çizelge 3.6. Renk ölçüm cihazı karakteristik özellikleri (Lovibond, 2021)

Ürün Özellikleri	Birimi	Değeri
Markası	-	Lovibond
Modeli	-	PFXi-195
Spektral Aralık	nm	420-710
Renk Skalaları	-	Saybolt
		Pt-Co/Hazen/APHA
		ASTM

3.1.1.6. Egzoz emisyon ölçümü

Emisyon ölçümü BİLSA/MOD 2210 WINXP-K marka cihaz ile yapılmıştır. Şekil 3.7’de cihaz gösterilmiştir.

**Şekil 3.7.** Egzoz ölçüm cihazı (Bilsa, 2021)

3.1.1.7. Bakır şerit korozyon ölçümü

Deneylerde kullanılan yakıtların korozyon etki tayin cihazı, şekil 3.8’de görülmektedir. Çizelge 3.7’de cihazın karakteristik özellikleri verilmiştir.

**Şekil 3.8.** Bakır korozyon aygıtı

Çizelge 3.7. Bakır korozyon aygıtı teknik özellikleri (Koehler, 2021)

Ürün Özellikleri	Birimi	Değeri
Markası	-	Koehler
Modeli	-	K 25330
Max Sıcaklık	°C	190
Sıcaklık Kontrol Kararlılığı	°C	± 1
Isıtıcı Aralığı	W	0-750
Ölçüm Standardı	-	ASTM D130
		ASTM D6074
		ASTM D6158
		ISO 2160
		DIN 51759

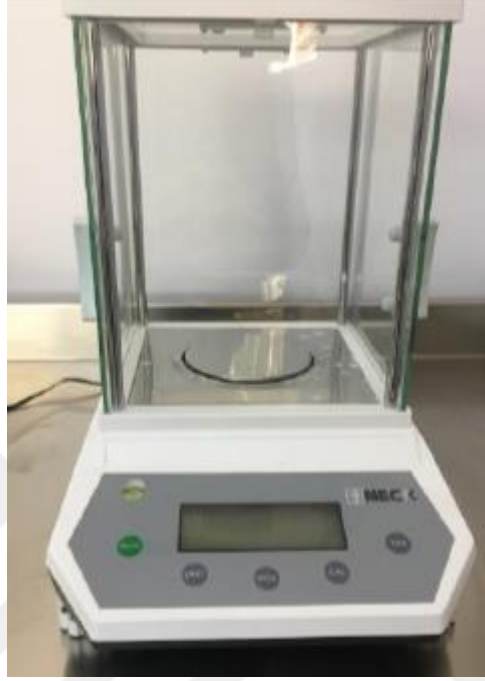
3.1.1.8. Yakıt tüketimi ölçümü

Saatlik ve özgül yakıt tüketimlerinin ölçülmesinde Şekil 3.9'da görülen cihaz kullanılmıştır. Kütleli yakıt cihazının bağlantısı, yakıt deposu ile pompa arasında gerçekleştirilmiştir.

**Şekil 3.9.** Yakıt tüketimi ölçüm aygıtı

3.1.1.9. Terazi

Biyodizel üretiminde yakıt numuneleri, katalizör maddeler ve diğer hassas ölçümler için, Şekil 3.10'da görülen hassas terazi kullanılmıştır. Çizelge 3.8'de ise terazinin karakteristik özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.10. Hassas terazi

Çizelge 3.8. Hassas terazinin özellikleri (Neck, 2021)

Ürün Özellikleri	Birimi	Değeri
Marka	-	NECK
Model	-	FLY 500
Kapasite	gr	500
Hassasiyet	gr	0.001
Kefe Ebadi	cm	Ø 9

3.1.1.10. Parlama noktası ölçümü

Parlama noktası tayininde, Şekil 3.11'de görülen cihaz kullanılmıştır. Çizelge 3.9'da cihazın özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.11. Parlama noktası tayin cihazı

Çizelge 3.9. Parlama noktası tayin cihazının özellikleri (Köhler, 2022)

Cihaz Özellikleri	
Marka	Koehler
Model	K 16270
Ölçüm Standardı	ISO 2719
	ASTM D 93
	DIN 51758

3.1.1.11. Termometreler

Şekil 3.12’de görülen dijital termometre sıcaklık ölçümleri için kullanılmıştır. Termometrenin özellikleri Çizelge 3.10’da ki gibidir.



Şekil 3.12. Termometre

Çizelge 3.10. Termometrenin özellikleri

Ürün Özellikleri	Birimi	Değeri
Markası	-	Thermoanger
Ölçüm Aralığı	°C	-50 ~ +300
Hassasiyet	°C	±1
Türü	-	Daldırma Saplama Tipli

3.1.1.12. Adyabatik kalorimetre cihazı

Çay tohumu yağı ve yakıtların alt ısıl değerini tespit etmek için, Şekil 3.13’de görülen cihaz kullanılmıştır. Cihazın genel özellikleri Çizelge 3.11’de verilmiştir.

**Şekil 3.13.** Adyabatik kalorimetre cihazı**Çizelge 3.11.** Adyabatik kalorimetre cihazının özellikleri (IKA, 2017)

Ürün Özellikleri	Birimi	Değeri
Marka	-	IKA
Model	-	C 200 h auto
Max Ölçüm Aralığı	J	40000
Max Çalışma Sıcaklığı	°C	25
Ölçüm Standartları	-	DIN 51900
		ISO 1928
		EN 50082
		EN 60555
		EN 55014

3.1.1.13. Kronometre

Kinematik viskozite için gerekli olan sürenin hesaplanabilmesi için kullanılan kronometre Şekil 3.14’de verilmiştir. Kronometreye ait özellikler çizelge 3.12’de görülmektedir.



Şekil 3.14. Kronometre

Çizelge 3.12. Kronometrenin özellikleri

Cihaz Özellikleri	
Marka	OEM
Model	ZSD 808
Hassasiyet (sn)	0.01

3.1.1.14. pH metre

Çay tohumu yağı ve yakıtların pH değerlerinin ölçülmesinde Şekil 3.15’de ki cihaz kullanılmıştır. Cihazın teknik özellikleri Çizelge 3.13’de verilmiştir.



Şekil 3.15. pH metre

Çizelge 3.13. pH metrenin özellikleri (Bante, 2021)

Ürün Özellikleri	Birimi	Değeri
Marka	-	BANTE
Model	-	PHS-3BW
pH Aralığı pH	pH	0.00 - 14.00
pH Doğruluğu	pH	±0.01
mV Aralığı	mV	0 - ±1999
mV Doğruluğu	mV	±1
Sıcaklık Aralığı	°C	0 - 100.0
Sıcaklık Doğruluğu	°C	±1

3.1.1.15. Test motoru dinamometresi

Şekil 3.16'da test motoru dinamometresi, Çizelge 3.14'de ise dinamometre karakteristik özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.14. Test motoru dinamometresi teknik özellikleri (Şahin, 2019)

Tip	Birim	Değer
Ağırlık (Gövde)	kgf	45
Ağırlık (Toplam)	kgf	110
Çap (Gövde)	cm	35
Kol Uzunluğu (Tork)	cm	35
Çalışma Hızı	min ⁻¹	0-7500
Frenleme Torku Aralığı	Nm	0-1700

**Şekil 3.16.** Dinamometre

3.1.1.18. Yük Hücresi(S Tipi)

Şekil 3.19’da deneylerde kullanılan yük hücresi(S Tipi) görülmektedir.



Şekil 3.19. Yük Hücresi(S Tipi)

3.1.1.19. Enjektör basınc değişim cihazı

Yapılan deneylerde kullanılan yakıt türlerinin, motorun farklı enjektör basınc (175 kg/cm² & 200 kg/cm²) alıŐma durumlarındaki performans, egzoz ve gürültü emisyonlarına etkileri incelenmiştir. Şekil 3.20’de basınc değişim cihazı, izelge 3.15’de ise cihazın karakteristik özellikleri gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Enjektör basınc limi

Çizelge 3.15. Basınç ölçüm cihazı karakteristik özellikleri (Deteq, 2021)

Ürün Özellikleri	Birimi	Değeri
Marka	-	Deteq
Model	-	TP 03
Aralık(Basınç)	bar	0-1500
Hata Oranı	bar	0.1

3.1.1.20. Gürültü ölçümü

Deneylerde Şekil 3.21’de görülen gürültü ölçüm cihazı kullanılmıştır. Çizelge 3.16’da cihazın karakteristikleri gösterilmiştir.

**Şekil 3.21.** Gürültü ölçümü**Çizelge 3.16.** Gürültü ölçüm cihazının karakteristik (Smart Sensör, 2021)

Ürün Özellikleri	Birimi	Değeri
Marka	-	Smart Sensor
Model	-	804 AS
Aralık(Frekans)	Hz & KHz	31.5 & 8,5
Aralık(Ölçüm)	dB(A)	30 & 130
Cihazın Doğruluğu	dB(A)	± 1.5
Cihazın Çözünürlüğü	dB(A)	0.1
Hane	Digit	5

3.1.2. Kimyasallar

3.1.2.1. Katalizör

Çay tohumu yağı biyodizel üretiminde katalizör olarak sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmıştır. Şekil 3.22’de görülen NaOH’in saflık değeri % 97’den fazladır.



Şekil 3.22. Katalizör

3.1.2.2. Alkol (Metanol)

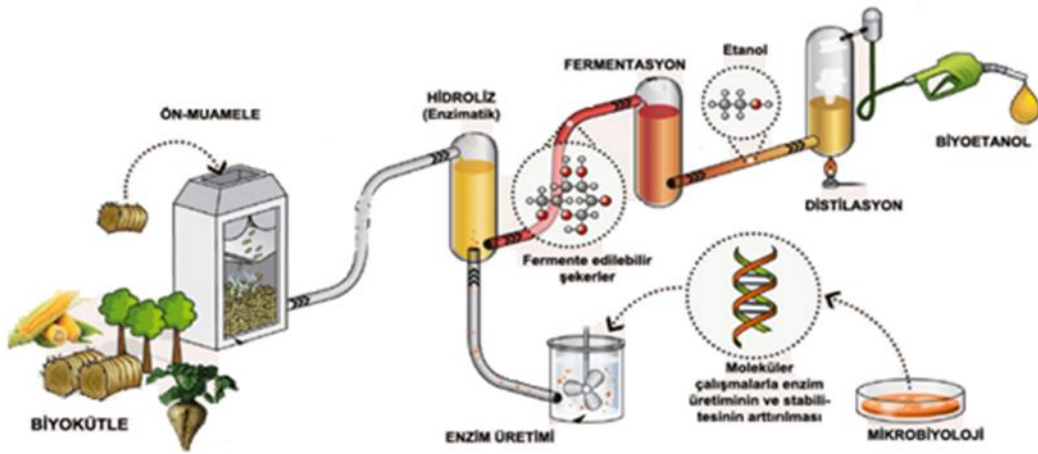
Metanol'ün kimyasal formüllü CH_3OH şeklindedir. Metanolün $20\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki yoğunluğu yaklaşık olarak 0,791- 0,793 kg/L arasındadır(şekil 3.23).



Şekil 3.23. Alkol(Metanol)

3.1.3. Etanol

Etanol üretimi ülkemizde şeker pancarı melasından yapılmaktadır. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ kimyasal formülüne sahip etanol % 99,8 saflıktadır. Etanol üretimindeki akış şemasını şekil 3.24'de görmekteyiz.



Şekil 3.24. Etanol üretim basamakları (Adıgüzel, 2013)

3.1.4. Üretim reaktörü

Biyodizel üretimi amacıyla üniversitemizde bulunan reaktör kullanılmıştır. Bu üretim reaktörünün kapasitesi saatte 30 litre'dir. Reaktör, 1 mm kalınlığında inox çelik malzemeden yapılmış, tank üst kısmı 250 mm, tank boyu 640 mm, reaktör boyu 840 mm olan, 120 °C kadar ısıtma kapasiteli, elektronik ısı termostatlı ve 220 V AC şebeke gerilimi ile çalışan bir cihazdır (şekil 3.25).



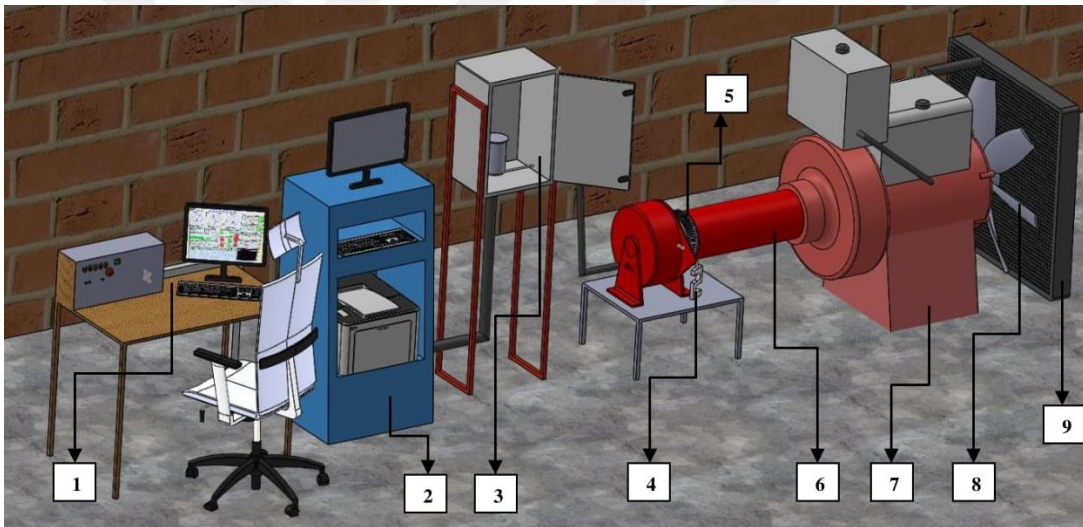
Şekil 3.25. Reaktör

3.2. Yöntem

Yapılan çalışma altı aşamada gerçekleştirilmiştir.

- Çay tohumu yağ eldesi ve yağ özelliklerinin belirlenmesi,
- Çay yağından biyodizel üretimi,
- Biyodizel'in, motorin ve etanolla D₇₀B₂₀E₁₀ ve D₇₀B₁₀E₂₀ şeklinde deney yakıt karışımlarının hacimsel olarak hazırlanması,
- Deney yakıtlarının özelliklerinin tespiti,
- Test ve deney düzeneği hazırlığı,
- Deney yakıtlarının 175 kg/cm² & 200 kg/cm² yakıt basıncında egzoz emisyon, performans ve gürültü deneylerinin gerçekleştirilmesi.

Şematik görünüm şekil 3.26'da görülmektedir.



(1:Dinamometre kontrol ünitesi, 2:Egzoz emisyon ölçüm cihazı, 3:Yakıt tüketimi ölçüm cihazı, 4:S tipi load-cell, 5:Manyetik pick-up, 6:Hidrolik dinamometre, 7:Deney motoru, 8:Pervane, 9:Radyatör)

Şekil 3.26. Deney düzeneği şematik görünümü

3.2.1. Çay tohumu yağının temini

Çay tohumu, ülkemizde çay yetiştiriciliği açısından ön planda olan Rize'den sadece tohum olarak temin edilmiştir. Gelen tohumlar belli bir süre kurutulmaya bırakılmıştır. Kuruyan tohumlar Iğın'da sıcak sıkım yapılarak, elde edilen yağ biyodizel üretiminde kullanılmıştır.

3.2.2. Çay tohumu yağından biyodizel üretilmesi

Biyodizelin üretilmesi beş aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar;

- transesterifikasyon yöntemi ile alkol ve katalizörün karıştırılması,
- reaksiyon, ayırma ve alkolün uzaklaştırılması,
- gliserin nötralizasyonu,
- metil ester yıkama işlemidir (Kaya, 2007).

Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda çay tohumu yağından biyodizel üretmek için yapılan işlemler aşağıda verilmiştir.

- Çay tohumu yağı reaktöre eklenip; reaktörde yağ uygun reaksiyon sıcaklığı (en iyi ester verimi) olan 55 °C'ye kadar ısıtılmıştır. Reaksiyon boyunca sıcaklık termostat sayesinde sabit tutulmuştur. Çay tohumu yağı 1 saat boyunca karıştırılarak sıcaklığının homojen olması sağlanmıştır.
- Çay tohumu yağının hacimsel olarak, %20'sine karşılık gelen metanol (CH₃OH) ve 1 litreye 3,5 g/litre oranında sodyum hidroksit (NaOH) katalizör madde olarak kullanılmıştır.
- Metanolün %100'ü ve NaOH'ın %100'ü karıştırılarak metoksit oluşturulmuş ve reaktör içerisindeki yağa gönderilmiş ve bir saat boyunca karıştırılmış ve bir saatin sonunda cihaz kapatılarak biyodizel reaktör içerisinde 8 saat beklemeye alınmıştır.
- Bekleme süresi sonunda gliserol ayrıştırılarak tekrardan 70 °C'de 30 dakika boyunca karıştırılarak alkol buharlaştırılmıştır.
- Yıkama fazında 1 litre yağ için 200 ml saf su 50 °C'ye ısıtılarak biyodizelin üzerine duşlama (fiskiyeleme) yöntemiyle gönderilmiş ve sekiz saat beklemeye alınmıştır.
- Bekleme süresi bitiminde dibe çöken su alınmış ve kalan numune 110 °C'de 30 dakika boyunca karıştırılarak kalan su buharlaştırılmıştır.

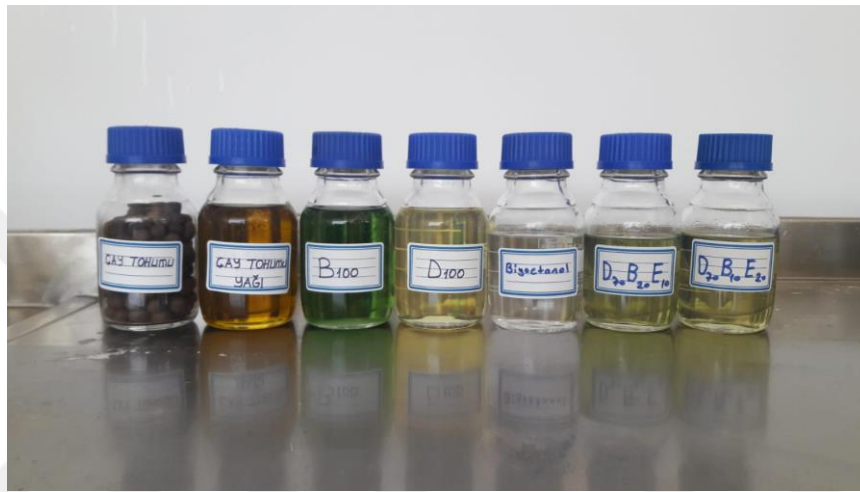
3.2.3. Yakıt numunelerin hazırlanması

Örnekler hacimsel olarak hazırlanmıştır. Laboratuvar tipi karıştırıcı ile karışım homojen hale getirilmeye çalışılmıştır. Motorin, biyodizel ve etanolden oluşan karışımlarla farklı yakıtlar oluşturulmuştur. Hazırlanan yakıtlar Çizelge 3.17'de ifade edilmiştir.

Çizelge 3.17. Deney için hazırlanan yakıtlar

Yakıt Adı	Hacimsel Karışım Oranı
D ₁₀₀	% 100 motorin
D ₇₀ B ₂₀ E ₁₀	% 70 motorin + % 20 biyodizel + % 10 etanol
D ₇₀ B ₁₀ E ₂₀	% 70 motorin + % 10 biyodizel + % 20 etanol
B ₁₀₀	% 100 biyodizel

Şekil 3.27’de test yakıtları çizelge 3.18’de ise karışım oranları verilmiştir.



Şekil 3.27. Numuneler

Çizelge 3.18. Yakıt oranları

Adı	Motorin(%)	Biyodizel(%)	Etanol(%)
D ₁₀₀	100	-	-
D ₇₀ B ₂₀ E ₁₀	70	20	10
D ₇₀ B ₁₀ E ₂₀	70	10	20
B ₁₀₀	-	100	-

3.2.4. Yakıt özellik tespiti

Biyodizel’in TSEN 14214 standartlarında, motorinin ise TSEN 590 standartlarında uygunluğu ile motor deneylerinin sağlıklı olması mümkündür. Yapılan testlerle yakıt kaliteleri belirlenmiş ve sonuçlar Çizelge 3.19’da verilmiştir. Motor performans deneyleri ise TS1231 standardına göre, D₁₀₀, B₁₀₀, D₇₀B₂₀E₁₀, D₇₀B₁₀E₂₀ formunda yakıtlar ile yapılmıştır.

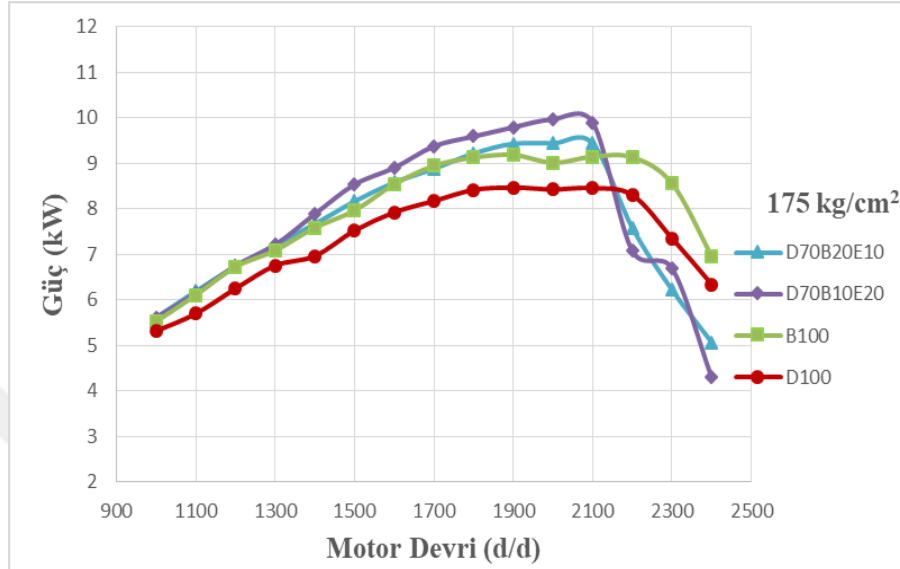
Çizelge 3.19. Yakıt analiz sonuçları

Özellik	Birimi	Çay Tohumu Yağı	B ₁₀₀	D ₁₀₀	Etanol	D ₇₀ B ₂₀ E ₁₀	D ₇₀ B ₁₀ E ₂₀	Standart	
								Motorin	Biyodizel
Yoğunluk	g/cm ³	0.914	0.895	0.825	0.791	0.829	0.821	0.82-0.84	0.86-0.90
Kinematik Viskozite (40 °C)	mm ² /s	36.71	8.814	2.918	1.26	3.009	2.584	2-4.5	3.5-5
Setan Sayısı	-	64	67.5	53.1	14	52,9	51,8	51	-----
pH	-	7.28	6.95	5.35	5.11	5.51	5.32	-----	-----
Bulutlanma Noktası	°C	-10.9	-2,5	-4,5	<-25	-7.9	-7.2	-----	-----
Akma Noktası	°C	-17.5	-4.7	-16	<-25	-18	-17	-----	-----
Donma Noktası	°C	-22.2	-12.8	-22	<-25	<-25	<-25	-----	-----
Alt Isıl Değeri	cal/gr	-----	9596	10415	7068	10231	9930	-----	-----
Renk Tayini	ASTM	0.9	0.8	0.7	<0.5	0.9	0.8	-----	-----
Parlama Noktası	°C	186	125	62	-----	-----	-----	55	120
SFTN	°C	-----	-3.9	-13	<-50	-26	-24	-20	-15
Bakır Korozyon	-	1a	1a	1a	1a	1a	1a	No:1	No:1

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

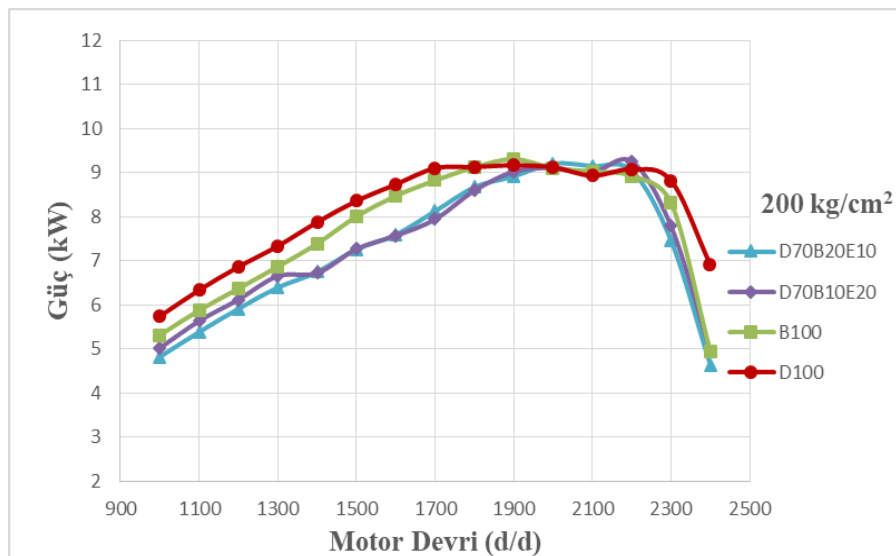
4.1. Deney Motoru Performans Testleri

D₁₀₀, B₁₀₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve D₇₀B₁₀E₂₀ şeklindeki deney yakıtlarının 175 kg/cm² & 200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı kullanımındaki güç değişimleri şekil 4.1 ve 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1. 175 kg/cm² enjektör basıncı güç değişimleri

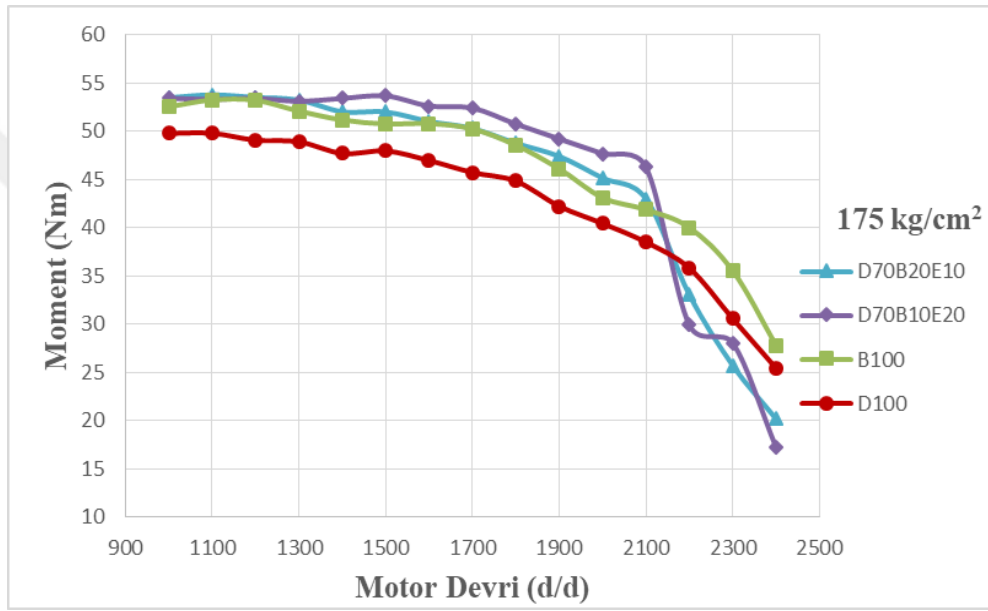
175 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için maksimum motor gücü 1900 d/d’de D₇₀B₁₀E₂₀ yakıtında 9.795 kW olarak ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla D₇₀B₁₀E₂₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve B₁₀₀ şeklindeki yakıtlarda %15.62, %11.34 ve %8.48 daha fazla güç çıkışı görülmektedir.



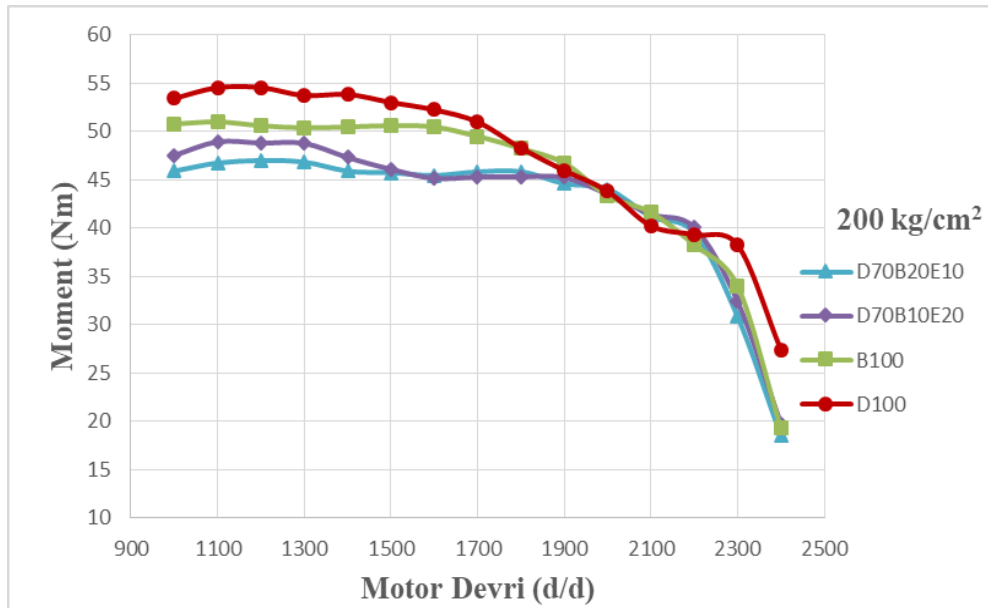
Şekil 4.2. 200 kg/cm² enjektör basıncı güç değişimleri

200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için maksimum motor gücü 1900 d/d'de B₁₀₀ yakıtında 9.311 kW olarak ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla B₁₀₀ yakıtında %1.52 artış olmasına rağmen, D₇₀B₁₀E₂₀ ve D₇₀B₂₀E₁₀ şeklindeki yakıtlarda ise %1.59 ve %2.73 daha az güç çıkışı meydana gelmiştir.

D₁₀₀, B₁₀₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve D₇₀B₁₀E₂₀ şeklindeki deney yakıtlarının 175 kg/cm² & 200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı kullanımındaki moment (tork) değişimleri şekil 4.3 ve 4.4'de verilmiştir.



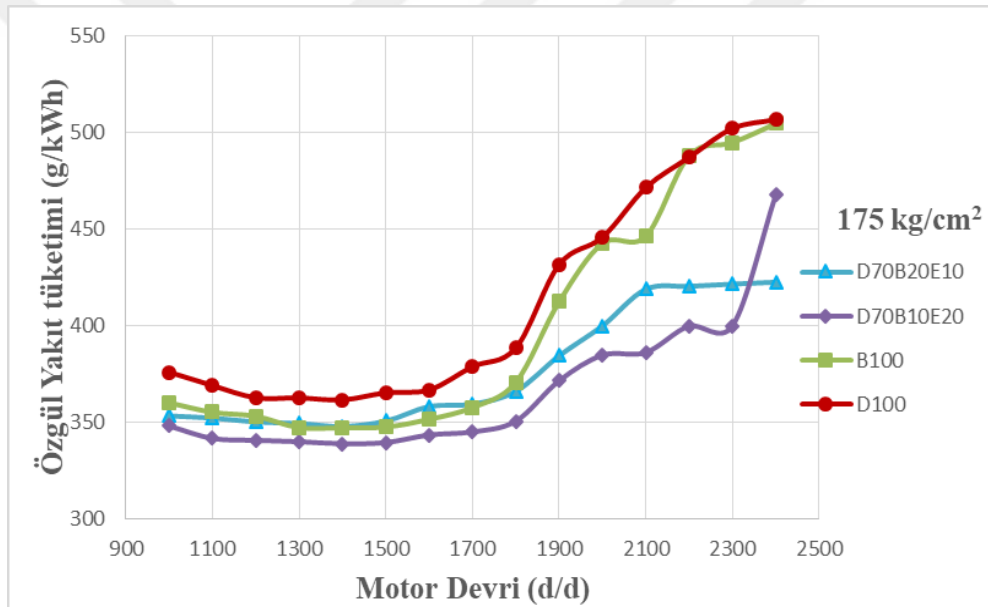
Şekil 4.3. 175 kg/cm² enjektör basıncı moment(tork) değişimleri



Şekil 4.4. 200 kg/cm² enjektör basıncı moment(tork) değişimleri

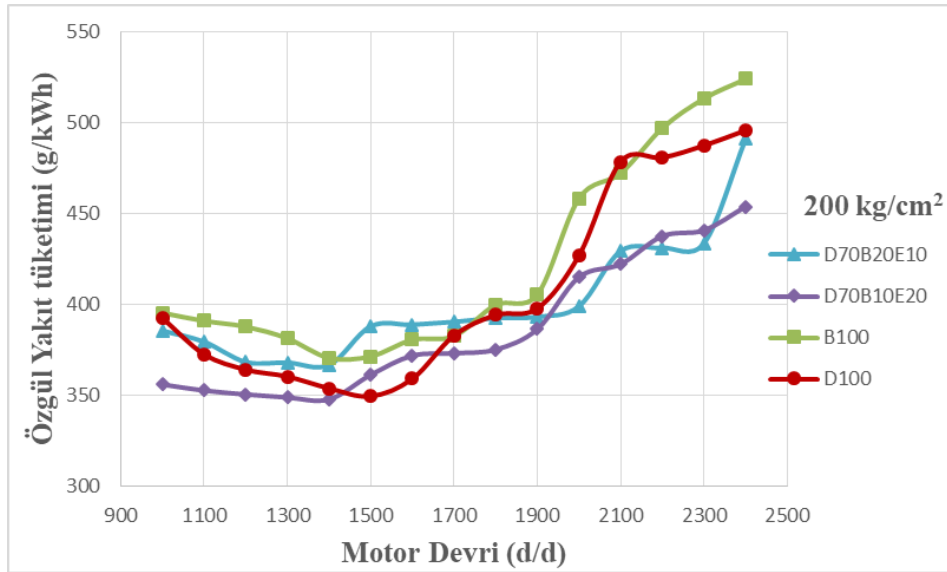
175 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için maksimum motor momenti(tork) 1100 d/d'de D₇₀B₂₀E₁₀ yakıtında 53.809 Nm olarak ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla D₇₀B₂₀E₁₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve B₁₀₀ şeklindeki yakıtlarda %8.02, %7.04 ve %6.94 daha fazla tork çıkışı görülmektedir. 200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için maksimum motor momenti(tork) 1100 d/d'de D₁₀₀ yakıtında 54.570 Nm olarak ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla B₁₀₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve D₇₀B₂₀E₁₀ şeklindeki yakıtlarda %6.49, %10.28 ve %14.30 daha az tork çıkışı görülmektedir.

D₁₀₀, B₁₀₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve D₇₀B₁₀E₂₀ şeklindeki deney yakıtlarının 175 kg/cm² & 200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı kullanımındaki özgül yakıt tüketim değişimleri şekil 4.5 ve 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.5. 175 kg/cm² enjektör basıncı motor özgül yakıt tüketim değişimleri

175 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için, minimum özgül yakıt tüketimi 1400 d/d'de D₇₀B₁₀E₂₀ yakıtında 338.729 g/kWh olarak ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla D₇₀B₁₀E₂₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve B₁₀₀ şeklindeki yakıtlarda %6.27, %3.80 ve %3.98 daha az yakıt tüketimi görülmektedir. 200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için, minimum özgül yakıt tüketimi 1400 d/d'de D₇₀B₁₀E₂₀ yakıtında 347.887 g/kWh olarak ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla D₇₀B₁₀E₂₀, yakıtında %1.71 daha az, D₇₀B₂₀E₁₀ ve B₁₀₀ şeklindeki yakıtlarda ise %3.61 ve %4.72 daha fazla yakıt tüketimi görülmektedir.

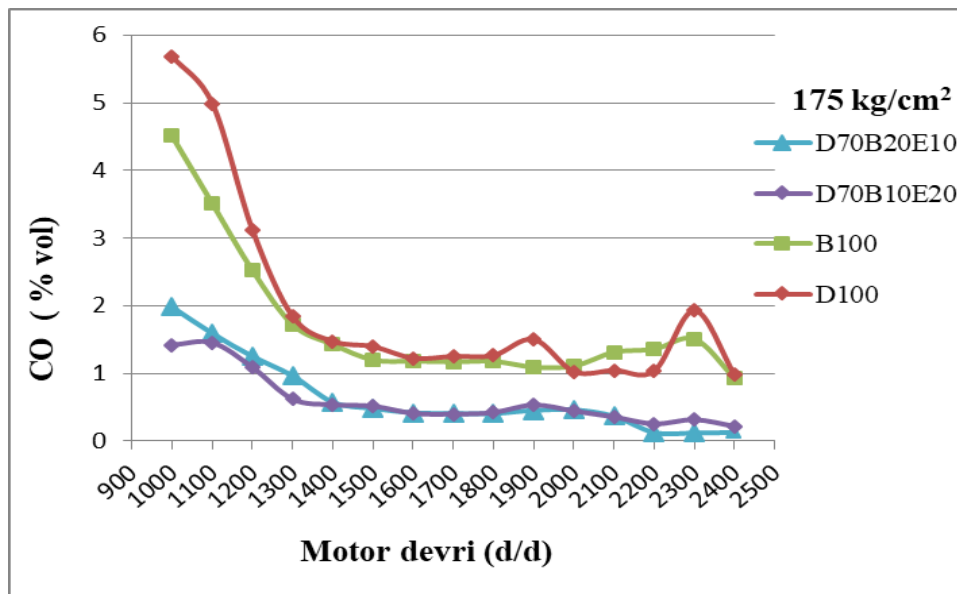


Şekil 4.6. 200 kg/cm² enjektör basıncı motor özgül yakıt tüketim değişimleri

Deneylerden elde edilen değerlerden; motor efektif gücü, motor momenti(tork) ve motor özgül yakıt tüketim sonuçları incelendiğinde, Şahin (2019) ve Çalışkan (2021)'in yaptığı çalışmalar ile bütünlük göstermektedir.

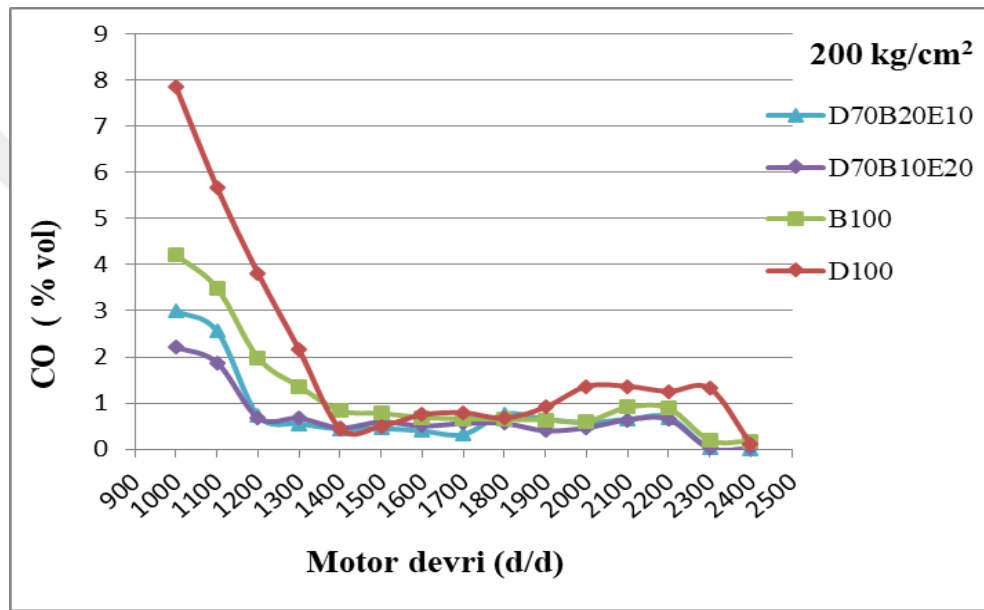
4.2. Deney Motoru Egzoz Emisyon Testleri

D₁₀₀, B₁₀₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve D₇₀B₁₀E₂₀ şeklindeki deney yakıtlarının 175 kg/cm² & 200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı kullanımındaki karbon monoksit (CO) değişimleri şekil 4.7 ve 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.7. 175 kg/cm² enjektör basıncı karbon monoksit değişimleri

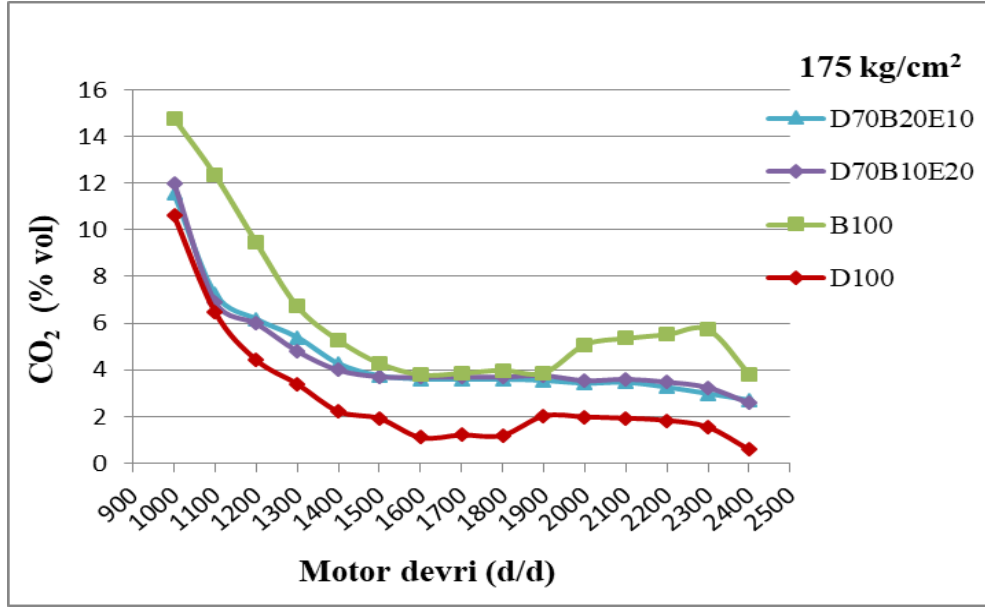
175 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için karbon monoksit emisyonu maksimum motor gücü 1900 d/d'de minimum olarak D₇₀B₂₀E₁₀ yakıtında % 0,454 ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla D₇₀B₂₀E₁₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve B₁₀₀ şeklindeki yakıtlarda sırasıyla, % 69.81, % 64.49 ve % 27.32 azalış tespit edilmiştir. 1100 d/d'de ki maksimum motor momenti(tork)'nde ise minimum olarak D₇₀B₁₀E₂₀ yakıtında % 1,454 ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla D₇₀B₁₀E₂₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve B₁₀₀ şeklindeki yakıtlarda sırasıyla, % 70.86, % 68.14 ve % 29.69 azalış tespit edilmiştir.



Şekil 4.8. 200 kg/cm² enjektör basıncı karbon monoksit değişimleri

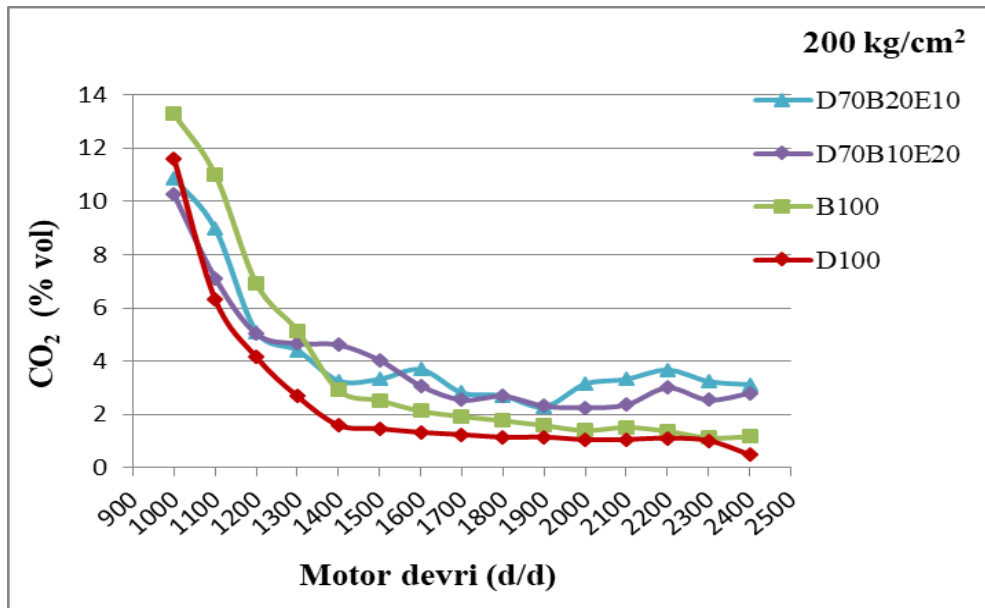
200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için karbon monoksit emisyonu maksimum motor gücü 1900 d/d'de minimum olarak D₇₀B₁₀E₂₀ yakıtında % 0,401 ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla D₇₀B₁₀E₂₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve B₁₀₀ şeklindeki yakıtlarda sırasıyla, % 56.17, % 28.52 ve % 30.38 azalış tespit edilmiştir. 1100 d/d'de ki maksimum motor momenti(tork)'nde ise minimum olarak D₇₀B₁₀E₂₀ yakıtında % 1,875 ölçülmüştür. D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırıldığında sırasıyla D₇₀B₁₀E₂₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve B₁₀₀ şeklindeki yakıtlarda sırasıyla, % 66.91, % 54.86 ve % 38.43 azalış tespit edilmiştir.

D₁₀₀, B₁₀₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve D₇₀B₁₀E₂₀ şeklindeki deney yakıtlarının 175 kg/cm² & 200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı kullanımındaki karbondioksit (CO₂) değişimleri şekil 4.9 ve 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.9. 175 kg/cm² enjektör basıncı karbon dioksit değişimleri

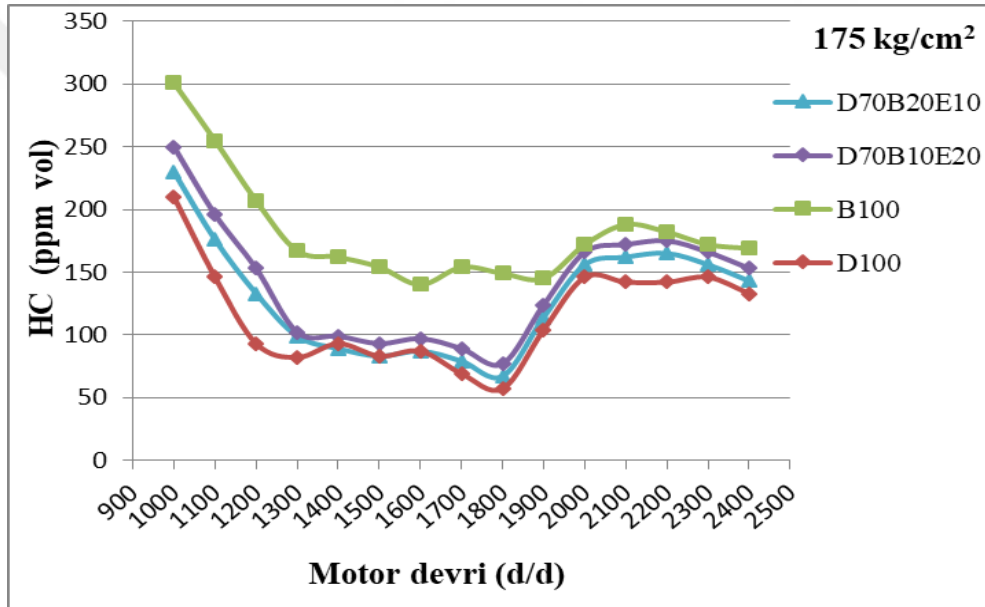
175 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için karbondioksit emisyonu maksimum motor gücü 1900 d/d'de minimum olarak D₁₀₀ yakıtında % 3,756 ölçülmüştür. D₇₀B₂₀E₁₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve B₁₀₀ şeklindeki yakıtlarda karşılaştırıldığında sırasıyla, % 75.14, % 85.20 ve % 90.53 artış tespit edilmiştir. 1100 d/d'de ki maksimum motor momenti(tork)'nde ise minimum olarak D₁₀₀ yakıtında % 6,468 ölçülmüştür. D₇₀B₁₀E₂₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve B₁₀₀ şeklindeki yakıtlarda karşılaştırıldığında sırasıyla, % 6.67, % 12.24 ve % 90.72 artış tespit edilmiştir.



Şekil 4.10. 200 kg/cm² enjektör basıncı karbon dioksit değişimleri

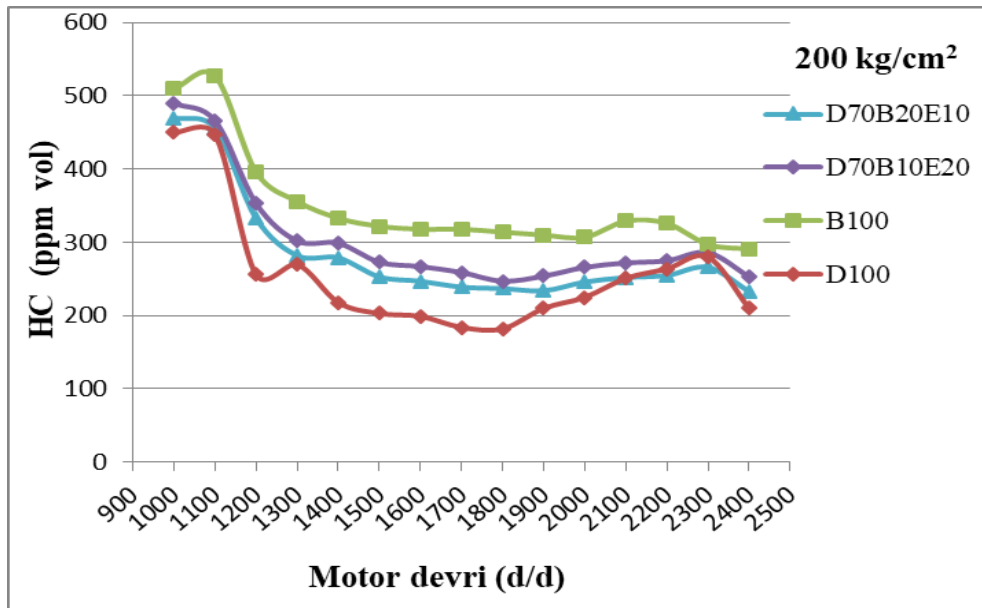
200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için karbondioksit emisyonu maksimum motor gücü 1900 d/d'de minimum olarak D₁₀₀ yakıtında % 1,148 ölçülmüştür. B₁₀₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve D₇₀B₁₀E₂₀ şeklindeki yakıtlarda karşılaştırıldığında sırasıyla, % 37.97, % 98.95 ve % 99.39 artış tespit edilmiştir. 1100 d/d'de ki maksimum motor momenti(tork)'nde ise minimum olarak D₁₀₀ yakıtında % 6,322 ölçülmüştür. D₇₀B₁₀E₂₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve B₁₀₀ şeklindeki yakıtlarda karşılaştırıldığında sırasıyla, % 12.68, % 42.04 ve % 74.24 artış tespit edilmiştir.

D₁₀₀, B₁₀₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve D₇₀B₁₀E₂₀ şeklindeki deney yakıtlarının 175 kg/cm² & 200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı kullanımındaki hidrokarbon (HC) değişimleri şekil 4.11 ve 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.11. 175 kg/cm² enjektör basıncı hidrokarbon değişimleri

175 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için hidrokarbon emisyonu maksimum motor gücü 1900 d/d'de minimum olarak D₁₀₀ yakıtında 104 ppm ölçülmüştür. D₇₀B₂₀E₁₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve B₁₀₀ şeklindeki yakıtlarda karşılaştırıldığında sırasıyla, % 9.61, % 19.23 ve % 39.42 artış tespit edilmiştir. 1100 d/d'de ki maksimum motor momenti(tork)'nde ise minimum olarak D₁₀₀ yakıtında 146 ppm ölçülmüştür. D₇₀B₂₀E₁₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve B₁₀₀ şeklindeki yakıtlarda karşılaştırıldığında sırasıyla, % 52.54, % 34.24 ve % 74.65 artış tespit edilmiştir.



Şekil 4.12. 200 kg/cm² enjektör basıncı hidrokarbon değişimleri

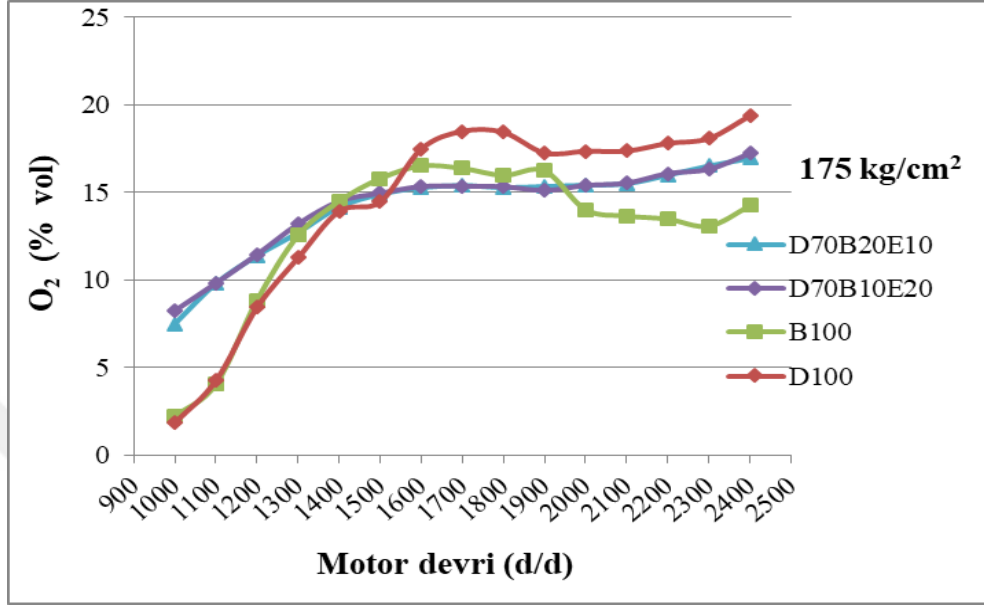
200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için hidrokarbon emisyonu maksimum motor gücü 1900 d/d'de minimum olarak D₁₀₀ yakıtında 210 ppm ölçülmüştür. D₇₀B₂₀E₁₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve B₁₀₀ şeklindeki yakıtlarda karşılaştırıldığında sırasıyla, % 11.42, % 20.95 ve % 47.61 artış tespit edilmiştir. 1100 d/d'de ki maksimum motor momenti(tork)'nde ise minimum olarak D₁₀₀ yakıtında 447 ppm ölçülmüştür. D₇₀B₂₀E₁₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve B₁₀₀ şeklindeki yakıtlarda karşılaştırıldığında sırasıyla, % 2.01, % 4.25 ve % 17.89 artış tespit edilmiştir.

D₁₀₀, B₁₀₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve D₇₀B₁₀E₂₀ şeklindeki deney yakıtlarının 175 kg/cm² & 200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı kullanımındaki oksijen (O₂) değişimleri şekil 4.13 ve 4.14'de verilmiştir.

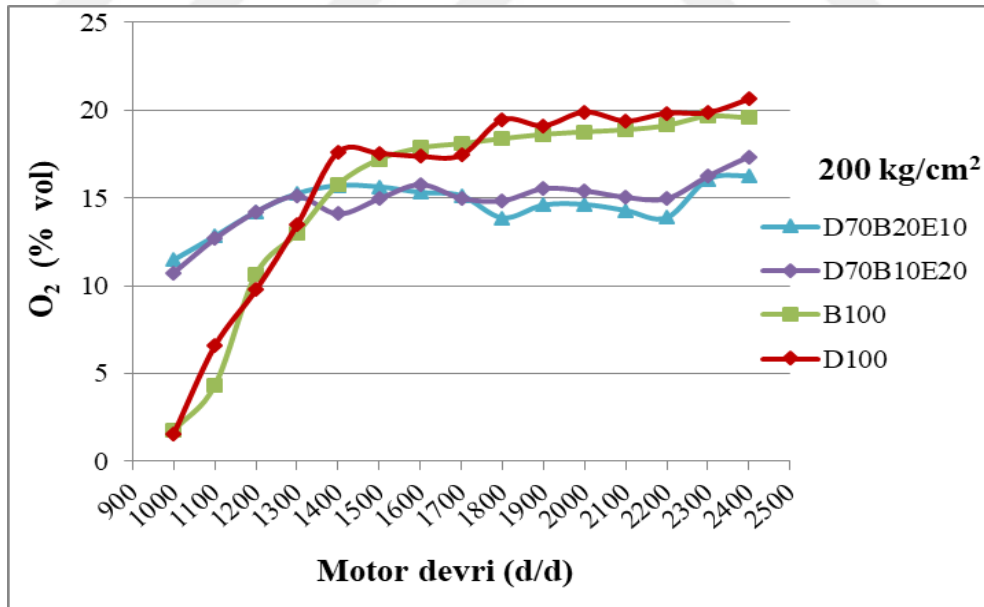
175 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için oksijen değerleri maksimum motor gücü 1900 d/d'de D₁₀₀ yakıtında % 17,26 olarak ölçülmüştür. D₇₀B₁₀E₂₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve B₁₀₀ şeklindeki yakıtlarda karşılaştırıldığında sırasıyla, % 12.39, % 11.06 ve % 5.90 azalış tespit edilmiştir. 1100 d/d'de ki maksimum motor momenti(tork)'nde ise D₁₀₀ yakıtında % 4.25 olarak ölçülmüştür. B₁₀₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve D₇₀B₁₀E₂₀ şeklindeki yakıtlarda karşılaştırıldığında sırasıyla, % 4.70 azalış, % 130.82 ve % 131.05 artış tespit edilmiştir.

200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için oksijen değerleri maksimum motor gücü 1900 d/d'de D₁₀₀ yakıtında % 19,11 olarak ölçülmüştür. D₇₀B₂₀E₁₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve B₁₀₀ şeklindeki yakıtlarda karşılaştırıldığında sırasıyla, % 23.60, % 18.73 ve % 2.56 azalış tespit edilmiştir. 1100 d/d'de ki maksimum motor

momenti(tork)'nde ise D₁₀₀ yakıtında % 6.58 olarak ölçülmüştür. B₁₀₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve D₇₀B₂₀E₁₀ şeklindeki yakıtlarda karşılaştırıldığında sırasıyla, % 34.04 azalış, % 92.55 ve % 94.83 artış tespit edilmiştir.

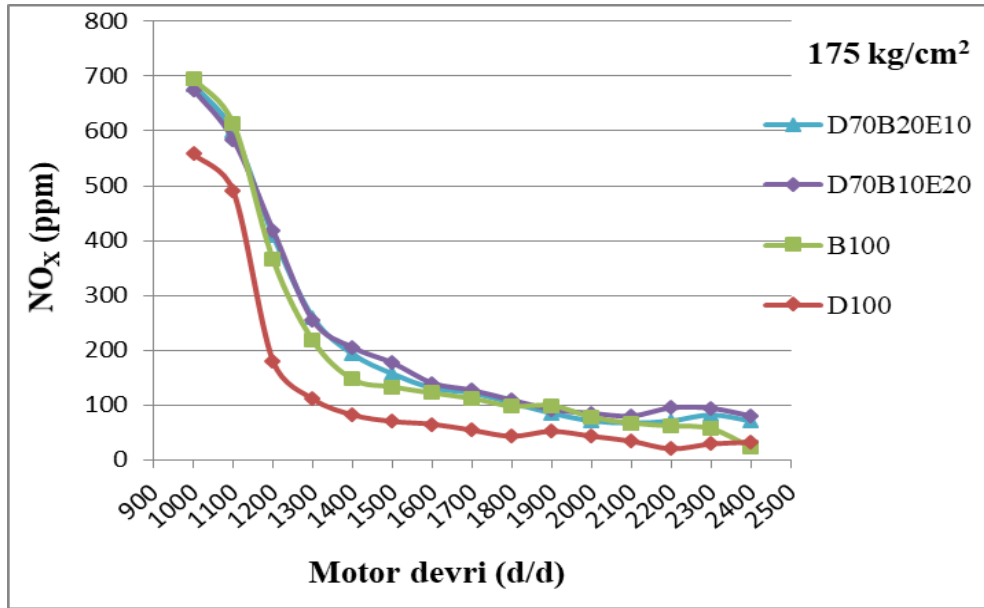


Şekil 4.13. 175 kg/cm² enjektör basıncı oksijen değişimleri



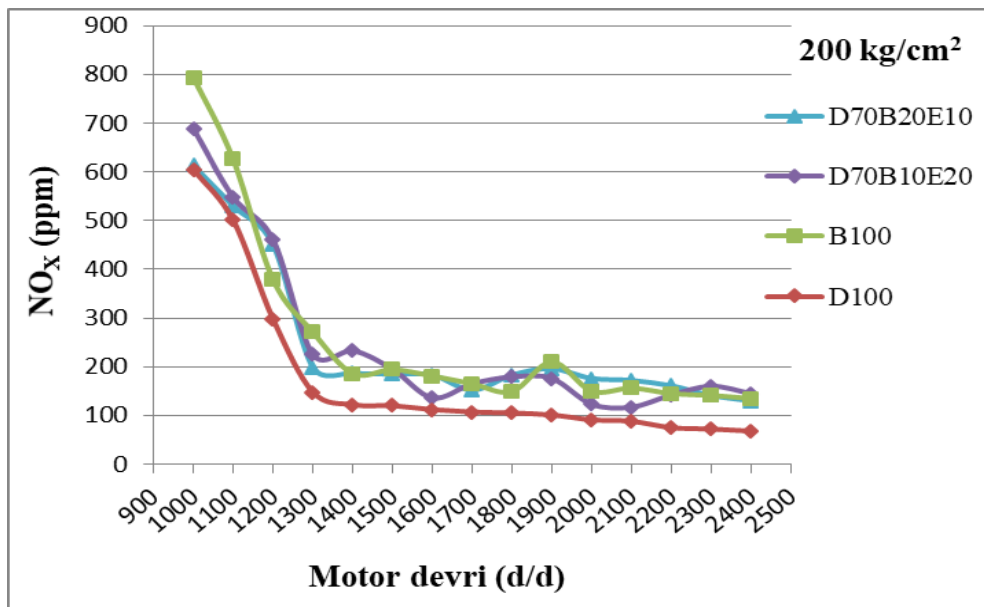
Şekil 4.14. 200 kg/cm² enjektör basıncı oksijen değişimleri

D₁₀₀, B₁₀₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve D₇₀B₁₀E₂₀ şeklindeki deney yakıtlarının 175 kg/cm² & 200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı kullanımındaki azot oksit (NO_x) değişimleri Şekil 4.15 ve 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.15. 175 kg/cm² enjektör basıncı azot oksit değişimleri

175 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için azot oksit emisyonu maksimum motor gücü 1900 d/d'de minimum olarak D₁₀₀ yakıtında 52 ppm ölçülmüştür. D₇₀B₂₀E₁₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve B₁₀₀ şeklindeki yakıtlarda karşılaştırıldığında sırasıyla, % 63.46, % 76.92 ve % 90.38 artış tespit edilmiştir. 1100 d/d'de ki maksimum motor momenti(tork)'nde ise minimum olarak D₁₀₀ yakıtında 491 ppm ölçülmüştür. D₇₀B₁₀E₂₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve B₁₀₀ şeklindeki yakıtlarda karşılaştırıldığında sırasıyla, % 19.14, % 21.99 ve % 25.05 artış tespit edilmiştir.



Şekil 4.16. 200 kg/cm² enjektör basıncı azot oksit değişimleri

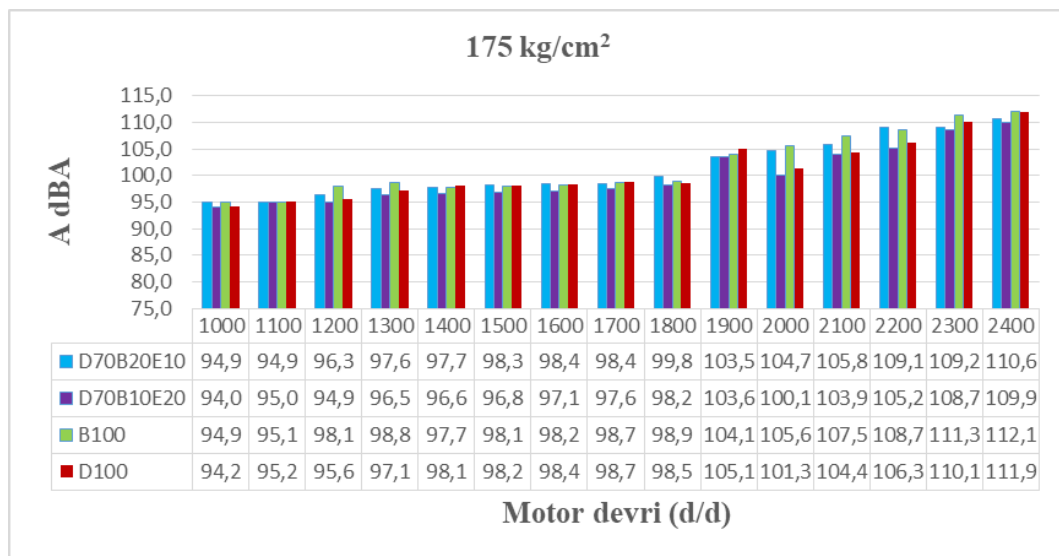
200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için azot oksit emisyonu maksimum motor gücü 1900 d/d'de minimum olarak D₁₀₀ yakıtında 101ppm ölçülmüştür. D₇₀B₁₀E₂₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve B₁₀₀ şeklindeki yakıtlarda karşılaştırıldığında sırasıyla, % 74.25, % 94.05 ve % 107.92 artış tespit edilmiştir. 1100 d/d'de ki maksimum motor momenti(tork)'nde ise minimum olarak D₁₀₀ yakıtında 501 ppm ölçülmüştür. D₇₀B₂₀E₁₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve B₁₀₀ şeklindeki yakıtlarda karşılaştırıldığında sırasıyla, % 5.78, % 7.98 ve % 24.95 artış tespit edilmiştir.

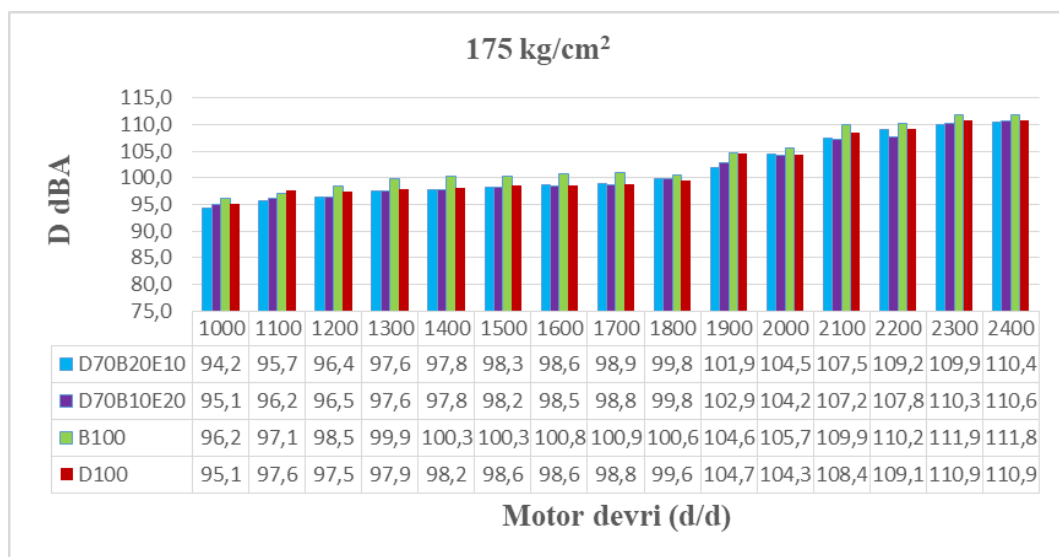
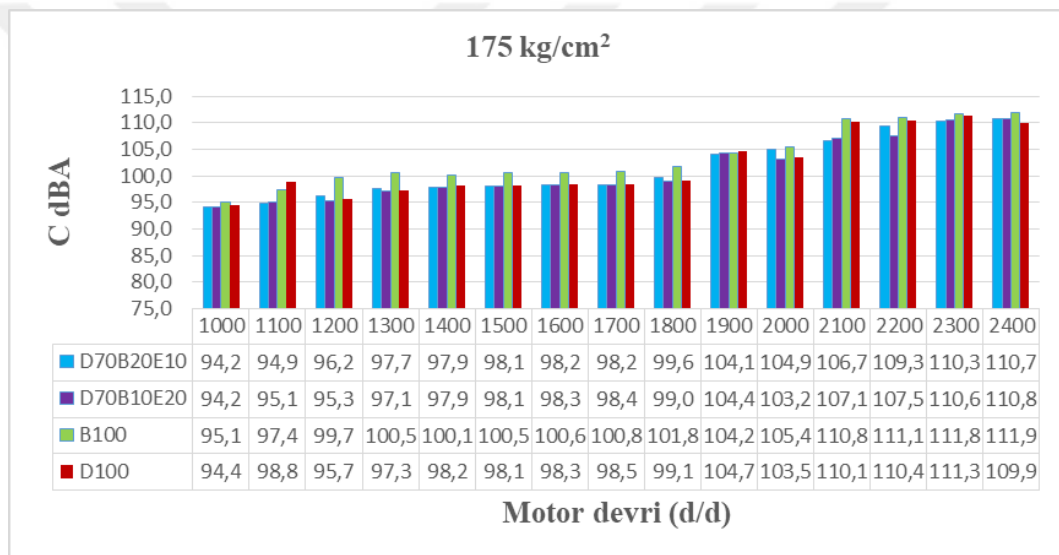
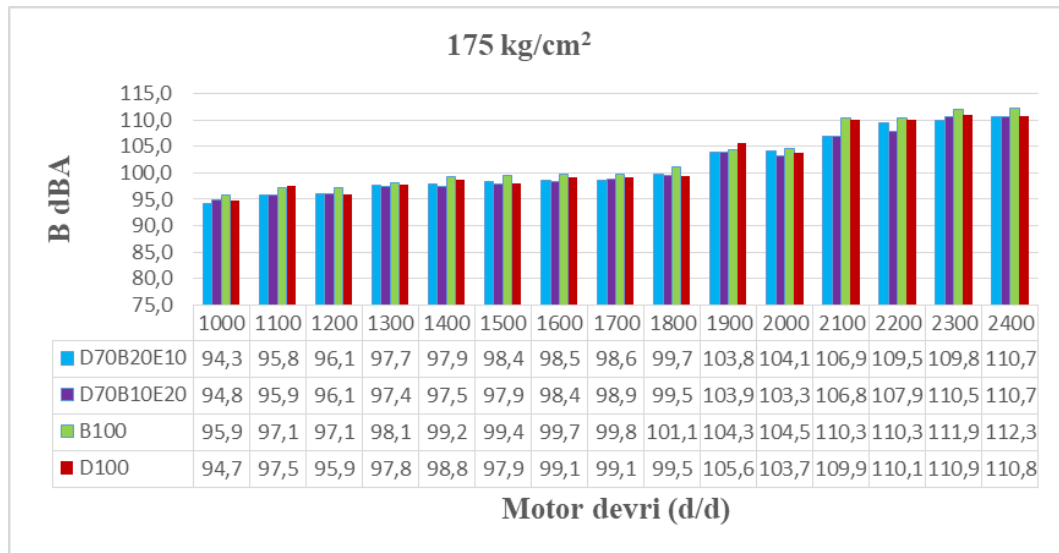
Deneylerden elde edilen değerlerden; karbon monoksit, karbon dioksit, hidrokarbon, oksijen ve azot oksit sonuçları incelendiğinde, Şahin (2019) ve Çalışkan (2021)'in yaptığı çalışmalar ile bütünlük göstermektedir.

4.3. Deney Motoru Gürültü Emisyon Testleri

D₁₀₀, B₁₀₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve D₇₀B₁₀E₂₀ şeklindeki deney yakıtlarının 175 kg/cm² & 200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı kullanımında, motorun dört köşe noktasından 75'er cm mesafeden ölçülen deney motoru gürültü değişimleri şekil 4.17 ve 4.18'de verilmiştir.

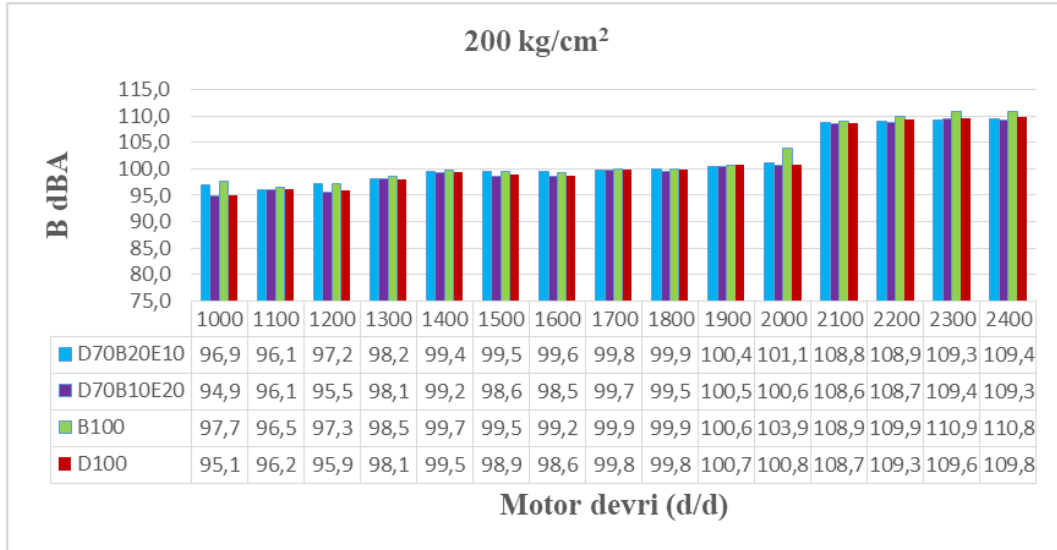
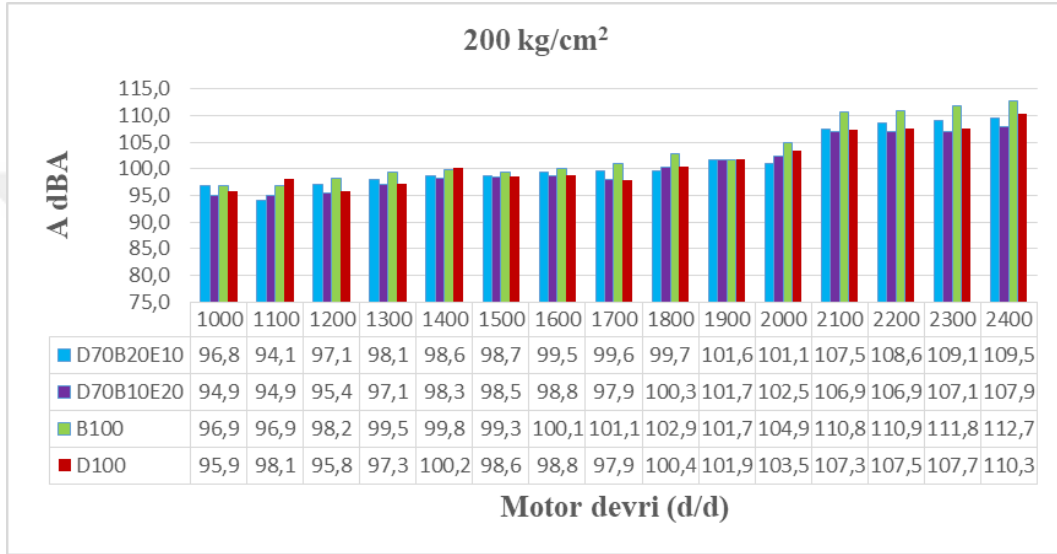
175 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı için maksimum güç devri 1900 d/d'de A&B&C&D köşelerinden ölçülen gürültü emisyonu değerlerinin ortalamasına göre B₁₀₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve D₇₀B₁₀E₂₀ yakıtlarının, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırılması sonucunda sırasıyla % 0.68, % 1.61 ve % 1.25 azalış, maksimum moment devri 1100 d/d'de ise A&B&C&D köşelerinden ölçülen gürültü emisyonu ortalama değerlerine göre B₁₀₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve D₇₀B₁₀E₂₀ yakıtlarının, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırılması sonucunda sırasıyla % 0.62, % 2.01 ve % 1.76 azalış tespit edilmiştir.

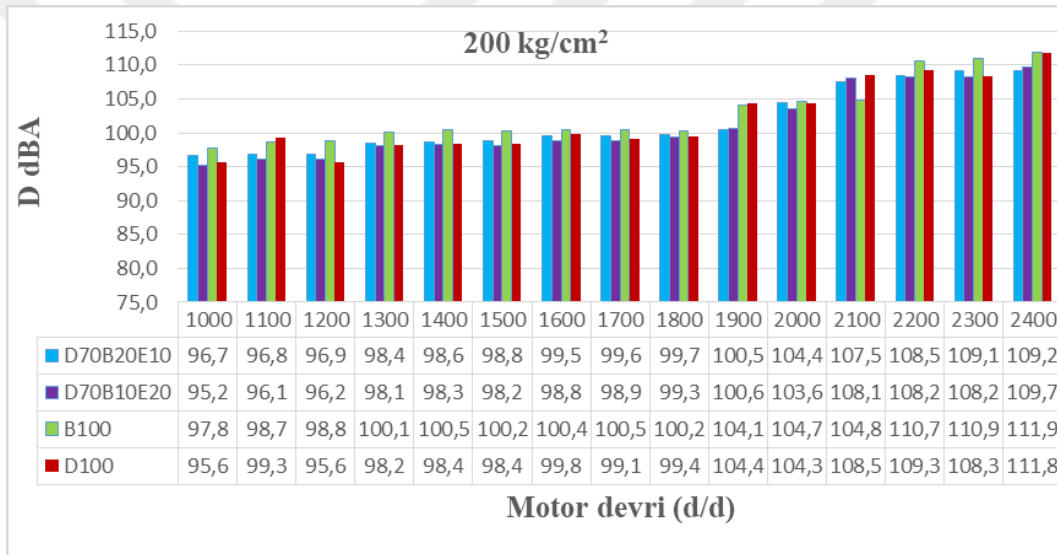
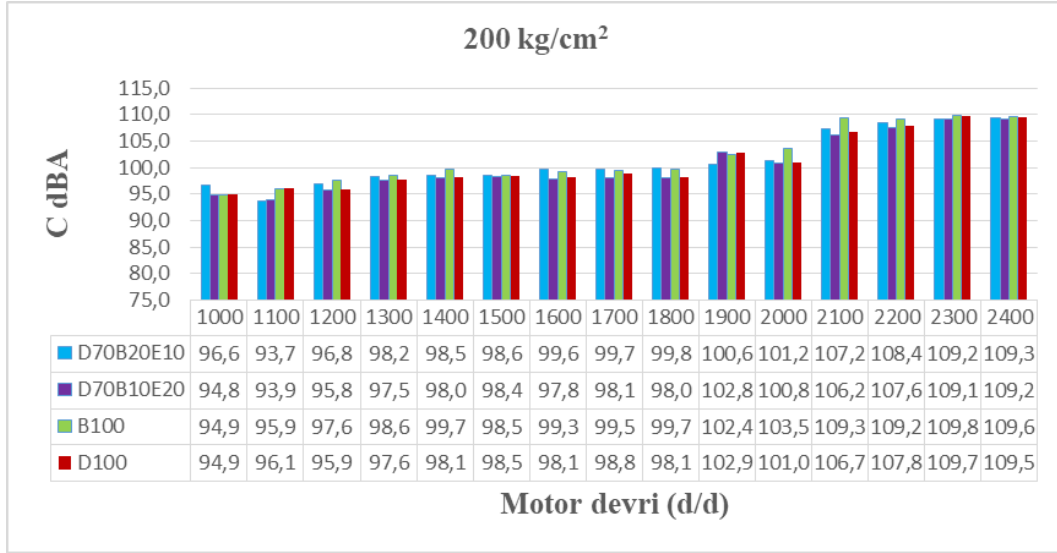




Şekil 4.17. 175 kg/cm² enjektör basıncı gürültü sonuçları

200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı için maksimum güç devri 1900 d/d'de A&B&C&D köşelerinden ölçülen gürültü emisyon değerlerinin ortalamasına göre B₁₀₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve D₇₀B₁₀E₂₀ yakıtlarının, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırılması sonucunda sırasıyla % 0.26, % 1.65 ve % 0.81 azalış, maksimum moment devri 1100 d/d'de ise A&B&C&D köşelerinden ölçülen gürültü emisyon değerlerinin ortalamasına göre B₁₀₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve D₇₀B₁₀E₂₀ yakıtlarının, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırılması sonucunda sırasıyla % 0.43, % 2.31 ve % 2.22 azalış tespit edilmiştir.





Şekil 4.18. 200 kg/cm² enjektör basıncı gürültü sonuçları

Deneylerden elde edilen değerlerden; deney motoru gürültü emisyon değişimleri sonuçları incelendiğinde, Çalışkan (2021)'in yaptığı çalışma ile bütünlük göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, çay tohumu yağı, transesterifikasyon yöntemi ile biyodizele dönüştürülmüştür. Dizel yakıtı, çay yağı biyodizeli ve etanol yakıtı ile belli oranlarda karıştırılarak D₁₀₀, B₁₀₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve D₇₀B₁₀E₂₀ şeklindeki yakıtlar elde edilmiştir. Deney yakıtlarının; yoğunluk, kinematik viskozite, setan sayısı, pH miktarı, bulutlanma noktası, akma noktası ve donma noktası, alt ısıl değeri, renk, parlama noktası, SFTN ve bakır çubuk korozyon testleri yapılarak yakıt karakteristikleri tespit edilmiştir. Deney yakıtları, karakteristik özellikleri çizelge 3.1’de verilen motorda denenerek performans, gürültü ve egzoz emisyon testleri, test motorunun 175 kg/cm² & 200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumlarında incelenmiştir.

175 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için maksimum motor gücü 1900 d/d’de D₇₀B₁₀E₂₀ yakıtında 9.795 kW olarak ölçülmüştür. Biyodizelin yağlayıcılık özelliği sayesinde yüksek devirlerde yanma iyileşmesiyle D₇₀B₁₀E₂₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve B₁₀₀ şeklindeki yakıtlardaki güç değerleri D₁₀₀ yakıtına göre daha yüksek çıkmıştır. 200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için ise, maksimum motor gücü 1900 d/d’de B₁₀₀ yakıtında 9.311 kW olarak ölçülmüştür. Çizelge 3.19’da görüldüğü gibi D₁₀₀ yakıtına göre B₁₀₀ yakıtının setan sayısının yüksek olması enjektör basıncının da artmasıyla, yüksek devirlerde yanmayı düzenli hale getirdiği için B₁₀₀ yakıtı ile çalışmada elde edilen güç değerleri D₁₀₀ yakıtına göre daha yüksek çıkmıştır.

175 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için maksimum motor momenti(tork) 1100 d/d’de D₇₀B₂₀E₁₀ yakıtında 53.809 Nm olarak ölçülmüştür. Çizelge 3.19’da görüldüğü gibi D₁₀₀ yakıtına göre B₁₀₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve D₇₀B₂₀E₁₀ yakıtlarının alt ısıl değerlerinin düşük olmasına rağmen maksimum motor momenti(tork), motorun 1100 d/d’de meydana geldiği için düşük devirlerde yanma hızı da düşük olmaktadır. B₁₀₀ yakıtının oksijen içeriği bakımından zengin oluşu yanma verimini de artırmaktadır. Bu yüzden motorun düşük devirlerinde yanma iyileşmekte ve moment(tork) değerlerinde artış görülmektedir. 200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için maksimum motor momenti(tork) 1100 d/d’de D₁₀₀ yakıtında 54.570 Nm olarak ölçülmüştür. Düşük devirlerde yanma hızı düşük olmasına rağmen yakıt enjektör basıncının artması ile yakıt daha da atomize hale gelmekte ve böylece yanma daha düzenli olmaktadır. B₁₀₀ yakıtının oksijen içeriği bakımından zengin oluşu yanma verimini de artırmasına rağmen, çizelge 3.19’da görüldüğü gibi D₁₀₀ yakıtına göre B₁₀₀,

$D_{70}B_{10}E_{20}$ ve $D_{70}B_{20}E_{10}$ yakıtlarının alt ısıl değerlerinin düşük olması sebebiyle moment(tork) değerleri de düşük çıkmıştır.

175 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için, minimum özgül yakıt tüketimi 1400 d/d'de $D_{70}B_{10}E_{20}$ yakıtında 338.729 g/kWh olarak ölçülmüştür. Çizelge 3.19'da görüldüğü gibi D_{100} yakıtına göre B_{100} , $D_{70}B_{10}E_{20}$ ve $D_{70}B_{20}E_{10}$ yakıtlarının alt ısıl değerlerinin düşük olmasına rağmen, düşük devirlerde yanma hızı da düşük olmaktadır. B_{100} yakıtının oksijen içeriği bakımından zengin oluşu yanma verimini de artırmaktadır. Bu yüzden motorun düşük devirlerinde yanma iyileşmekte ve özgül yakıt tüketim değerlerinde bir miktar azalış görülmektedir. 200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için, minimum özgül yakıt tüketimi 1400 d/d'de $D_{70}B_{10}E_{20}$ yakıtında 347.887 g/kWh olarak ölçülmüştür. Çizelge 3.19'da görüldüğü gibi $D_{70}B_{10}E_{20}$ yakıtının yoğunluk değeri diğer deney yakıtlarından daha azdır. Enjektör basıncının artması ile yakıt daha da atomize hale gelmekte ve yanma daha düzenli olmaktadır. Böylece yakıt tüketimi azalmaktadır. Ancak D_{100} yakıtına göre B_{100} ve $D_{70}B_{20}E_{10}$ yakıtlarının alt ısıl değerlerinin düşük olması yanı sıra yoğunluk değerlerinin de yüksek olması sebebiyle özgül yakıt tüketim değerleri de bir miktar daha yüksek çıkmıştır.

175 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için karbon monoksit emisyonu maksimum motor gücü 1900 d/d'de minimum olarak $D_{70}B_{20}E_{10}$ yakıtında % 0,454 ve 1100 d/d'de ki maksimum motor momenti(tork)'nde ise minimum olarak $D_{70}B_{10}E_{20}$ yakıtında % 1,454 olarak ölçülmüştür. 200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumunda ise karbon monoksit emisyonu maksimum motor gücü 1900 d/d'de minimum olarak $D_{70}B_{10}E_{20}$ yakıtında % 0,401 ve 1100 d/d'de ki maksimum motor momenti(tork)'nde ise minimum olarak $D_{70}B_{10}E_{20}$ yakıtında % 1,875 olarak ölçülmüştür. Azalışın nedeni B_{100} yakıtının içeriğinde bulunan ayrıca $D_{70}B_{10}E_{20}$ ve $D_{70}B_{20}E_{10}$ karışım yakıtları içerisindeki hacimsel olarak biyodizel yüzdesinden dolayı olan oksijen sebebiyle yanma esnasında karbon monoksitin oksitlenerek karbon dioksit dönüşürülmesinden kaynaklanmaktadır.

175 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için karbondioksit emisyonu maksimum motor gücü 1900 d/d'de minimum olarak D_{100} yakıtında % 3,756 ve 1100 d/d'de ki maksimum motor momenti(tork)'nde ise minimum olarak D_{100} yakıtında % 6,468 olarak ölçülmüştür. 200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumunda ise karbondioksit emisyonu maksimum motor gücü 1900 d/d'de minimum olarak D_{100} yakıtında % 1,148 ve 1100 d/d'de ki maksimum motor momenti(tork)'nde ise minimum olarak D_{100} yakıtında % 6,322 olarak ölçülmüştür. Artışın nedeni, B_{100}

yakıtının içeriğinde bulunan ayrıca D₇₀B₁₀E₂₀ ve D₇₀B₂₀E₁₀ karışım yakıtları içerisindeki hacimsel olarak biyodizel yüzdesinden dolayı olan oksijen sebebiyle hava fazlalık katsayılarının motorin yakıtına göre yüksek olmasıdır.

175 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için hidrokarbon emisyonu maksimum motor gücü 1900 d/d'de minimum olarak, D₁₀₀ yakıtında 104 ppm olarak 1100 d/d'de ki maksimum motor momenti(tork)'nde ise minimum olarak D₁₀₀ yakıtında 146 ppm ölçülmüştür. 200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için hidrokarbon emisyonu maksimum motor gücü 1900 d/d'de minimum olarak D₁₀₀ yakıtında 210 ppm olarak, 1100 d/d'de ki maksimum motor momenti(tork)'nde ise minimum olarak D₁₀₀ yakıtında 447 ppm ölçülmüştür. B₁₀₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve D₇₀B₂₀E₁₀ yakıtlarının D₁₀₀ yakıtına göre alt ısıl değerlerinin düşük olması ve motorun alçak devirlerinde yakıt tutuşma sıcaklığının da düşük olması sebebiyle hidrokarbon emisyonları artış eğilimindedir. Motorun yüksek devirlerinde ise karışım oranı fakirleştiği için yanma kötüleşmekte ve hidrokarbon emisyonları artmaktadır.

175 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için oksijen değerleri maksimum motor gücü 1900 d/d'de D₁₀₀ yakıtında % 17,26 olarak, 1100 d/d'de ki maksimum motor momenti(tork)'nde ise D₁₀₀ yakıtında % 4.25 ölçülmüştür. 200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için oksijen değerleri maksimum motor gücü 1900 d/d'de D₁₀₀ yakıtında % 19,11 olarak, 1100 d/d'de ki maksimum motor momenti(tork)'nde ise D₁₀₀ yakıtında % 6.58 ölçülmüştür. Egzozdaki O₂ miktarının yüksek olması motorda fakir karışım oranı olduğunu göstermektedir. Dizel motorlarda karışım fakirleştikçe yakıt tüketimi de azalmaktadır. Yoğunluk değeri az olan yakıtlar yanma odasında daha fazla yer kaplar ve giren havanın azalmasına sebep olur. Enjektör basıncının artmasıyla da düşük devirlerde karışım fakirleşmiştir. Ancak motor devrinin artmasıyla karışım yakıtlarındaki biyodizel oranından dolayı oksijen içeriği yanma verimini artırmıştır.

175 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için azot oksit emisyonu maksimum motor gücü 1900 d/d'de minimum olarak D₁₀₀ yakıtında 52 ppm olarak, 1100 d/d'de ki maksimum motor momenti(tork)'nde ise minimum olarak D₁₀₀ yakıtında 491 ppm ölçülmüştür. 200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için azot oksit emisyonu maksimum motor gücü 1900 d/d'de minimum olarak D₁₀₀ yakıtında 101ppm olarak, 1100 d/d'de ki maksimum motor momenti(tork)'nde ise minimum olarak D₁₀₀ yakıtında 501 ppm ölçülmüştür. B₁₀₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve D₇₀B₂₀E₁₀ yakıtları

kullanımında artış söz konusudur. Artışın sebebi, karışım yakıtlarında olan oksijence zengin dolgu havasının emisyon miktarını artırmasıdır.

175 kg/cm² & 200 kg/cm² motor enjeksiyon basıncı çalışma durumu için maksimum güç devri 1900 d/d ve maksimum motor momenti devri 1100 d/d'de A&B&C&D köşelerinden ölçülen gürültü emisyon değerlerinin ortalamasına göre B₁₀₀, D₇₀B₂₀E₁₀ ve D₇₀B₁₀E₂₀ yakıtlarının, D₁₀₀ yakıtı ile karşılaştırılması sonucunda daha az motor gürültüsü çıkardığı tespit edilmiştir. B₁₀₀ yakıtının setan sayısının yüksek oluşu ve biyodizelin yağlayıcı özelliği sayesinde motor gürültüsünü olumlu yönde etkilemektedir. Ayrıca en az motor gürültüsü D₇₀B₁₀E₂₀ yakıt kullanımında ortaya çıkmıştır. Bunun sebebi Çizelge 3.19'da da görüldüğü gibi D₇₀B₁₀E₂₀ yakıtı viskozite değerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

.Kazanımlarımız;

- Viskozitesi yüksek olan B₁₀₀ yakıtının, D₁₀₀ yakıtı ve etanol karışımları sayesinde viskozitesinin azaltılması ve dizel motorlarda kullanım alanının genişletilmesi,
- B₁₀₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve D₇₀B₂₀E₁₀ yakıtlarının egzoz emisyon sonuçlarının D₁₀₀ yakıt kullanımına göre azaltılması,
- B₁₀₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve D₇₀B₂₀E₁₀ yakıtlarının gürültü emisyon sonuçlarının D₁₀₀ yakıt kullanımına göre azaltılması,
- Çay tohumunun değerlendirilmesi.

5.2 Öneriler

Sonuçların daha somut hale gelmesi için:

- D₁₀₀, B₁₀₀, D₇₀B₁₀E₂₀ ve D₇₀B₂₀E₁₀ yakıtlarının malzeme uyumu açısından Euro 6.2 egzoz emisyon standardına sahip bir dizel motorda kullanımı hakkında çalışmalar yapılmalıdır.
- Karışım içerisindeki biyodizel oranlarının artırılarak motor performans, egzoz emisyon, motor gürültü, ekserji ve yağlama yağı deneyleri yapılmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- Adıgüzel, A.O., 2013, Biyoetanolün Genel Özellikleri ve Üretimi İçin Gerekli Hammadde Kaynakları, Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Zonguldak, 2 (2), 204-220.
- Akbin, H. M., 2012, Kanola Yağından Hidrotalsite Tutuklanmış Lipaz ile Biyodizel Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 1-101.
- 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, 131-136.
- Altınsoy, A. S., 2007, Biyodizel Üretimi, Motorlarda Kullanımı ve Türkiye'deki Kaynakların İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-109.
- Anonim, 2021 a, Camellia Japonica, [http://en.wikipedia.org/wiki/Image: Camellia_japonica_natural.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/Image:Camellia_japonica_natural.jpg), Erişim Tarihi: [03.02.2021].
- Anonim, 2021 b, <https://www.rtb.org.tr/tr/cay-tarimi-ve-turleri>, Erişim Tarihi: [06.02.2021].
- Anonim, 2021 c, Camellia Sinensis <https://en.wikipedia.org/wiki/File:Koeh-025.jpg> , Erişim Tarihi: [07.02.2021].
- Anonim, 2021 d, <http://of.ziraatodasi.org.tr/cay>, Erişim Tarihi: [09.02.2021].
- Anonim, 2021 e, Çay Tohumu, <http://www.caykur.gov.tr> , Erişim Tarihi: [11.02.2021].
- Ar, F., 2012, Dünya'da ve Türkiye'de Biyoyakıt Sektörü, World Energy Council Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Enerji Raporu, Ankara, 1-262.
- Atakan, E., 2006, Değişik Yağlardan Elde Edilen Biyodizellerin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-10.
- Atmanlı A., and Yılmaz N., 2020, An Experimental Assessment on Semi-Low Temperature Combustion Using Waste Oil Biodiesel/C3-C5 Alcohol Blends in a Diesel Engine, Elsevier, Fuel 260 (2020) 116357.
- Aydın F., 2014, E-B Motorin Yakıtlarının Tek Silindirli Bir Dizel Motorda Kullanımının Motor Performansına, Emisyonlara Ve Yağlama Yağına Etkileri, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya 1-114.
- Balat, B., Balat, H. and Öz, C., 2008, Progress In Bioethanol Processing, *Progress In Energy And Combustion Science*, 34, 551-573.
- Bante, 2021, PHS-3BW Masa üstü pH Metre, Bante Laboratuvar Cihazları, <http://www.sahinlerkimya.com/>, [Erişim Tarihi: 15.02.2021].
- Bekar, N., 2020, Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye'nin Enerji Jeopolitiği, Türkiye Siyaset Bilimi Dergisi, Cilt:3, Sayı:1, 37-54.
- Bilsa, 2021, Bilsa Mod 2210 Egzoz Emisyon Cihazı, <https://www.bilsaltd.com/egzozemisyon-cihazlar> , [Erişim Tarihi: 16.02.2021].
- Channappagoudra M., Ramesh K. and Manavendra G., 2020, Effect of Injection Timing on Modified Direct Injection Diesel Engine Performance Operated with Dairy Scum Biodiesel and Bio-CNG, Elsevier, Renewable Energy 147 (2020) 1019-1032.
- Charitha V., Thirumalini S., Prasad M. and Srihari S., 2019, Investigation on Performance and Emissions of RCCI Dual Fuel Combustion on Diesel - Bio Diesel in a Light Duty Engine, Elsevier, Renewable Energy 134 (2019) 1081-1088.
- Çalışkan, S., 2021, Çay Yağı Metil Esterinin Farklı Karışım Oranları ve Enjeksiyon Basınçlarındaki Dizel Motor Performansı, Egzoz ve Gürültü Emisyonlarının

- Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-77.
- Çaykur, 2015, Çay İşletmeleri Genel Müdürlüğü Çay Sektörü Raporu, Rize.
- Demirbaş, A., 2007, Importance of Biodiesel as Transportation Fuel, *Energy Policy* 35: 4661–4670.
- Deteq, 2021, Deteq TP03 enjektör değişim cihazı [online], <http://www.deteq.com/slides/slide/tp03-brochure-4> , [Erişim Tarihi: 17.02.2021].
- Dhas A. A. G., Devarajan Y. and Nagappan B., 2018, Analysis of Emission Reduction in Ethyne–Biodiesel–Aspirated Diesel Engine, Taylor & Francis Group, *International Journal of Green Energy* 2018, Vol. 15, No. 7, 436–440.
- Dimitriou P., Tsujimura T. and Suzuki Y., 2019, Adopting Biodiesel as an Indirect Way to Reduce The Nox Emission of a Hydrogen Fumigated Dual-Fuel Engine, Elsevier, *Fuel* 244 (2019) 324–334.
- Dinesh K., Tamilvanan A., Vaishnavi S., Gopinath M. and Raj Mohan K.S., 2019, Biodiesel Production Using Calophyllum Inophyllum (Tamanu) Seed Oil and its Compatibility Test in a CI Engine, Taylor & Francis Group, *Biofuels* 2019, Vol. 10, No. 3, 347–353.
- Erdoğan S., Balki M.K. and Sayın C., 2019, Determination of Fuel Type For Optimal Performance and Emission in a CI Engine Used Biodiesel and its Blends Via Multi-Criteria Decision Making, *Sakarya University Journal of Science* 23(5), 908-915, 2019.
- Fazal U. M.A., Bică M., Gruia A., Tutunea D. and Călbureanu M., 2019, Considerations on the Combustion of Biofuels in Compression Ignition Engines, *E3S Web of Conferences* 112, 01004 (2019). <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911201004>.
- Fidan, M.S. ve Alkan, E., 2014, Bitkisel Hammaddelerden Elde Edilen Biyodizelin Alternatif Enerji Kaynağı Olarak Kullanılması, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü GÜFBED/GUSTIJ*, 2014, 4 (2), 144-160.
- Gizlenci, Ş. ve Acar, M., 2008, Enerji Bitkileri Tarımı ve Biyoyakıtlar (Biyomotorin, Biyoetanol, Biyomas), T.C. Tarım ve Köyışleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, *Enerji Bitkileri ve Biyoyakıtlar Sektörel Rapor*, Samsun 1-18.
- Haşimoğlu, C., İçingür, Y. ve Özsert, İ., 2008, Turbo Şarjlı Bir Dizel Motorda Yakıt Olarak Biyodizel Kullanılmasının Motor Performans ve Egzoz Emisyonlarına Etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt:23, No:1, 207-213.
- Hatunoğlu, E.E., 2010, Biyoyakıt Politikalarının Tarım Sektörüne Etkileri, *DPT-Uzmanlık Tezleri İktisadi Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü*, Ankara, 23-42.
- Hosseini S. H., Taghizadeh-Alisarai A., Ghobadian B. and Abbaszadeh-Mayvan A., 2017, Effect of Added Alumina as Nano-Catalyst to Diesel-Biodiesel Blends on Performance and Emission Characteristics of CI Engine, *Energy* 124 (2017) 543-552.
- IKA, 2017, IKA Fiche technique C 200 H Auto, Germany.
- Islam M.A., Heimann K. and Brown R.J., 2017, Microalgae Biodiesel: Current Status and Future Needs for Engine Performance and Emissions, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79 (2017) 1160–1170.
- İlhan, P., 2007, Çay Tohumu Yağının Biyodizel Üretiminde Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-79.
- Julabo, 2021, Kinematik Viskozite Cihazı, <http://www.elista.com.tr/urunler/tef-a-200-kinematik-viskozite-banyosu> , Erişim Tarihi:[14.02.2021].

- Kan X., Wei L., Li X., Li H., Zhou D., Yang W. and Wang C-H., 2020, Effects of the Three Dual Fuel Strategies on Performance and Emissions of a Biodiesel Engine, Elsevier, Applied Energy 262 (2020) 114542.
- Kaplan C., 2001, Ayçiçeği Yağı Metil Esterinin Dizel Motorlarında Alternatif Yakıt Olarak Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 1-61.
- Kaya, A., 2007, Kızartma Atığı Yağlarından Süperkritik Alkol Transesterifikasyon Yöntemi ile Biyodizel Elde Edilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-53.
- Khond V W. and Kriplani V. M., 2019, Experimental Investigation and Modeling of The Evaporation Rate of Carbon Nanotube Blended Emulsified Neem Biodiesel, *Biofuels*, 10:4, 485-491.
- Koç, M., 2011, Biyodizel Üretimine Uygun Türkiye'de Yetişen ve Yetiştirilecek Bitkilerin ve Biyodizel Teknolojilerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-247.
- Koçer, N. N. ve Durmuş, B., 2019, Atık Yağlardan Elde Edilen Biyodizel Potansiyeli ve Gliserol Miktarının Belirlenmesi, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, Cilt:9, Sayı:1, 70-80.
- Koehler, 2020, Bulutlanma ve Akma Noktası Test Cihazı, <https://koehlerinstrument.com/products/application-industry/biodiesel/cloud-and-pour-point-test-equipment/>, [Erişim Tarihi: 25.12.2020].
- Koehler, 2021, Bakır Şerit Korozyonu Test Cihazı, https://koehlerinstrument.com/products/copper-strip-corrosion-test-tube-bath/?search=K25330&description=true&sub_category=true, [Erişim Tarihi: 17.02.2021].
- Koehler, 2022, Parlama Noktası Test Cihazı, <https://www.coleparmer.com/i/koehler-k16270-pensky-martens-closed-cup-flash-tester-220-vac-50-hz/5987105>, [Erişim Tarihi: 08.01.2022].
- Kyoto, 2021, KEM, Portable Density / Specific Gravity Meter, DA-130N, Kem Kyoto Electronics Manufacturing CO., LTD. Japan
- Lovibond, 2021, Lovibond® PFXi-195 Series, Lovibond® Colour Measurement Tintometer® Group. U.K.
- Narin, M., 2008, Dünyada ve Türkiye'de Enerji Tarımı, 2. Ulusal İktisat Kongresi, 20-22 Şubat 2008, Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi İktisat Bölümü, İzmir, 1-18.
- Neck, 2021, Hassas Terazı, <https://www.terazideposu.com/urun/fly-500-gr-0-001-gr-hassas-terazi> , Erişim Tarihi:[14.02.2021].
- NF, 2021, Dinamometre Kontrol Ünitesi, <http://netfren.com/urunler/> , Erişim Tarihi: [12.02.2021].
- Nigam, P.S. and Singh, A., 2011, Production of Liquid Biofuels From Renewable Resources, *Progress in Energy and Combustion Science* 37 (2011) 52-68.
- Oğuz H., Düzcükoğlu, H. and Ekinci, Ş., 2011, The Investigation of Lubrication Properties Performance of Euro-Diesel and Biodiesel, *Tribology Transactions*, 54: 449-456.
- Özdingis A.G.B. and Koçar G., 2018, Current and future aspects of bioethanol production and utilization in Turkey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81 (2018) 2196-2203.
- Rahman S.M.A., Van T.C., Hossain F.M., Jafari M., Dowell A., Islam M.A., Nabi M.N., Marchese A.J., Tryner J., Rainey T., Ristovski Z.D. and Brown R.J., 2019,

- Fuel Properties and Emission Characteristics of Essential Oil Blends in a Compression Ignition Engine, Elsevier, Fuel 238 (2019) 440–453.
- Sakdasri W., Sawangkeaw R. and Ngamprasertsith S., 2018, Techno-Economic Analysis of Biodiesel Production From Palm Oil with Supercritical Methanol at a Low Molar Ratio, Elsevier, Energy 152 (2018) 144-153.
- Sandouqa A. and Al-Hamamre Z., 2019, Energy Analysis of Biodiesel Production From Jojoba Seed Oil, Elsevier, Renewable Energy 130 (2019) 831-842.
- Smart Sensor, 2021, Smart Sensor AS 804 gürültü ölçüm cihazı [online], http://en.smartsensor.cn/products_detail/productId=243.html , [Erişim Tarihi: 17.02.2021].
- Soudagar M.E.M., Nik-Ghazali N-N., Kalam Md. A., Badruddin I.A., Banapurmath N.R. and Akram N., 2018, The Effect of Nano-Additives in Diesel-Biodiesel Fuel Blends: A Comprehensive Review on Stability, Engine Performance and Emission Characteristics, Elsevier, Energy Conversion and Management 178 (2018) 146–177.
- Srihari S., Thirumalini S. and Prashanth K., 2017, An Experimental Study on The Performance and Emission Characteristics of PCCI-DI Engine Fuelled with Diethyl Ether-Biodiesel-Diesel Blends, Renewable Energy, 107 (2017) 440-447.
- Super Star, 2009, Süper Star Dizel Motorları Kullanma ve Bakım Klavuzu, İstanbul.
- Şahin, S., 2013, Keten Yağı Biyodizelinin ve Motorinle Karışımlarının Motor Performansına ve Egzoz Emisyonlarına Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-63.
- 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.
- Şeker, S., 2007, Biyodizel Üretimi ve Katkı Maddelerinin Yakıt Özellikleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-81.
- Tanaka, 2021, Automatic Petroleum Tester, Cold Filter Plugging Point Tester AFP-102, Japan.
- Thiyagarajan S., Sonthalia A., Geo V. E., Prakash T., Karthickeyan V., Ashok B., Nanthagopal K. and Dhinesh B., 2020, Effect of Manifold Injection of Methanol/N-Pentanol in Safflower Biodiesel Fuelled CI Engine, Elsevier, Fuel 261 (2020) 116378.
- Tüccar G. and Uludamar E., 2018, Emission and Engine Performance Analysis of a Diesel Engine Using Hydrogen Enriched Pomegranate Seed Oil Biodiesel, Elsevier, International Journal of Hydrogen Energy, 43 (2018), 18014-18019.
- Ulusoy, Y. ve Alibaş, K., 2002, Diesel Motorlarda Biodiesel Kullanımının Teknik ve Ekonomik Olarak İncelenmesi, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, Bursa, 16: 37-50.
- Üstün, G. E. ve Genç, B., 2015, Dünya’da ve Türkiye’de Biyoyakıtların Durumu, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, Bursa, Cilt:29, Sayı:2, 157-164.
- Wedel, R., 1999, Technical Handbook for Marine Biodiesel, Cyto Culture International, Inc., Second Edition, 1-20.
- Yıldızhan Ş., Uludamar E., Çalık A., Dede G. and Özcanlı M., 2017, Fuel Properties, Performance and Emission Characterization of Waste Cooking Oil (WCO) in a Variable Compression Ratio (VCR) Diesel Engine, *European Mechanical Science* 2017, Vol. 1(2): 56-62.
- Zeray C., 2010, Renewable Energy Sources, Master Thesis, *Univesity Of Çukurova Institute Of Natural And Applied Science* , Adana, 1-112.

Zhang, Y., Dube, M.A., McLean, DD. and Kates, M., 2003, Biodiesel Production From Waste Cooking Oil: 1. Process Design and Technological Assessment, Bioresource Technology, Volume 89, Issue 1, Pages 1-16.

