



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PAMUK YAĞI METİL ESTERİ VE ENJEKTÖR BASINCININ
MOTOR PERFORMANSINA, TİTREŞİMİNE VE GÜRÜLTÜSÜNE
OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

SÜLEYMAN KAPLAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. SUAT SARIDEMİR**

DÜZCE, 2019

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

PAMUK YAĞI METİL ESTERİ VE ENJEKTÖR BASINCININ
MOTOR PERFORMANSINA, TİTREŞİMİNE VE GÜRÜLTÜSÜNE
OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Süleyman KAPLAN tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Suat SARIDEMİR
Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Suat SARIDEMİR
Düzce Üniversitesi

Prof. Dr.
Düzce Üniversitesi

Prof. Dr.
Düzce Üniversitesi

Prof. Dr.
Düzce Üniversitesi

Prof. Dr. (jüri üyesinin ismi yazılmalıdır)
Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 26/07/2019

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

26 Temmuz 2019



Süleyman KAPLAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve bu tezin hazırlanması süresince gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Doç. Dr. Suat SARIDEMİR'e en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve çalışma arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması Düzce Üniversitesi BAP-2018.07.04.720 numaralı Bilimsel Araştırma Projesiyle desteklenmiştir.

26 Temmuz 2019

Süleyman Kaplan

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR.....	x
SİMGELER/SEMBOLLER.....	xii
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. AMAÇ VE KAPSAM.....	3
3. DİZEL YAKITLARIN YAPISI VE ÖZELLİKLERİ.....	6
3.1. DİZEL(MOTORİN) YAKITI ÖZELLİKLERİ	7
3.1.1. Vuruntu Dayanımı	7
3.1.2. Buharlaşma.....	8
3.1.3. Viskozite.....	8
3.1.4. Korozyon.....	8
3.1.5. İş Miktarı.....	9
3.1.6. Çinkoya Karşı Aktivite.....	9
3.1.7. Akma Noktası	9
3.1.8. Alevlenme Noktası	9
3.1.9. Motorine Katılan Katıklar	9
3.1.10. Tutuşabilirlik ve Setan Sayısı	10
4. BİYODİZEL YAKITIN YAPISI VE ÖZELLİKLERİ.....	11
4.1. BİYODİZEL YAKITI STANDARTLARI	13
4.1.1. Biyobozunabilirlik	14
4.1.2. Toksik Etki	14
4.1.3. Depolama	14
4.1.4. Soğukta Akış Özellikleri.....	14
4.1.5. Motor Yakıtı Olarak Biyodizel.....	15
4.2. BİYODİZEL YAKITI ÖZELLİKLERİ	15
4.2.1. Viskozite.....	15
4.2.2. Yoğunluk	15
4.2.3. Setan Sayısı.....	16
4.3. BİYODİZEL ÜRETİM YÖNTEMLERİ.....	16

4.3.1. Piroliz	17
4.3.2. Mikroemülsifikasyon	17
4.3.3. Dilüsyon	17
4.3.4. Seyreltme	17
4.4. BİYODİZELİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI	18
4.4.1. Biyodizelin Avantajları.....	18
4.4.2. Biyodizelin Dezavantajları.....	18
5. MATERYAL VE METOT	20
5.1. MOTOR TEST ÜNİTESİ EKİPMANLARI.....	21
5.1.1. Deney Motoru.....	21
5.1.2. Taşıt Dinamometresi.....	22
5.1.3. Egzoz Ölçüm Cihazı ve Kontrol Paneli.....	23
5.2. TİTREŞİM VE GÜRÜLTÜ ÖLÇÜM CİHAZLARI	24
5.2.1. Titreşim Ölçüm Cihazı	24
5.2.2. Gürültü Ölçüm Cihazı ve Dozimetresi.....	26
5.3. DENEY YAKITLARININ ELDE EDİLMESİ	26
5.4. ENJEKTÖR BASINCININ AYARLANMASI	31
5.5. YAKIT TÜKETİMİ VE ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMİ	32
5.6. YANMA ANALİZİ SİSTEMİ	33
6. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME	35
6.1. YANMA KARAKTERİSTİKLERİ	35
6.1.1. Silindir Basıncı ve Yanma Analizi.....	37
6.1.2. Özgül Yakıt Tüketimi.....	40
6.2. EGZOZ EMİSYON SONUÇLARI	43
6.2.1. O ₂ Emisyonu.....	44
6.2.2. CO Emisyonu	45
6.2.3. CO ₂ Emisyonu	46
6.2.4. HC Emisyonu	47
6.2.5. NO _x Emisyonu	49
6.3. MOTOR TİTREŞİM VE GÜRÜLTÜ SEVİYESİ.....	50
6.3.1. Motor Titreşim Seviyesi	50
6.3.2. Motor Gürültü Seviyesi	53
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	55
8. KAYNAKÇA	57
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Farklı Özellikteki dizel yakıtlarının görüntüsü, Nu.1-D, Nu.2-D, Nu.3-D.	6
Şekil 4.1. Biyodizel yenilenebilir enerji döngüsü.	11
Şekil 4.2. Temel transesterifikasyon işlemi.	12
Şekil 5.1. Deney düzeneğinin resmi.	20
Şekil 5.2. Deneysel düzeneğin şematik gösterimi.	21
Şekil 5.3. Deney motoru resmi.	22
Şekil 5.4. Kemsan marka Direct Current Motor (DC) dinamometre.	22
Şekil 5.5. Dinamometre kontrol paneli.	23
Şekil 5.6. Ktest egzoz emisyon resmi.	24
Şekil 5.7. Ktest egzoz emisyon cihazı ekran görüntüsü.	24
Şekil 5.8. Vibrotest 80 model titreşim ölçüm cihazı.	25
Şekil 5.9. Üç eksen (X, Y ve Z) veri alınan ivmeölçerler.	26
Şekil 5.10. Svantek 104 marka gürültü ölçüm cihazı.	26
Şekil 5.11. Transesterifikasyon işlemi görsel şeması.	27
Şekil 5.12. Pamuk yağı 60°C'ye kadar ısıtılması.	27
Şekil 5.13. Metanol ve NaOH'ın 37 °C'de karıştırılma işlemi.	28
Şekil 5.14. Gliserinin ayrıştırılması.	28
Şekil 5.15. Biyodizel yakıtının yıkanması ve Ph'nın ayarlanması.	29
Şekil 5.16. Biyodizel içerisinde kalan suyun buharlaştırılması.	29
Şekil 5.17. Transasterifikasyon yöntemi ile üretilen pamuk yağı biyodizel yakıtı.	30
Şekil 5.18. Değişik oranlarda dizel yakıtı ile harmanlanan yakıtlar.	30
Şekil 5.19. Enjektör içyapısı.	32
Şekil 5.20. Yakıt ölçüm düzeneği.	33
Şekil 5.21. Yanma analizi yazılımı.	34
Şekil 6.1. Dizel motorlarda krank açısı ve yakıt püskürtme ilişkisi.	35
Şekil 6.2. Isı yayılımı oranı-krank açısı ilişkisi.	36
Şekil 6.3. 210 bar basınç (2,5-5-7,5-10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının basınç ve ısı yayılım grafikleri.	39
Şekil 6.4. 225 210 bar basınç (2,5-5-7,5-10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının basınç ve ısı yayılım grafikleri.	40
Şekil 6.5. 210 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının özgül yakıt tüketim grafiği.	41
Şekil 6.6. 225 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının özgül yakıt tüketim grafiği.	42
Şekil 6.7. 210 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının egzoz gazı sıcaklıkları.	43
Şekil 6.8. 225 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının egzoz gazı sıcaklıkları.	43
Şekil 6.9. 210 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının O ₂ değerleri.	44
Şekil 6.10. 225 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0,	

B10, B20 ve B50 yakıtlarının O ₂ emisyon grafiği.	44
Şekil 6.11. 210 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının CO emisyon grafiği.	45
Şekil 6.12. 225 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının CO emisyon grafiği.	46
Şekil 6.13. 210 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının CO ₂ emisyon grafiği.	46
Şekil 6.14. 225 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının CO ₂ emisyon grafiği.	47
Şekil 6.15. 210 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının HC emisyon grafiği.	48
Şekil 6.16. 225 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının HC emisyon grafiği.	48
Şekil 6.17. 210 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının NO _x emisyon grafiği.	49
Şekil 6.18. 225 210 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının NO _x emisyon grafiği.	50
Şekil 6.19. 210 bar enjektör basıncı (2,5,5,7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının titreşim grafiği.	52
Şekil 6.20. 225 bar enjektör basıncı (2,5,5,7,5 ve 10)Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının titreşim grafiği.	53
Şekil 6.21. 210 bar enjektör basıncında (2,5,5,7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının gürültü grafiği.	54
Şekil 6.22. 225 bar enjektör basıncında (2,5,5,7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının gürültü grafiği.	54

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Farklı özellikteki (Nu.1-D, Nu.2-D, Nu.3-D) yakıtların özellikleri.	7
Çizelge 3.2. Dizel indeksi ve setan sayısı arasındaki ilişki.	8
Çizelge 4.1. Türkiye'de biyodizel için yerli tarım ürünleri arz ve talep değerleri.	13
Çizelge 4.2. Türkiye'de yağ bitkileri ekim alanları.	13
Çizelge 4.3. Bazı bitkisel yağların yakıt karakteristikleri.	16
Çizelge 5.1. Deney motorun teknik özellikleri.	21
Çizelge 5.2. Ktest marka egzoz emisyon cihazı ölçüm aralıkları.	23
Çizelge 5.3. B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının özellikleri.	31
Çizelge 6.1. 210 ve 225 bar enjektör basıncı, farklı tork değerlerinde yakıtların x,y,z eksenleri için arms verileri.	51

KISALTMALAR

A.P.İ.	Petrolün gravite derecesi
B0	Euro dizel yakıtı
B10	%10 biyodizel katkılı eurodizel
B20	%20 biyodizel katkılı eurodizel
B50	%50 biyodizel katkılı eurodizel
CNG	Sıkıştırılmış doğalgaz
DC	Doğrusal akım motoru
Dev/dak.	Devir/dakika
Dİ	Dizel indeksi
°KMA	Krank mili açısı
LPG	Sıkıştırılmış petrol gazı
Nm	Newton*metre
PMYE	Pamuk yağı metil esteri
PPM	Partikül madde sayısı
SYME	Soya yağı metil esteri
TG	Tutuşma gecikmesi
TS	Türk standartları
Ö.A.	Özgöl ağırlık

SİMGELER/SEMBOLLER

a	Zaman bölgesi ivme
$\bar{a}_{\text{Toplam}}$	arms(x), arms(y) ve arms(z) karelerinin toplamının kareköküdür.
Cal	Kalori
°C	Santigrat derece
C16H34	Setan
C10H7CH3	Alfametilnaften
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
Cm ³	Santimetreküp
cSt	Kinematik viskozite birimi(m ² /sn.)
dB	Desibel(Ses seviyesi)
F	Fahrenhayt
g/cm ³	Gram/santimetreküp
g/kWh	Gram/kilowatsaat
HC	Hidrokarbon
J/°KMA	Jul/krank mili açısı
kg/l	Kilogram/litre
kW	Motor gücü
kJ/kg	Kilojul/kilogram
kg	Kilogram
Koh	Potasyum hidroksit
mm ² /s	Milimetrekare/saat
mJ/kg	Megajul/kilogram
n	Zaman bölgesi verisi
NaOH	Sodyum hidroksit
NO _x	Azot oksit
O ₂	Oksijen
S	Saybolt

ÖZET

PAMUK YAĞI METİL ESTERİ VE ENJEKTÖR BASINCININ MOTOR PERFORMANSINA, TİTREŞİMİNE VE GÜRÜLTÜSÜNE OLAN ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Süleyman KAPLAN

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Suat SARIDEMİR

Temmuz 2019, 59 Sayfa

Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte insanların motorlu taşıtları ve sanayi üretimini daha çok kullanmalarından dolayı enerji ihtiyacı giderek artmaktadır. Özellikle ülkemiz başta olmak üzere birçok ülkenin bu enerji ihtiyacının büyük bir kısmı petrol kökenli fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Petrolün sınırlı sayıdaki rezerv miktarından dolayı her geçen gün enerjideki birim fiyatın artması, ülkeyi ekonomik yönden olumsuz etkilemektedir. Fosil yakıtların doğa ve insan sağlığına olumsuz özellikleri de düşünüldüğünde araştırmacılar yenilenebilir özellikte olan bitkisel yakıtlara yönelmişlerdir. Bu çalışmada pamuk yağı metil esterinin %10, %20 ve %50 oranlarında karıştırılarak tek silindirli, içten yanmalı, direkt püskürtmeli ve hava ile soğutmalı bir dizel motorda deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerde motorinle pamuk yağı biyodizel karışımlarının iki farklı enjektör (210 ve 225 bar) basıncında, 4 farklı tork (2,5-5-7,5 ve 10 Nm) değerinde yapılan deneylerde motorun basınç, ısı yayılımı, egzoz emisyonları, yakıt tüketimi, gürültü ve titreşim değerleri ölçülmüştür. Deneylerde iki enjektör basıncı ölçüm değerlerinde önemli bir değişiklik olmamıştır. Egzoz emisyonlarından genel olarak O₂ emisyonunda tork'a bağlı olarak düşüş, diğer emisyonlarda artış gözlenmiştir. Basınç, ısı yayılımı, gürültü ve titreşim verilerinde 2,5 ve 10 Nm(Newton*metre)'de en düşük, 5 ve 7,5 Nm'de yüksek değerler elde edilmiştir. Ayrıca tüm deneylerde 10 Nm tork değerinde B50 yakıtı için en kötü sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar sözcükler: Pamuk yağı biyodizel, Dizel motor, Titreşim, Gürültü, Emisyon.

ABSTRACT

INVESTIGATION THE EFFECTS OF COTTON OIL METHYL ESTER AND INJEKTOR PRESSURE ON ENGINE PERFORMANCE, VIBRATION AND NOISE

Duzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Mechanical
Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Suat SARIDEMİR

June 2019, 59 pages

Recently the need for energy is increasing rapidly due to the dense and more use of engine vehicles and industrial production by people in line with the technological developments. Most of this energy need of many countries, particularly our country, is supplied by the petroleum fossil fuels. The unit price of the energy, which increases every passing day due to the limited reserve amount of the petroleum, affects the country negatively in the economical manner. The analysts head towards the renewable herbal fuels when the negative effects of the fossil fuels both on the environment and human health. In this study the experiments have been performed on a diesel engine, which has single cylinder, internal combustion, direct-injection and is air-cooled, by mixing the cottonseed oil methyl ester at the ratio of 10%, 20% and 50% by volume. During the experiments, performed on two different injecting pressures (210 and 225 bars) and at 4 different torques (2,5-5-7,5 and 10 Nm) of the mixture of diesel fuel and cottonseed oil biodiesel, the values of engine pressure, heat release, exhaust emissions, fuel consumption, noise and vibration have been measured. No significant changes have been observed at the measurements of two injecting pressures during the experiments. In general a reduction has been observed at O₂ emissions depending on the torques and an increase at other emissions. The lowest values have been achieved on the pressure, heat dissipation, noise and vibration values at 2,5 and 10 Nm and highest values have been achieved at 5 and 7,5 Nm. Furthermore, the worst values for the B50 fuel have been achieved at 10 Nm torque value in all experiments.

Keywords: Cottonseed oil, Biodiesel, Diesel engine, Vibration, Noise, Emission.

1. GİRİŞ

Dünyada teknolojinin hızlı gelişimi birincil enerji kaynaklarının kullanımını artırmıştır. Diğer taraftan artan insan ve araç sayısı da birincil enerji kaynaklarından olan fosil yakıtlarını hızla tükenmesi gibi bir tehlikeyi beraberinde getirmiştir. Gelişme sürecinin önünde duran bu ve bunun gibi problemlerin çözümü için çevreci ve yenilenebilen enerji kaynaklarının kullanımı gündeme gelmiştir. Yenilenebilen enerji kaynaklarının ülkemize en büyük getirisi yerli kaynaklardan desteklendiğinden enerjide dışa bağımlılığı azaltarak istihdamın artışı sağlamasıdır.

Fosil yakıtlar yapısı gereği kimyasal yanma sonucu karbonmonoksit açığa çıkardığından dolayı, telafisi mümkün olmayan ve göz ardı edilemeyecek büyüklükte çevre sorunlarına neden olmaktadır. Oksijenin azalmasına neden olduğu gibi küresel ısınmaya, asit yağmurlarına ve ozon tabakasının hasar görmesine neden olur. Fosil yakıtların etrafa yaymış olduğu gaz ve parçacıkları hava kirliliğine neden olarak oksijen miktarını düşürür. Bu da insanların solunum sisteminde bozulmalara neden olarak sağlığın bozulmasına neden olmaktadır [1]. Bu açıdan bakıldığında yenilenebilen enerji kaynakları, karbonmonoksit emisyonlarını azaltarak çevrenin korunmasına yardımcı olmaktadır.

Şu an için çoğunlukla kullanılan petrol, kömür ve doğalgaz gibi yakıtlar yenilenebilir özellikte olmayan yakıtlardır. Dünyada bilinen ve kullanımına göre her geçen gün tükenen rezerv miktarları vardır. Doğalgazın %14, kömür %68 ve petrolün ise %18'lik oranlarda kullanım ömrü kalmıştır [2]. Bu tip yakıtlar dünyada birikmiş halde bulunur ve her geçen gün hızla tükenmektedir. Yüzdelik oranlardan yola çıkarak doğada bulunan fosil yakıtlar düşünüldüğünde kullanıma göre petrolün 41, doğalgazın 62 ve kömürün 218 yıl içerisinde tükeneceği hesaplanmıştır [2]. Ayrıca, fosil kökenli enerji kaynaklarında yenilenebilir kaynaklara yönelik çalışmalar yapılmadığı takdirde telafisi mümkün olmayan çevresel sorunlar ortaya çıkacaktır. Küresel çapta enerji açığı oluşacak ve 2030 yılında fosil yakıtlar enerji ihtiyacının yarısını karşılayabilir duruma gelecektir [3].

Yenilenebilir bir yakıt olan biyodizel; soya, kolza, ayçiçeği yağı ve pamuk yağı gibi

bitkisel esaslı yaşlardan üretilebilmektedir. Biyodizel yakıtlar biyolojik açıdan çabuk bozulabilen, toksit içermeyen, çevreyle barışık yakıtlardır. Kullanımı için motorda fazla bir değişiklik gerektirmezler. Motor gücü ve performansında çok az düşüş olurken, karbondioksit yanma sonucunda artmaktadır. Besin zincirini etkilemediğinden dolayı, emisyonlar azalmaktadır. Bu nedenle biyodizel kullanımı giderek artmaktadır.

Bu çalışmada biyodizel içerikli yakıt karışımlarının ve enjektör basıncının motor gürültüsü ve titreşimine olan etkileri motor yüküne bağlı olarak incelenmiştir. Dizel motorlar sıkıştırma ile ateşlemeli olduğundan ve yakıt özelliklerinden dolayı titreşimi ve gürültüsü benzinli araçlara göre oldukça yüksektir. Motor titreşimi ve gürültüsü ne kadar büyükse motorun performansını ve ömrünü, yolcuların konforunu o kadar büyük ölçüde olumsuz etkiler. Dizel motorlarda kullanılan motorinin yakıt özellikleri, kimyasal yapıları bu tür titreşimlerin artmasına sebep olmaktadır. Farklı karakteristik özelliklere sahip yakıtların tutuşma gecikmeleri, basınç artış hızının oluşturduğu mekanik gürültülere sebep olan bir diğer unsur ise enjektör basıncıdır.

Çalışmada ortak amaç pamuk yağı metil esteri ile en uygun biyodizel-dizel yakıt karışım oranlarını ve en iyi çalışma koşullarını tespit etmektir. Çalışma yapılırken biyodizelin kullanılacağı motorlarda önemli bir değişiklik yapılmaksızın tüm deneyler aynı şartlar altında yapılmıştır.

2. AMAÇ VE KAPSAM

Literatürde alternatif yakıtların motor performansına ve egzoz emisyonlarına olan etkilerinin incelendiği çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Dr. Rudolf Diesel'in mineral ve nebati yağlardan ürettiği yakıtlar günümüzde bilinen ilk biyoyakıt çalışmalarıdır. Rudolf Diesel, yerfıstığı yağı ile dizel motoru çalıştırmış ve bu motoru Paris'teki dünya sergisinde tanıtmıştır. Bu buluşuyla da dizel motorların nebati yağlarla çalışabileceğini kanıtlamıştır [4].

Keskin'in 2018 yılında yaptığı çalışmasında, pamuk yağı biyodizel içerikli yakıtların motor performansı, yanma karakteristiğine ve emisyonlara olan etkilerini incelemiştir. Deneyler dizel yakıtı ile %10, %20 ve %50 oranlarında karıştırılan pamuk yağı biyodizeli yakıtlar ile yapılmıştır. Deneyler için tek silindirli, hava soğutmalı, direk püskürtmeli bir dizel motor kullanılmıştır. Motor elektrik dinamometresi ile yüklenmiştir. Sonuç olarak biyodizel içerikli yakıtların motorun tork değerlerini az miktarda düşürdüğü ve özgül yakıt tüketimi artırdığı belirtilmiştir. Emisyon değerlerine bakıldığında CO, HC ve is emisyonları azalmıştır. NO_x emisyonları yükselmiştir. Pamuk yağı biyodizelinin setan sayısının düşük olmasından dolayı tutuşma gecikmesini artırdığı, ısı salım oranını da dizel yakıtlara göre önemli ölçüde artırdığı ve yanma süresini ise kısalttığı belirtilmiştir. Maksimum yanma basınçlarında kayda değer bir değişiklik olmadığı belirtilmiştir [5].

Çalık'ın 2017 yılında yaptığı çalışmasında, pamuk yağı metil esterinden üretilen biyodizel yakıtının motor gürültüsünü 1500 devirden sonra düşürdüğü belirtilmiştir. Biyodizelin setan sayısının ve alt ısı değerinin dizel yakıtı göre daha düşük olması, alevlenme noktasını ve kinematik viskoziteyi artırdığı belirtilmiştir. Bundan dolayı ses seviyesinin dB(A) cinsinden arttığı, ancak dB(C) ve dB(Z) cinsine göre ise 1500 dev/dak'dan sonra azalttığı belirtilmiştir. Aynı zamanda yakıt olarak biyodizel kullanılan test motorunda tüm yüklerde gürültü seviyesinin azalmaya devam ettiği belirtilmiştir [6].

Koyun'un 2009 yılında yapmış olduğu çalışmasında, pamuk yağı metil esterinin yakıt olarak bir dizel taşıtında kullanımının egzoz emisyonlarına etkisini araştırmıştır. Bu

çalışmada yeni nesil yakıt enjeksiyon sistemine sahip bir dizel taşıtında alternatif olarak ham pamuk yağı ve pamuk yağı metil esteri kullanılarak egzoz emisyonları üzerinde etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Pamuk yağı metil esteri ile dizel yakıtı yüzde 2, 5, 10, 20 ve 100 olmak üzere farklı oranlarda karıştırılmış ve egzoz emisyonlarının (CO, HC, CO₂, NO_x ve partikül madde) değişimi araştırılmıştır. Çalışmanın sonucuna göre CO emisyonları dizel motora göre %33,33 oranında artmış, CO₂ emisyonları %21,6 oranında azalmıştır. Biyodizelin ısı değeri düşük olması, viskozite ve yoğunluğunun yüksek olması HC emisyonların %30,78 oranında artmasına sebep olmuştur. Bu durumun yüksek biyodizel içeren biyodizel-dizel yakıtı karışımlarının daha az verimli yanmasından kaynaklanmaktadır. Bundan dolayı NO_x emisyon oranı dizel yakıtı oranla %40 azalmıştır. Pamuk yağının ısı değeri düşük olması, yoğunluğunun ve viskozitesinin yüksek olmasından dolayı elde edilen yakıt tüketimi sonuçlarını 2.nci viteste(%41,75), 3.ncü viteste(%60,73), 4.ncü viteste(%68,68) oranında arttığı belirtilmiştir [7].

Çelik ve Solmaz'ın 2015 yılında yapmış oldukları çalışmalarında, pamuk yağı metil esterine n-heptan katkısının motor performansına ve yanma karakteristiklerine olan etkilerini incelemişlerdir. Deneyler için rafine edilmiş pamuk yağından transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel yakıt üretmişler ve bu ürettikleri biyodizele belirli oranlarda n-heptan katarak deney yakıtlarını elde etmişlerdir. Deneyler sabit devirde ve tam yük altında yapılmıştır. Pamuk yağı metil esteri yakıtı içine n-heptan katkısı katıldığında, yakıt atomizasyonunun iyileşerek yanma veriminin arttığını bildirmişlerdir. İçerisinde %8 n-heptan karışımı bulunduran pamuk yağı biyodizeli için maksimum güç artışı %7,52 olmuştur [8].

Bayındırlı'nın 2012'de yapmış olduğu çalışmasında, pamuk yağı metil esteri karışımlarının motor emisyonlarına etkisi incelenmiştir. Deney çalışmalarının sonucuna göre biyoyakıt kullanımının düşük ve orta devirlerde CO₂ emisyonlarını ortalama %16,03, NO_x emisyonlarını da ortalama %35,42 ve HC, CO emisyonlarını ise ortalama %13,33 düşürdüğü bildirilmiştir. Yüksek devirlerde ise bu avantaj daha çok dezavantaja dönüştüğü ifade edilmiştir [9].

Şimşek ve Çolak'ın 2018 yılında yapmış oldukları çalışmada, biyodizel ve propanol yakıt karışımlarının dizel motor emisyonlarına olan etkisini incelemişlerdir. Deneyler için tek silindirli ve hava soğutmalı bir dizel motor kullanmışlardır. Deneylerde kullanılacak yakıtı oluşturmak için biyodizel içerisine (%10, %20) propanol alkol ilave

edilmiştir. Propanol alkol ilavesinin referans yakıtı olan biyodizele göre motor performansını iyileştirdiği belirtilmiştir. CO₂, NO_x ve is emisyonlarında azalma olduğu ancak HC emisyonlarında ise artış olduğu bildirilmiştir. Sonuç olarak; biyodizel içerisinde propanol alkolü takviyesi yapıldığında biyodizelin bazı olumsuz özelliklerinin ortadan kalktığı bildirilmiştir [10].

Sezer'in 2016 yılında yapmış olduğu çalışmada, standart dizel yakıtı, soya yağı metil esteri (SYME) ve bu iki yakıtın belirli oranlarda karışımını ile elde edilen deney yakıtları oluşturulmuştur. Bu yakıtların püskürtme ve yanma karakteristiklerine, performansa ve egzoz emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Deneyler için direk püskürtmeli bir dizel motor kullanılmıştır. Dizel motordan verileri okumak için internet üzerinde çalışan Diesel-RK isimli program seçilmiştir. Sistem yardımıyla dizel(D), biyodizel(BD) ve dizel-biyodizel (D-BD) karışımı için elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre ise biyodizel yakıtın dizel yakıtına yakın değerler verdiği bildirilmiştir. Bununla birlikte biyodizel yakıtının motor performansı ve partikül madde miktarında azalmaya neden olduğu, NO_x emisyonunda ve yakıt tüketiminde artışa neden olduğu bildirilmiştir. Genelde püskürtme, yanma, performans ve emisyon değerleri bakımından, dizel-biyodizel yakıt karışımları ile, karışım oranlarına bağlı olarak standart dizel ve saf biyodizel yakıtı arasında değerlerin elde edildiği belirtilmiştir [11].

Ayhan ve arkadaşlarının 2018 yılında yaptıkları çalışmada, ayçiçeği biyodizel karışımlarının direk enjeksiyonlu bir dizel motorun performansı ve emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. Deneyler dizel yakıtı ile birlikte farklı ağırlıklarda karıştırılan dizel-biyodizel yakıtları ile yapılmıştır. Deneylerde kullanılacak yakıtlar için biyodizel oranları %10, %20 ve %50 olarak belirlenmiş ve bu yakıtlar B10, B20 ve B50 olarak isimlendirmiştir. Tüm deneyler tam yük altında farklı motor devirlerinde yapılmıştır. B10 ve B20 yakıtlarının motor efektif gücü ve torkunu artırdığı bildirilmiştir. B50 yakıtının ise güç ve torku düşürdüğü beyan edilmiştir. B20 yakıtı ile HC, CO emisyonları ve is oluşumunda kayda değer bir düşüş olmadığı, NO emisyonunda ise artış olduğu bildirilmiştir [12].

3. DİZEL(MOTORİN) YAKITLARIN YAPISI VE ÖZELLİKLERİ

Dizel motorlarda kullanılan motorin ham petrolün 200-380 °C arasında damıtılmasıyla elde edilir [13]. Dizel yakıtların yanmaya başlayabilmesi için setan sayısının en düşük 40 olması gerekir. Günümüzde aktif olarak kullanılan 3 çeşit motorin çeşidi vardır [14];

Nu.1-D, petrolün damıtılması ile elde edilen ve değişik hızlarda çalışan dizel motorlarında kullanılan dizel yakıtıdır.

Nu.2-D, petrolün damıtılması ve kraking ürünlerinden elde edilir. Nu.1-D'ye göre buharlaşması daha düşüktür ve daha düşük hızlı ağır hizmet ve endüstri motorlarında kullanılır.

Nu.3-D, damıtma, kraking ve bazı atıklardan oluşur. Düşük veya orta hızlı dizel motorlarında kullanılır.

Şekil 3.1'de Nu.1-D, Nu.2-D, Nu.3-D dizel yakıtlarının görüntüleri verilmiştir. Çizelge 3.1'de ise Nu.1-D, Nu.2-D, Nu.3-D yakıtlarının özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.1. Farklı Özellikteki dizel yakıtlarının görüntüsü, Nu.1-D, Nu.2-D, Nu.3-D [15].

Çizelge 3.1. Farklı özellikteki (Nu.1-D, Nu.2-D, Nu.3-D) yakıtların özellikleri [15].

Özellik	Nu.1-D	Nu.2-D	Nu.3-D
Setan sayısı minimum	40	40	40
Parlama noktası °F	100	125	130
Viskozite S(saybolt) 100°F'da	30-34	33-45	45-125
Kül (% kütleli oran)	0,01	0,02	0,10
Kükürt (% kütleli oran)	0,50	1,0	2,0

Yüksek devirli dizel motorlar binek otomobillerde, orta devirli dizel motorlar yük taşıtlarında ve düşük devirli dizel motorlar ise ağır iş makinelerinde kullanılmaktadır. Değişik amaçlarla kullanılan motorinin çeşitli özellikleri vardır. Dizel yakıtların sahip olması gereken bazı özellikler aşağıda verilmiştir.

3.1. DİZEL(MOTORİN) YAKITI ÖZELLİKLERİ

3.1.1. Vuruntu Dayanımı

Dizel motorlar yanma havanın sıkışması ile gerçekleştiğinden dolayı, öncelikle silindire alınan hava yüksek basınçta sıkıştırılır. Sıkışan havanın sıcaklığı yükselir. Basınçlı havanın üzerine püskürtülen yakıtın tutuşma gecikmesi süresinin uygun aralıkta olması istenir. Eğer yakıt geç tutuşursa silindir içi sıcaklığın ve basıncın düzensizleşmesine neden olur [16]. Tutuşma gecikmesi(TG) dizel yakıtın setan sayısı ile alakalıdır. Setan sayısı ne kadar yüksek ise yakıt o kadar çabuk tutuşmaktadır. Optimum değerde yanmanın gerçekleşmesi için motorinin setan sayısı 40 ile 70 arasında olmalıdır. Dizel indeksi(Dİ) ise setan sayısının belirlenmesi ile ilgilidir. Çizelge 3.2’de setan sayısı ile dizel indeksi ilişkisi gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Dizel indeksi ve setan sayısı arasındaki ilişki [17].

Dizel İndeksi	Setan Sayısı	Dizel İndeksi	Setan Sayısı
0	18	55	53
5	20	60	56
10	24	65	59
15	28	70	62
20	30	80	65
25	34	85	68
30	37	90	71
35	40	95	75
40	43	100	78
45	46		
50	50		

3.1.2. Buharlaşma

Motorlar için ilk çalıştırma esnasında çalıştırmayı kolaylaştırması açısından buharlaşma özelliği dizel yakıtlar açısından olumlu görülmektedir. Ancak motor uygun çalışma sıcaklığına geldiğinde buharlaşma tutuşma özelliğini kötüleştirdiğinden bu özelliğin belli bir değerde sınırlandırılmasının gerekmektedir [18].

3.1.3. Viskozite

Akışkan özellikte olan motorinin akmaya karşı gösterdiği direnci viskozite olarak adlandırılan özellik ile ölçülmektedir. Viskozitesi yüksek yakıt pompalama işini zorlaştırdığı gibi püskürtme sonrası taneciklerin küçülmesini engellediği için tutuşma aralığını çok geciktirmektedir. Düşük viskozite yakıt sisteminde sızdırmazlık sorununa ve motor parçalarının daha hızlı aşınmasına sebep olur [18].

3.1.4. Korozyon

Motorinin yapısında bulunan kükürt miktarı, yanma sonucunda korozyon etkisine sahip asitler oluşturduğundan olabildiğince düşük miktarda olmalıdır. Yakıtta bulunan korozyon etkisi istenilen seviyeden fazla olduğunda, motorun hareketli parçalarında aşınmalara neden olabilmektedir [19].

3.1.5. İis Miktarı

Motorin yandığında benzine göre çok daha fazla is ve kl bırakabilmektedir. İis ve kül miktarını en aza indirebilmek için yanmanın optimum seviyede olması gerekmektedir. Yani yanmadan atılan yakıtın en aza indirilmesi ve veriminin yüksek olması gerekmektedir. Bunun için setan sayısı en yüksek 70, en düşük 40 civarında olmalıdır. Bu değerlerin altında ya da üstünde setan sayısına sahip yakıt, motorda yanmayı kötüleştirerek kl ve is miktarının artmasına sebep olmaktadır.

3.1.6. Çinkoya Karşı Aktivite

Motorinin saklanması için kullanılan depoların çinko yapısından dolayı motorinin çinko aktivitesinin olabildiğince düşük olması gerekmektedir. Çünkü motorin yapısal özellikleri gereği çinko ile birleşik oluşturur [18].

3.1.7. Akma Noktası

Akma noktası motorin için maksimum -18 derecedir. Bu sıcaklık yakıtın motor çalışırken donmadan ve akma kabiliyetini kaybetmeden kullanılmasını sağlar. Bunun için motorin özelliklerinden akma noktası değerı uygun aralıklarda olmalıdır [18].

3.1.8. Alevlenme Noktası

Benzinin alevlenme noktası dizel yakıtına göre çok daha düşüktür. Normal şartlarda dizel yakıtının tutuşması benzine göre çok daha hızlı olmalıdır. Fakat dizel yakıtının buharlaşma kabiliyeti benzine göre daha düşük olduğundan tutuşması benzine göre daha düşük olur. Benzinin tutuşması için küçük bir kıvılcım yeterliyken, motorinin tutuşması için yanmanın gerçekleşeceği ortamın yüzey sıcaklığının yüksek olması gerekir [18].

3.1.9. Motorine Katılan Katıklar

Motorinin yakıt olarak kullanılabilmesi için belirli şartları yerine getirmesi gerekmektedir. Bu şartları sağlaması için motorin içerisine katılacak katkı maddeleri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır [18];

- Motorun yakıt sistemi içerisinde bulunan hassas elemanların temizlenmesi için temizleyici katkılar,
- Korozyonu azaltmak için yakıt içerisindeki suyu azaltan katkı maddeleri,
- Setan sayısını artıran katkı maddeleri,

- Soğuk havalarda yakıtın donmasını engellemek için katılan katkı maddeleri,
- Yakıt sisteminde bulunan enjektör ve yakıt pompasını temizleyici katkı maddeleri olarak sıralanabilir.

3.1.10. Tutuşabilirlik ve Setan Sayısı

Dizel motorların gürültü, titreşim ve vuruntu özellikleri yakıtın tutuşma kabiliyetine bağlıdır. Tutuşma kabiliyetinin yüksek olması da dizel yakıtın setan sayısının yüksek olmasına bağlıdır. Yakıtın kalitesi de setan sayısına bağlıdır.

Dizel motorlardaki tutuşma gecikmesi süresi uzar ise silindir içerisine yanma öncesi olması gerekenden daha fazla yakıt alınır. Yanma odasında biriken yakıt, yanma anında ani bir şekilde tutuşarak vuruntu miktarını ve gürültüyü artırır. Bundan dolayı tutuşma gecikmesinin normalden yüksek olması dizel motorlar için sağlıklı bir durum değildir. Setan sayısı yüksek olan yakıtın tutuşma gecikmesinde kısalmır. Motorin içerisinde bulunan setan($C_{16}H_{34}$) tutuşma kabiliyeti 100 olarak kabul edilir. Alfametilnaften($C_{10}H_7CH_3$) tutuşma kabiliyeti ise 0 kabul edilir. Bu iki maddenin birleşim oranı yakıtın setan sayısını vermektedir. Örneğin; %55 setan, %45 alfametilnaften karışımının setan sayısı 55'tir [20]. Dizel motorlarda setan sayısının ne çok yüksek, ne de çok düşük olması istenir. Optimum değerde olması motorun sağlıklı çalışması açısından çok önemlidir. Setan sayısını 70'in üzerinde olursa yanma olabildiğince kötüleşmeye başlar ve yanmayan yakıt partiküllerinden dolayı is miktarı artar. Setan sayısı 40'ın altında olduğunda TG süresi normalden çok daha fazla uzar ve yanma odasında biriken yakıtın aniden yanmasından dolayı motor vuruntulu ve gürültülü çalışır. Bundan dolayı setan sayısının 40 ile 70 arasında olmalıdır.

4. BİYODİZEL YAKITIN YAPISI VE ÖZELLİKLERİ

Biyodizel, yağların baz ve alkol ile reaksiyona girmesi ile üretilir. Bitkisel yağlar gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağlar veya hayvansal yağlar, bir katalizör eşliğinde metanol veya etanol ile reaksiyona girmesi sonucu biyodizel yakıtı dönüşür ve yakıt olarak kullanılabilir.

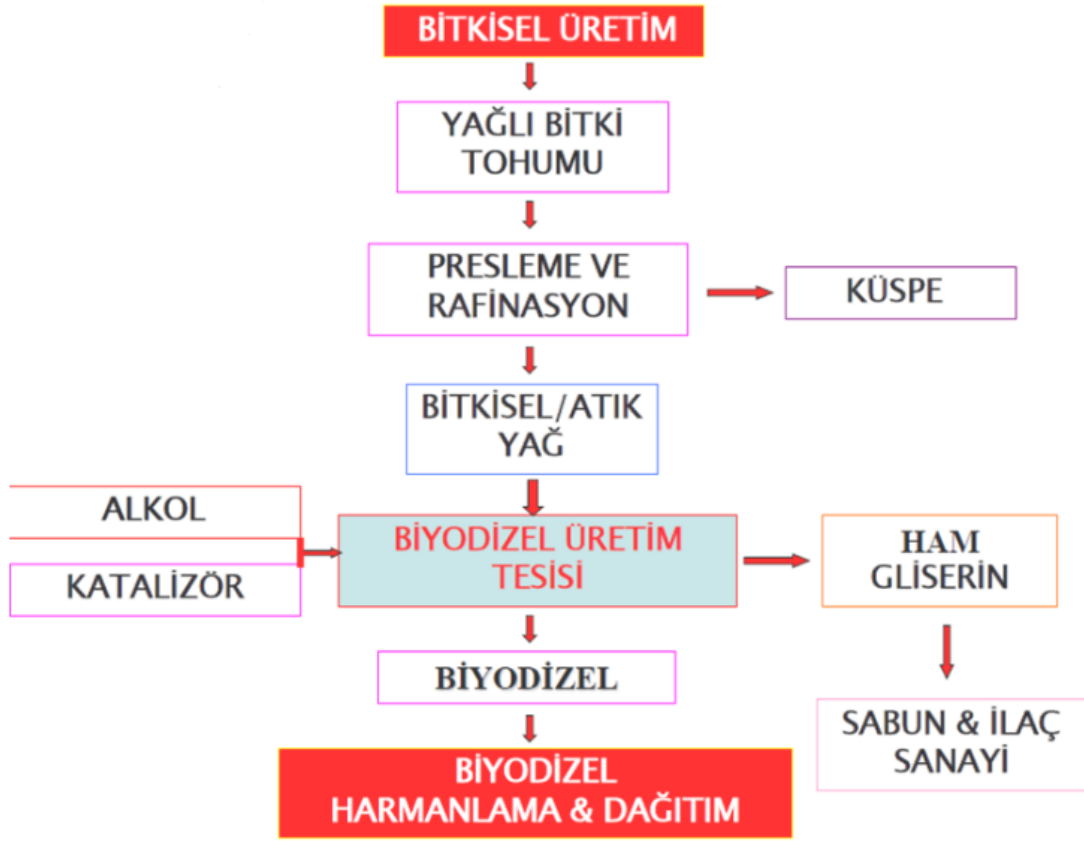
Biyodizel üretiminde asıl mesele bitkisel yağdan gliserini ayırmaktır. Bu işlemin birçok yolu olduğu gibi en çok kullanılanı transesterifikasyon denilen kimyasal süreçtir. Transesterifikasyon denilen kimyasal süreç sonrasında iki ürün açığa çıkar. İlki kimyasal adı metil ester dediğimiz biyodizeldir. Diğeri ise sabun yapımı ve diğer temizlik malzemelerinde kullanılan gliserindir.

Biyodizel sadece bitkisel yağlardan üretilmektedir. Bu yüzden içerisinde fosil yakıt ve petrol yoktur. Ancak biyodizelin kendisi yakıt olarak kullanılabileceği gibi değişik oranlarda eurodizel ile karıştırılarak yakıt olarak kullanılabilir [21]. Şekil 4.1’de biyodizel üretim aşamalarının döngüsü ve Şekil 4.2’de ise transesterifikasyon işlemi verilmiştir.

Biyodizel sadece yağlardan üretilmektedir. Bu yüzden içerisinde fosil yakıt, petrol yoktur. Ancak biyodizelin kendisi yakıt olarak kullanılabileceği gibi değişik oranlarda petrol ile karıştırılarak yakıt olarak kullanılabilir [21].



Şekil 4.1. Biyodizel yenilenebilir enerji döngüsü [22].



Şekil 4.2. Temel transesterifikasyon işlemi[23].

1900'lü yılların başında Rudolf Diesel, dizel motorunu fıstık yağı ile çalıştırmıştır. Rudolf Diesel, dizel motorların bitkisel yağlarla çalıştığında ülkelerin tarımını da geliştirmeye yardımcı olacağını belirtmiştir. 1908 yılından sonra Henry Ford otomobil tasarlarken yakıtlarının biyodizel kullanımına uygun olması gerektiğini düşünmüştür. 2.nci dünya savaşı sırasında Nazi Almanya'sı ve müttefikleri araçlarına yakıt olarak biyodizel kullanmışlardır [24]. Şu anda fosil yakıtların tükenme tehdidi, çevre kirliliğinin artması ve geçmişte biyodizel üzerine yapılmış çalışmalardan dolayı günümüzde de biyodizel üzerine çalışmalara hız kazandırılmıştır.

Biyodizel üretimi genellikle yağlı tohumlu bitkilerden üretilmektedir. Bitkisel yağ ve atıkların kullanılabilir hale gelmesiyle tarımsal alandaki bitkisel yağların üretiminde artırılması gerekmektedir. Bu alanda yeterli bitkisel üretimin, talepleri karşılaması gerekmektedir. Çizelge 4.1'de Türkiye'de biyodizel için yerli tarım ürünlerinin arz ve talep değerleri verilmiştir. Çizelge 4.2'te ise, Türkiye'de yağ bitkileri ekim alanları, üretim verimi ve üretilebilecek biyodizel verilmiştir.

Çizelge 4.1. Türkiye'de biyodizel için yerli tarım ürünleri arz ve talep değerleri [25].

Üretim	Miktar(Ton)
Toplam yurtiçi üretim(A)	497,1
Toplam talep(B)	1293,1
Açık(B-A)	796
Toplam ithalat	798.6

Çizelgeye bakıldığında ülkemizde tarımsal bitkilerin üretimi gıda yağlarına yönelik yapılmaktadır. Restoranlarda, bitkisel yağ kullanılan işletmelerde ve evlerde kullanılan yağlar 300 bin tonun üstünde atık kızartma yağlarına dönüşmektedir.

Çizelge 4.2. Türkiye'de yağ bitkileri ekim alanları [26].

Yağ bitkisi adı	Ekilen alan, (Dekar)	Üretim (Ton)	Biyodizel verimi m ³ (biyodizel/dekar)	Üretilebilecek ortalama biyodizel miktarı (m ³)
Kanola	9.044.926	3.480.629	0.150 - 0.250	1.808.985
Soya	381.804	165.000	0.052 - 0.069	23.099
Ayçiçeği	6.167.800	1.500.000	0.040 - 0.050	277.551
Aspir	395.710	58.000	0.025 - 0.035	11.871
Yerfıstığı	422.444	164.186	0.020 - 0.030	10.561
Türkiye (Toplam)	16.412.684	21.780.499		2.132.067

Bitkisel atık yağlarda hammadde maliyeti rafineri yağlara göre çok daha düşüktür. Çünkü bitkisel atık yağlarda katı partiküller ve serbest yağ atıkları ön işleminden geçirilmektedir.

4.1. BİYODİZEL YAKITI STANDARTLARI

Uygun şartlar oluştuğunda biyodizel tek başına yakıt olarak kullanılabilirken, eurodizel yakıtıyla belli oranlarda karıştırılarak da kullanılabilir. Bu yakıtlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- B5 : % 5 Biyodizel + %95 Dizel
- B20 : % 20 Biyodizel + %80 Dizel
- B50 : % 50 Biyodizel + %50 Dizel
- B100 : % 100 Biyodizel

4.1.1. Biyobozunabilirlik

Biyodizelin kullanım amaçlarından biride çevreci bir yakıt olmasıdır. Çünkü biyodizel doğaya bırakılmasından 28 gün sonra %95'i çözünür ve doğada kaybolur. Bu oran motorin için ise %40'ta kalmaktadır. Yani biyodizel dizel yakıtına göre oldukça çevreci bir yakıttır. Bunun sebebi olarak biyodizel yapısını oluşturan C₁₆-C₁₈ metil esterinin doğada kolay ve hızlı bir şekilde parçalanarak kaybolması gösterilebilir. Litrede 10,000 mg'a kadar herhangi bir olumsuz mikrobiyolojik etki göstermezler [27].

4.1.2. Toksik Etki

Toksik madde açısından bakıldığında biyodizelin öldürücü etkisi oldukça azdır. İnsan vücuduna 1,75 g toksik/kg ağırlığında alındığında insan vücuduna olumsuz etki etmektedir. Biyodizel için ise bu değer 17,4 g biyodizel/kg'dır. Karşılaştırıldığında sofratuzu biyodizel için 10 kat daha fazla öldürücü etkiye sahiptir. Biyodizel toksik madde olmamasına karşın motorin için zorunlu olan standart koşulların (göz koruyucular, havalandırma sistemi vb.) kullanılması önerilmektedir [27].

4.1.3. Depolama

Biyodizel yakıtların gündeme geldiği günümüzde depolama için ekstra maliyetlere gerek yoktur. Biyodizel yakıtların depolanması motorin için geçerli olan depolama yöntemleriyle aynıdır. Temiz, kuru ve karanlık bir ortamda depolanmalı, aşırı sıcaktan kaçınılmalıdır. Ancak farklı olarak biyodizelin depolanması, taşıma ve motor malzemelerinde bazı elastomerlerin, doğal ve butik kauçukların kullanımından kaçınılmalıdır, çünkü biyodizel yakıt bitkisel kökenli olduğundan bu malzemeleri zamanla parçalama eğilimi de olacaktır. Bunun yerine biyodizel için Viton B tipi elastomerik malzemenin kullanımı önerilmektedir [28].

4.1.4. Soğukta Akış Özellikleri

Biyoyakıtlar soğuk şartlarda kullanımda sorun çıkarabilir. Çünkü motorine göre daha yüksek akma ve bulutlanma noktalarına sahiptir. Motorun verimini düşürdükleri gibi soğuk şartlarda kullanımlarda önemli problemler çıkarabilmektedir. Biyodizel yakıtının bu olumsuz özelliğini olumlu yönde değiştirmek için akma ve bulutlanma noktalarına ulaşması için uygun katkı maddeleri (anti-jel) kullanılabilir. Soğukta akış özelliğini olumlu yönde etkilemek için biyodizel-dizel karışımı 4°C'de harmanlama ile hazırlanmalıdır. Bu sıcaklığın altında harmanlanacaksa biyodizel yakıtını motorin

üzerine eklenerek, sıcakta harmanlanacaksa karışımda yüksek oranı olan yakıt düşük oranda karışacak yakıtını üzerine eklenmelidir. Eğer harmanlama anında yapılan hatalardan kaynaklı kristal yapılar oluşursa, yakıtın bulutlanma noktası üzerine ısıtılması ve karıştırılması yoluyla yakıtı normal görünüm kazandırılabilir [29].

4.1.5. Motor Yakıtı Olarak Biyodizel

Biyodizel yakıtlarının ısı değeri motorinin ısı değerine oldukça yakındır. Ancak biyodizelin setan sayısı motorine göre düşüktür. Biyodizelde optimum yakıt değerleri yakalanırken daha yüksek tork değeri elde edilebilir. Buna karşı motorda vuruntular oldukça azdır. Bunun nedeni biyodizel yakıtın motorda yanma sonucu oluşan kalıntıları temizlemesi ve motoru motorine göre daha fazla yağlamasıdır. Son olarak biyodizel bu kadar faydasının yanında çevreci bir yakıt olmasıyla tanınır [30].

4.2. BİYODİZEL YAKITI ÖZELLİKLERİ

Günümüzde bitkisel yağların dizel motorlarda yakıt olarak kullanılabilmesi için viskozite, setan sayısı, ısı değeri, yoğunluğu gibi bazı özelliklere sahip olması ve biyodizel üretiminde bu özelliklerin kullanılması gerekmektedir.

4.2.1. Viskozite

Viskozite dizel motorlarda yakıt sisteminin en iyi şekilde çalışmasında. Tutuşma gecikmesinde yakıtın yanmasında ve ısı veriminde rol oynar. Bitkisel yağların viskozitesi motorinden yüksektir. Yukarıda anlattıklarımızdan yola çıkarsak bitkisel yağların ısı verimi düşüktür. Bir diğer sorun ise bitkisel yağların akma ve bulanma noktasının düşük olmasından dolayı yağların soğukta kullanımında sorun çıkarır. Katkı maddeleri sayesinde bitkisel yakıtların bu olumsuz özelliklerini istenilen seviyelere çekilebilmektedir. Akma ve bulanma noktaları istenilen seviyede olmazsa yakıtın donma noktasını düşürerek motorun sağlıklı çalışmasını engeller [29].

4.2.2. Yoğunluk

Bitkisel yağlardan elde edilen yakıtların yoğunluğu dizel motorlarda kullanılan motorine oranla az da olsa yüksektir. Bu nedenle yüksek yoğunluğa sahip biyodizelin yakıt sisteminden geçip motora gelene kadar ki miktarı düşmektedir. Dolayısıyla az gelen yakıt nedeniyle motorun verimi istenilenden daha düşük olmaktadır [29].

4.2.3. Setan Sayısı

Setan sayısı dizel yakıtın kendi kendine tutuşma kabiliyetini gösteren bir ölçüdür. Setan sayısı yüksek olan yakıt kolay tutuşabilir ve hızlı bir şekilde yanabilir. Dizel motorlarda yanma zamanında dizel yakıt basınç hava karışımı ile kendiliğinden yanmaya başlar. Tam olarak söylemek gerekirse piston üst ölü noktada(motorun en verimli olduğu an) iken yanmanın başlaması gerekmektedir. Setan sayısı ise tam olarak bu noktada önem kazanır. Motorda kullanılan setan sayısı ne kadar yüksekse yanma olayı o kadar hızlı gerçekleşir. Yeni nesil dizel yakıtlarda çeşitli karışımlarla dizel yakıtın setan sayısı yükseltilmeye çalışılmaktadır. Çizelge 4.3'te bitkisel yakıtlar ile dizel yakıtının özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4.3. Bazı bitkisel yağların yakıt karakteristikleri [30].

BİTKİSEL YAĞLAR	Viskozite (mm ² /s)	Setan Sayısı	Isıl değeri (kJ/kg)	Dumanlanma nok. (°C)	Alevlenme nok.(°C)	Yoğunluk (kg/l)	Karbon artıkları (%)	Kükürt (%)	Akma nok. (°C)
HİNT YAĞI	297	?	37274		260	0.9537	0.22	0.01	-31.7
MISIR Y.	34.9	37.6	39500	-1.1	277	0.9095	0.24	0.01	-40.0
PAMUK Y.	33.5	41.8	39468	1.7	234	0.9148	0.24	0.01	-15.0
BEZİR Y.	27.2	34.6	39307	1.7	241	0.9236	0.22	0.01	-15.0
YERFISTIĞ I	39.2	41.8	39782	12.8	271	0.9026	0.24	0.01	-6.7
KOLZA Y.	37.0	37.6	39709	-3.9	246	0.9115	0.30	0.01	-31.7
ASPIR Y.	31.3	41.3	39519	18.3	260	0.9144	0.25	0.01	-6.7
SUSAM Y.	35.5	40.2	39349	-3.9	260	0.9133	0.25	0.01	-9.4
SOYA YAĞI	32.6	37.9	39623	-3.9	254	0.9138	0.27	0.01	-12.2
AYÇİÇEK Y	33.9	37.1	39575	7.2	274	0.9161	0.23	0.01	-15.0
2 NOLU DİZEL	2.7	47	45343	-15.0	52	0.8400	0.35'de n az	0.01'de n az	-33.0

4.3. BİYODİZEL ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Bitkisel yağlardan hidrokarbon kökenli yakıt özelliklerinde ve performansında elde etmek için günümüze kadar çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bitkisel yağların dizel araçlarda kullanılan dizel yakıt olarak kullanılması için dizel yakıt üretiminde çeşitli problemlerinin çözülmesi gerekmektedir. Yüksek viskozite, az uçuculukları ve çoklu doymamışlık özellikleri gibi problemler çözülmediğinde trigliseridlerin dizel yakıt olarak kullanılması mümkün değildir. Bu problemlerin çözümü için genel olarak 4 yöntem vardır. Bunlardan en çok kullanılanı transesterifikasyondur ve bizde pamuk yağından biyodizel üretimi için transesterifikasyon yöntemini kullandık. Bu dört yöntem şunlardır [31]:

- Piroliz
- Mikroemülsifikasyon
- Dilüsyon
- Transesterifikasyon

4.3.1. Piroliz

Piroliz, sıcaklığı yüksek ve yüksek seviyedeki molekül yapılarının çeşitli işlemler sonucunda ise daha düşük seviyeli moleküllere dönüştürülmesi işlemidir. Bunu yapmanın iki yöntemi vardır: İlk yöntemde, bitkisel yağlar ısı ile kapalı bir kaptan parçalanır. İkinci yöntem de ise bitkisel yağları damıtma yöntemi ile parçalanmaya maruz bırakılır. Günümüzde kullanılan dizel yakıtlar düşünüldüğünde ikinci yöntemle hazırlanan biyodizel yakıtı dizel yakıtına yakın özelliklere sahiptir [32].

4.3.2. Mikroemülsifikasyon

Mikroemülsiyonlar yağın, suyun, yüzey aktif maddenin ve diğer afilik moleküllerin izotropik, saydam veya yarı şeffaf termodinamik olarak kararlı dağılımıdır. Mikroemülsiyonlarda damla çapı 100 den 1000 Å'ya kadar değişmektedir. Bir mikroemülsiyon; bitki yağından, ester ve seyreltici den veya bir alkol ve yüzey aktif maddeden elde edilebilir. Mikroemülsiyonlar, içerdği alkolün dizel yakıtından daha düşük hacimsel ısı kapasitesine sahiptirler, fakat alkoller yüksek buharlaşma gizli ısısına sahiptir ve yanma odasını soğutma eğilimindedir. Metanolün bitki yağı ile olan emülsiyonu neredeyse dizel yakıtı kadar etki gösterebilir [32].

4.3.3. Dilüsyon

Bitki yağı dilüsyonundan çözen veya etanol gibi maddelerle dizel yakıtları elde edilebilir. Yüksek oleik asitli bir yağ olan ayçiçeği yağının dizel yakıtları ile 1:3 oranında dilüsyonu Ziejewski tarafından motor testleri çalışmalarında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda ise harmanlamanın viskozitesi 40 °C'de 4,88 cSt olarak bulunmuştur [32].

4.3.4. Seyreltme

Bitkisel yağlar biyodizel oluşumu için dizel yakıtı olan motorinle belli oranlarda karıştırılarak seyreltilmektedir. Karıştırılan yağların viskozite değeri düşerek dizel motorlarda kullanılabilecek duruma getirilmektedir. [32].

4.4. BİYODİZELİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

4.4.1. Biyodizelin Avantajları

Biyoyakıtların hammaddesini; yağlı tohumlar, orman ürünleri, karbonhidratlar, elyaf bitkileri, bitkisel artıklar ve atıklar, hayvansal atıklar, endüstriyel kalıntılardır. Bu ve bunun gibi hammaddeleri doğa her 150 milyar ton üretmektedir. Fakat bunun sadece yüzde 10'u ticari olarak kullanılmaktadır. Biyodizelin en büyük avantajı doğada üretilen hammadde kullanılarak enerji ihtiyacının büyük bir bölümünün karşılanmasıdır. Kendi kendine tutuşmaz, toksik özelliği yoktur ve egzoz emisyonları daha azdır. Ayrıca bu hammadde yenilenebilir olduğundan çevreye de zararı oldukça azdır. Biyodizelin avantajları aşağıda maddeler halinde listelendiği gibidir;

- Petrol ithalatının azalmasını sağlar,
- Sürdürülebilir enerjiye destek olur,
- Enerji tarımının gelişmesini sağlar,
- Kırsal kesimin sosyo-ekonomik yapısının iyileşmesini sağlar,
- Yerel iş imkânı yaratır ve imalat sanayinin gelişmesine katkıda bulunur,
- Doğal enerji kaynaklarının ve çevrenin korunmasını sağlar,
- Biyodizel yağlayıcı özelliğinden dolayı motoru korur,
- Yüksek parlama noktası sıcaklığına sahip olduğu için kullanımı, taşınımı ve depolanması güvenli bir yakıt olup, dizelin depolanma koşullarında depolanabilir ve dizele göre daha temiz yanar,
- Biyokütlenin bölgesel ve modern işletilmesi ile özellikle enerji hatlarından uzak bölgelerde, kendi kendine yeterli enerji sağlayan bölgeler yaratmak olanaklıdır, Özellikle de tarım işçiliğine gereksinim doğurduğundan biyokütleden enerji üretimi kırsal kesimde istihdam olanakları da yaratabilecektir [33].

4.4.2. Biyodizelin Dezavantajları

- Biyoyakıtlar diğer yakıt türlerine oranla ısı değeri çok düşüktür. Bu durum dizel motorlarda az da olsa güç düşüklüğüne neden olmaktadır. Bu da biyoyakıtların en büyük dezavantajıdır.

- Biyoyakıtlar üretiminden sonra çok kısa zamanda tüketilmelidir. Yoksa özelliklerinde zamanla olumsuz yönde değişiklikler olabilir. Soğuk hava şartlarında bu değişim daha da hızlanmaktadır. Bundan dolayı depolamak için ekstra donanımlar gerektirmektedir,
- Biyoyakıt malzemelerinden bitkisel yağların yakıt yapımında kullanılması tarımsal ürünlerin hızla tükenmesine neden olabilir. Bu durum mutfakta kullanılan bitkisel yağların tüketiciye ulaşımında fiyat artışına neden olabilir. Bundan dolayı tüketicinin zarar görmemesi için üretimin artırılması gerekmektedir [33].

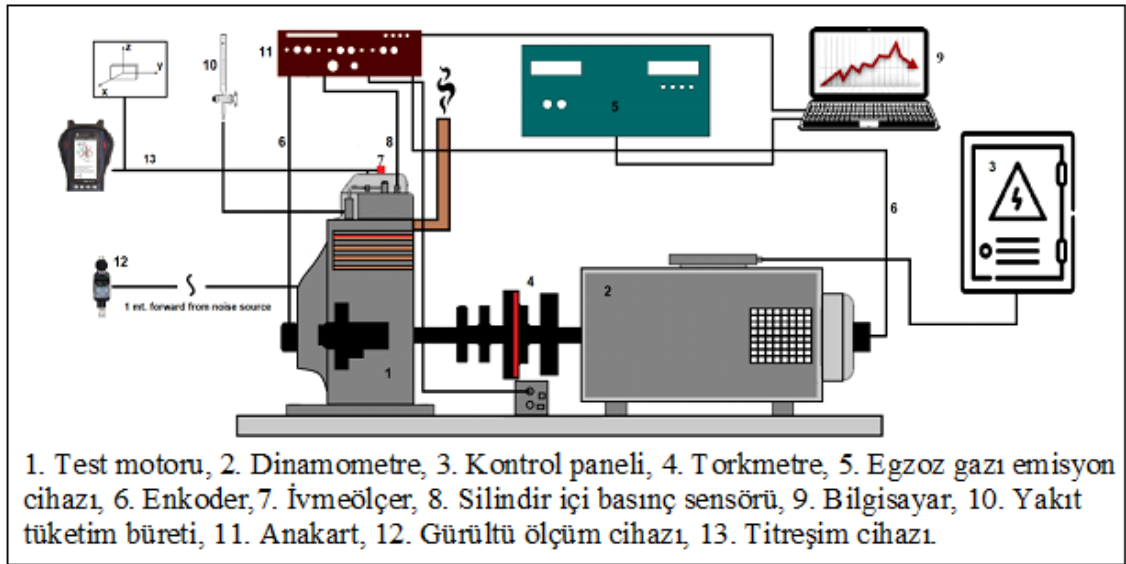


5. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada 210 bar ve 225 enjeksiyon basınçlarında standart eurodizel yakıtı ile hacimsel olarak %10, %20 ve %50 oranlarında karıştırılan pamuk yağı metil esterinin yanma karakteristiğine, egzoz emisyonlarına, motor titreşim ve gürültüsüne olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler sabit motor devrinde 2,5-5-7,5 ve 10 Nm yükler altında yapılmıştır. Deneyler, Düzce Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümü Motor Test laboratuvarında yapılmıştır. Şekil 5.1’de deney düzeneğinin resmi, Şekil 5.2’de deney düzeneğin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 5.1. Deney düzeneğinin resmi.



Şekil 5.2. Deneysel düzeneğin şematik gösterimi.

5.1. MOTOR TEST ÜNİTESİ EKİPMANLARI

5.1.1. Deney Motoru

Deney düzeneğinde Şekil 5.3’de görülen Lombardini marka 15LD350 model tek silindirli bir motor kullanılmıştır. Deney motorunun teknik özellikleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Deney motorun teknik özellikleri [34].

Model	15LD350
Silindir	1
Çap*Strok	82*66 mm
Silindir hacmi	349 cm ³
Sıkıştırma oranı	20,3 : 1
Emisyon normu	EPA TIER II
Maksimum güç/N ISO 1585	5,5/7,5
Maksimum güç/NB ISO 3046	5,1/7,0
Maksimum güç/HA/IBO 3046	407/6,4
Güç (kW)	5,5/7,5@2400
Maksimum tork (Nm)	16,6@2400
Ölçüler(L X W X H)	328,25*373,5*444,5
Kuru ağırlık	33 kg



Şekil 5.3. Deney motoru resmi [34].

5.1.2. Taşıt Dinamometresi

Deneyler için Şekil 5.4’te görülen 5 kW gücünde Kemsan marka Direct Current Motor (DC) dinamometre kullanılmıştır. Dinamometre ile motor 2,5-5-7,5 ve 10 Nm tork değerine yüklenmiştir. Şekil 5.5’te dinamometre kontrol paneli resmi verilmiştir.



Şekil 5.4. Kemsan marka Direct Current Motor (DC) dinamometre.



Şekil 5.5. Dinamometre kontrol paneli.

5.1.3. Egzoz Ölçüm Cihazı ve Kontrol Paneli

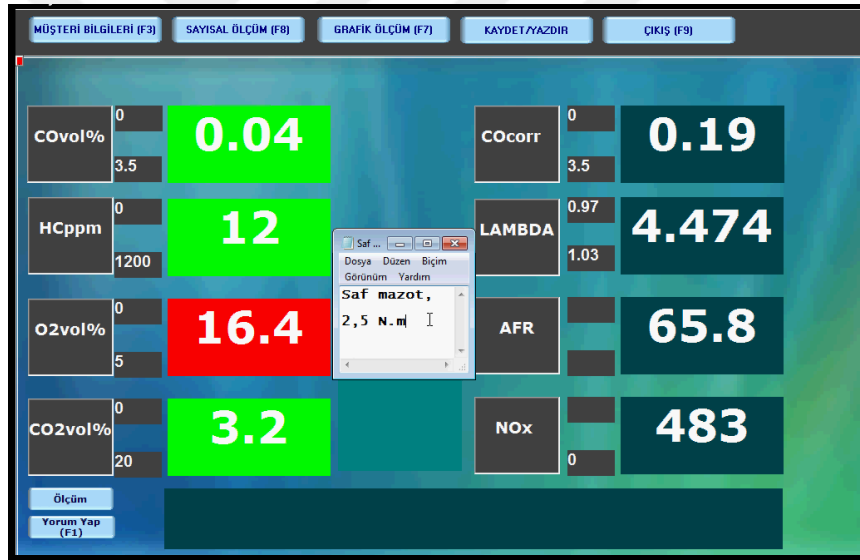
Deneylerde Ktest marka Benzin, LPG(sıkıştırılmış petrol gazı), CNG(sıkıştırılmış doğalgaz) ve Dizel Araçlar İçin, 2004/22 EC, TS ISO 11614, 72/306 AT ve Ulusal Tip Onay Belgeli Egzoz gazı emisyon cihazı kullanılmıştır. Şekil 5.6’da görülen Ktest egzoz emisyon cihazı HC, CO, CO₂, O₂, NO_x, gazlarını ölçebilecek özelliktedir. Cihazın ekran görüntüsü Şekil 5.7’de görülmektedir. Cihazın hassasiyetleri ise Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Ktest marka egzoz emisyon cihazı ölçüm aralıkları [35].

Emisyon gazı	Hassasiyet
HC(ppm)	0-20,000(ppm)
CO(%)	0-15 (%)
CO ₂ (%)	0-20 (%)
O ₂ (%)	0-25 (%)
NO _x (ppm)	0-5000(ppm)
Lambda	0,5-2,0
Opasite(%)	0-100
Opasite K	0-9,99



Şekil 5.6. Ktest egzoz emisyon resmi.



Şekil 5.7. Ktest egzoz emisyon cihazı ekran görüntüsü.

5.2. TİTREŞİM ve GÜRÜLTÜ ÖLÇÜM CİHAZLARI

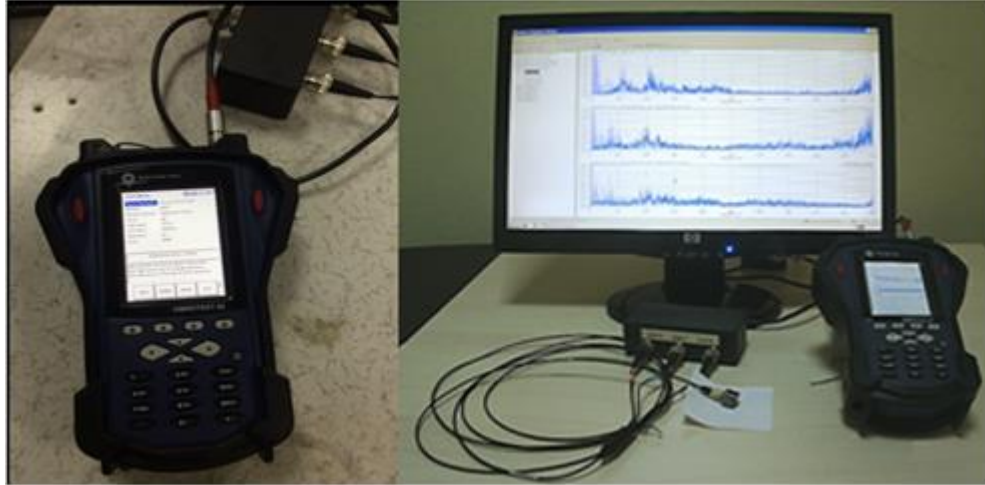
5.2.1. Titreşim Ölçüm Cihazı

Deneyde motorun titreşimini ölçmek için Şekil 5.8’de görülen Vibrotest 80 model FFT analizi yapabilen veri toplama cihazı ile alınmıştır. Cihaz Brüel&Kjaer yazılım ve donanım sistemine sahiptir. Verilerin analizi Hanning filtreleme yöntemi ile 6400 çözünürlükte filtrelenerek elde edilmiştir. Hanning, titreşim verileri için sık olarak

kullanılan bir çerçeveleme yöntemidir. Bu yöntemin kullanılmasındaki gaye, titreşim kayıtlarının herhangi bir anda başlamasından ve bitmesinden dolayı, sinyallerin bileşimini meydana getiren, yarım kalmış veya periyodunu tamamlayamamış frekansların spektrum analizi üzerindeki bozucu etkisini en aza indirmektir. Bu nedenle, titreşim veri gruplarının meydana getirdiği başlangıcındaki ve sonundaki değerler, ortasındaki değerlere göre daha küçük bir katsayı ile çarpılmıştır. Çözümleme işleminde, 6400 spektral (tayf) çizgisi belirlenmiştir. Spektrumun çözünürlüğü, spektrum çizmek için kullanılan çizgilerin sayısını göstermektedir. Yani çözünürlük değerinin artması spektrumlarda tepe değerlerin daha sık olmasını sağlamaktadır.

Deneylerde 5 kHz'e kadar olan titreşim verileri alınmıştır. Titreşim verilerinin toplam genlik ortalaması, ortalama karekök alma (RMS) yöntemi ile belirlenmiştir. Titreşim genlik birimidir (m/s^2). Motor titreşim verileri, üç ekseninde (X, Y, Z) ölçüm yapabilen Şekil 5.9'da görülen Brüel&Kjaer model piezoelektrik ivmeölçerler ile alınmıştır. Titreşim verileri X, Y ve Z eksenlerinde eş zamanlı olarak alınmıştır.

Titreşim verileri bu cihaz sayesinde her yakıt tipi ve farklı tork değerleri için okunarak kayıt altına alınmıştır.



Şekil 5.8. Vibrotest 80 model titreşim ölçüm cihazı.



Şekil 5.9. Üç eksenli (X, Y ve Z) veri alınan ivmeölçerler.

İvme ölçer deney motorunun silindir kapağı üzerine montaj edilmiştir. Deney düzeneğinin şematik görünümünün yer aldığı Şekil 5.9'da ivme ölçerin yatay (X-CH1), eksenel (Y-CH2) ve dikey (Z-CH3) eksenleri görülmektedir.

5.2.2. Gürültü Ölçüm Cihazı ve Dozimetresi

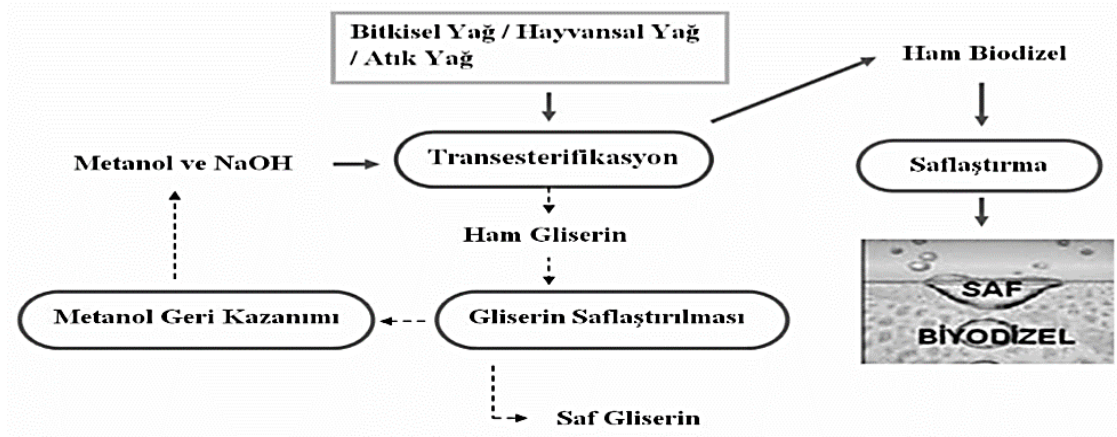
Deneyde motorun gürültüsünü ölçmek için Şekil 5.10'da görülen, Svantek Sv 104 marka gürültü ölçüm cihazı kullanılmıştır. Gürültü değerleri bütün yakıt tipleri ve bütün tork değerlerinde ölçülmüştür. Gürültü ölçümü cihazı, ISO 362-1:2007 standardına uygun olarak motor bloğundan 1 m uzaklığa yerleştirilmiştir.



Şekil 5.10. Svantek 104 marka gürültü ölçüm cihazı.

5.3. DENEY YAKITLARININ ELDE EDİLMESİ

Pamuk yağı metil esteri rafineri pamuk yağından Transesterifikasyon reaksiyonu ile elde edilmiştir. Transesterifikasyon reaksiyonunun görsel şeması Şekil 5.11'de verilmiştir.



Şekil 5.11. Transesterifikasyon işlemi görsel şeması [36].

Transesterifikasyon reaksiyonun basamakları aşağıdaki verilmiştir.

1. 5 litre rafine pamuk yağı cam beher içine koyularak termostat kontrollü ısıtıcıli manyetik karıştırıcı ile 60 °C'ye kadar ısıtılmıştır. Isıtma işlemi Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.12. Pamuk yağı 60°C'ye kadar ısıtılması.

2. Şekil 5.13'de görüldüğü gibi, pamuk yağının hacimse %20'si kadar metanol ve 1 litre pamuk yağı için 3,5 g NaOH karışımı elde edilmiştir. Karışım işlemi 37 °C'de yapılmıştır.



Şekil 5.13. Metanol ve NaOH'ın 37 °C'de karıştırılma işlemi.

3. Elde edilen karışım 60°C'de olan pamuk yağı içerisine dökülerek 2 saat boyunca 600 dev/dak'da reaksiyonun gerçekleşmesi sağlanmıştır. Karışımdan metil alkol kaybını önlemek için karışım sırasında cam beherin üstü kapatılmıştır. Reaksiyonun esnasında sıcaklı 65 °C civarında tutulmuştur.
4. 2 saat sonunda gliserinin ayrışması için Şekil 5.14'de görüldüğü gibi, karışım ayırma hunisine alınarak 24 saat beklenmiştir. Gliserin yoğunluğu daha yüksek olduğundan dolayı 24 saat sonunda dibе tamamen çökerek ayrılmıştır. Bir litre biyodizel için yaklaşık 100 ml gliserin alınmıştır.



Şekil 5.14. Gliserinin ayrıştırılması.

5. Yıkama işlemini yapmak için ayırma hunisinde kalan biyodizel karışımın yaklaşık

%30'u kadar saf suyla karıştırılmıştır. Bu işlemler esnasında karışımın pH değerinin 7 civarında olması sağlanmıştır. Şekil 5.15'te görüldüğü gibi, 12 saat sonunda dibe çöken su alınmıştır.



Şekil 5.15. Biyodizel yakıtının yıkanması ve Ph'nın ayarlanması.

6. Daha sonra Şekil 5.16'da görüldüğü gibi, geriye kalan biyodizel tekrar ısıtıcı karıştırıcıda 2 saat boyunca 110°C sıcaklıkta ısıtılarak biyodizel içerisinde kalan su buharlaştırılarak biyodizelden uzaklaştırılmıştır. Şekil 5.17'de üretilen pamuk yağı metil esteri (biyodizel) görülmektedir.



Şekil 5.16. Biyodizel içerisinde kalan suyun buharlaştırılması.

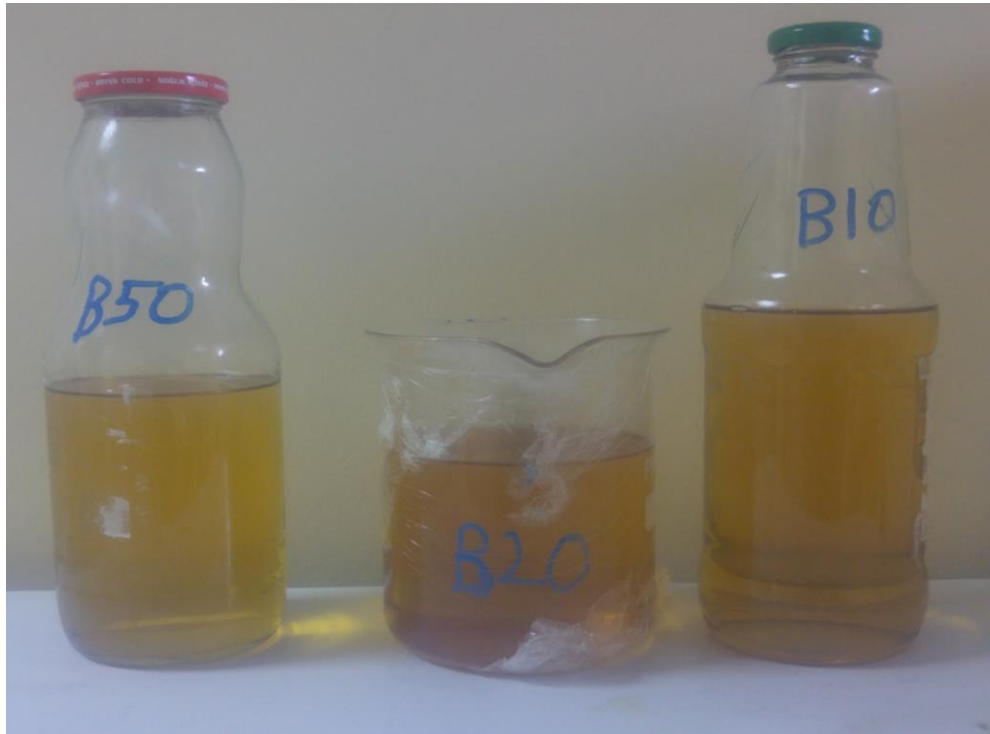


Şekil 5.17. Transasterifikasyon yöntemi ile üretilen pamuk yağı biyodizel yakıtı.

Üretilen biyodizel yakıt standart dizel yakıt ile aşağıda verilen oranlarda hacimsel olarak karıştırılmıştır.

- B0: %100 Eurodizel (Karşılaştırma amaçlı deneylerin bir kısmı sadece Euro dizel ile yapıldı(B0,eurodizel yakıtı),
- B10: %10 Biyodizel + %90 Euro dizel,
- B20: %20 Biyodizel + %80 Euro dizel,
- B50: %50 Biyodizel + %50 Euro dizel.

Deney yakıtları Şekil 5.18’de verilmiştir.



Şekil 5.18. Değişik oranlarda dizel yakıtı ile harmanlanan yakıtlar.

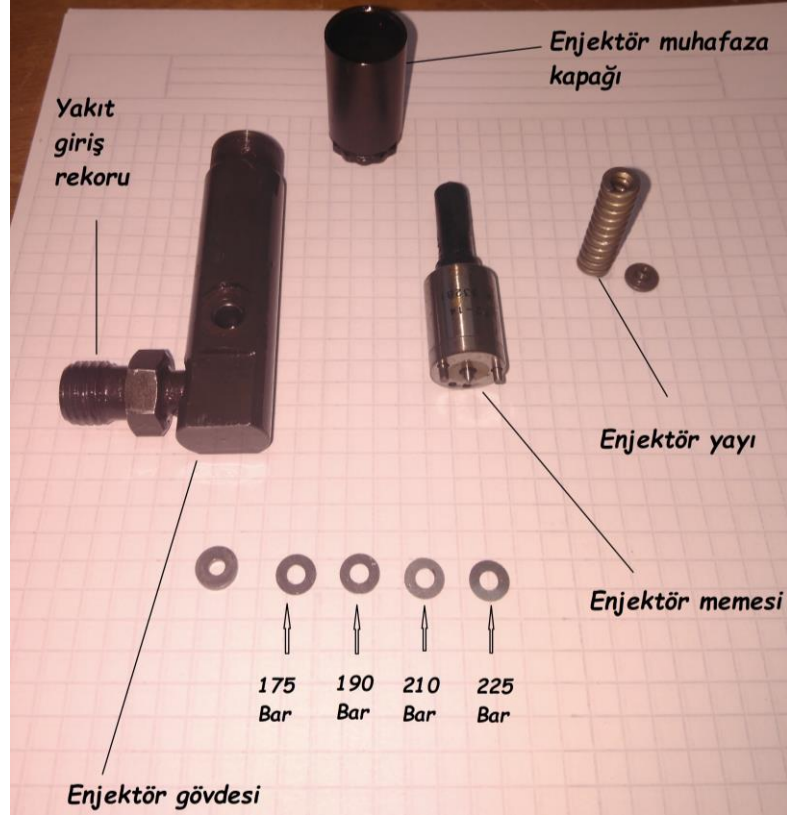
Çizelge 5.3’de deney yakıtlarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.3. B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının özellikleri.

Yakıt	Özellikler	Deney Metodu	Birim	Analiz Sonuçları
B0	Yoğunluk (15°C)	TS EN İSO 12185	Kg/lt	835,4
	Viskozite (40°C)	TS 1451 EN İSO 3104	cSt	2,929
	Parlama Noktası	TS EN İSO 2719	°C	92,5
	Setan Sayısı	TS 10317 EN İSO 5165		54,919
	Isıl Değer		Cal/kg	10981
	Su Tayini	TS 6147 EN İSO 12937	mg/kg	74,250
B10	Yoğunluk (15°C)	TS EN İSO 12185	Kg/lt	840,75
	Viskozite (40°C)	TS 1451 EN İSO 3104	cSt	3,039
	Parlama Noktası	TS EN İSO 2719	°C	88,5
	Setan Sayısı	TS 10317 EN İSO 5165		53,052
	Isıl Değer		Cal/kg	10825
	Su Tayini	TS 6147 EN İSO 12937	mg/kg	118,495
B20	Yoğunluk (15°C)	TS EN İSO 12185	Kg/lt	846,1
	Viskozite (40°C)	TS 1451 EN İSO 3104	cSt	3,149
	Parlama Noktası	TS EN İSO 2719	°C	84,5
	Setan Sayısı	TS 10317 EN İSO 5165		51,185
	Isıl Değer		Cal/kg	10669
	Su Tayini	TS 6147 EN İSO 12937	mg/kg	162,740
B50	Yoğunluk (15°C)	TS EN İSO 12185	Kg/lt	861,0
	Viskozite (40°C)	TS 1451 EN İSO 3104	cSt	3,659
	Parlama Noktası	TS EN İSO 2719	°C	>100
	Setan Sayısı	TS 10317 EN İSO 5165		49,008
	Isıl Değer		Cal/kg	10250
	Su Tayini	TS 6147 EN İSO 12937	mg/kg	451,613
B100	Yoğunluk (15°C)	TS EN İSO 12185	Kg/lt	887,0
	Viskozite (40°C)	TS 1451 EN İSO 3104	cSt	4,419
	Parlama Noktası	TS EN İSO 2719	°C	>100
	Setan Sayısı	TS 10317 EN İSO 5165		46,484
	Isıl Değer		Cal/kg	9574
	Su Tayini	TS 6147 EN İSO 12937	mg/kg	456,293

5.4. ENJEKTÖR BASINCININ AYARLANMASI

Şekil 5.19’da görüldüğü gibi, enjektör yayı altına 3 adet konulan pul enjeksiyon basıncını 210 bar’a, 4 adet ise 225 bar’a çıkarmaktadır. Her bir pul 0,1 mm kalınlığa sahiptir.



Şekil 5.19. Enjektör içyapısı.

5.5. YAKIT TÜKETİMİ ve ÖZGÜL YAKIT TÜKETİMİ

Yakıt tüketiminin belirlenmesinde 1ml hassasiyetli 100 ml hacme sahip ölçekli bir cam büret ve % 1 hassasiyetli kronometre kullanılmıştır. Yakıt ölçümünde 60 s’de tüketilen yakıt miktarı baz alınmış ve motorun farklı yük ve devir şartlarında bu sürede ne kadar yakıt tükettiği cam büret ve kronometre yardımı ile tespit edilmiştir. 60 s’de hacimsel olarak tüketilen yakıt miktarı değeri kullanılarak saatlik yakıt tüketimi litre olarak belirlenmiştir. Belirlenen değer yakıtın yoğunluğu ile çarpılarak kg cinsinden saatlik yakıt tüketim miktarı elde edilmiştir. Özgül yakıt tüketimi Denklem (5.1)’deki formülle hesaplanmıştır.

$$be = B \times 1000 / Pe \quad (5.1)$$

Burada:

be : Özgül yakıt tüketimi (g/kWh)

B : Saatlik yakıt tüketimi (kg/h)

Pe : Efektif motor gücü (kW)’dir.

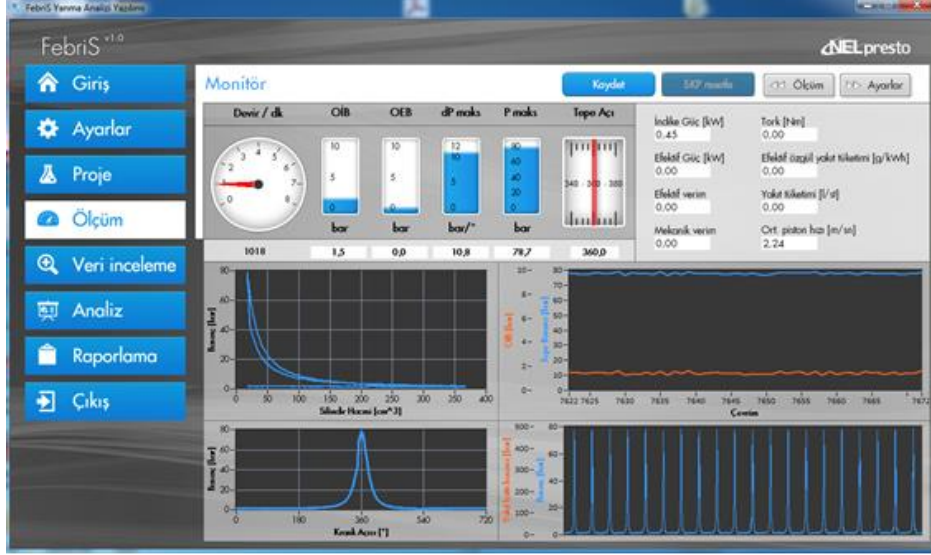
Yakıt ölçüm düzeneği Şekil 5.20’de görülmektedir.



Şekil 5.20. Yakıt ölçüm düzeneği.

5.6. YANMA ANALİZİ SİSTEMİ

Yanma analizi sistemi; fiber optik prensiple çalışan oprand marka basınç sensörü, kübler marka krank açısı enkoderi, veri toplama kartı, Febris sensör arayüzü, basınç sensörü sinyal koşullandırıcısı ve Febris yanma analiz yazılımından oluşmaktadır. Şekil 5.21’de motor çalışırken yanma analizi yazılımının ekran görüntüsü verilmiştir. Deneysel çalışmalarda; silindir gaz basıncı, ısı açığa çıkış miktarı ve ısı açığa çıkış hızına ait verilerin alınmasında LabVIEW tabanlı Febris yanma analizi yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım, içten yanmalı motorlara adapte edilen basınç sensörü ve krank açısı enkoderinden alınan sinyalleri kullanarak hesapladığı verileri gerçek zamanlı olarak gösteren ve kaydeden, ölçülen ve hesaplanan verilere bağlı olarak yapılan ileri yanma analiz sonuçlarının grafiksel olarak incelenebildiği ve farklı formatlarda raporlanmasına olanak veren bir yazılımdır.



Şekil 5.21. Yanma analizi yazılımı.

Tüm veriler, 750 çevrimin ortalaması alınarak elde edilmiştir. Kullanılan yazılım, ısı yayılım oranını termodinamiğin birinci kanuna bağlı olarak Denklem (5.2)’de verilen eşitliğe göre hesaplamıştır.

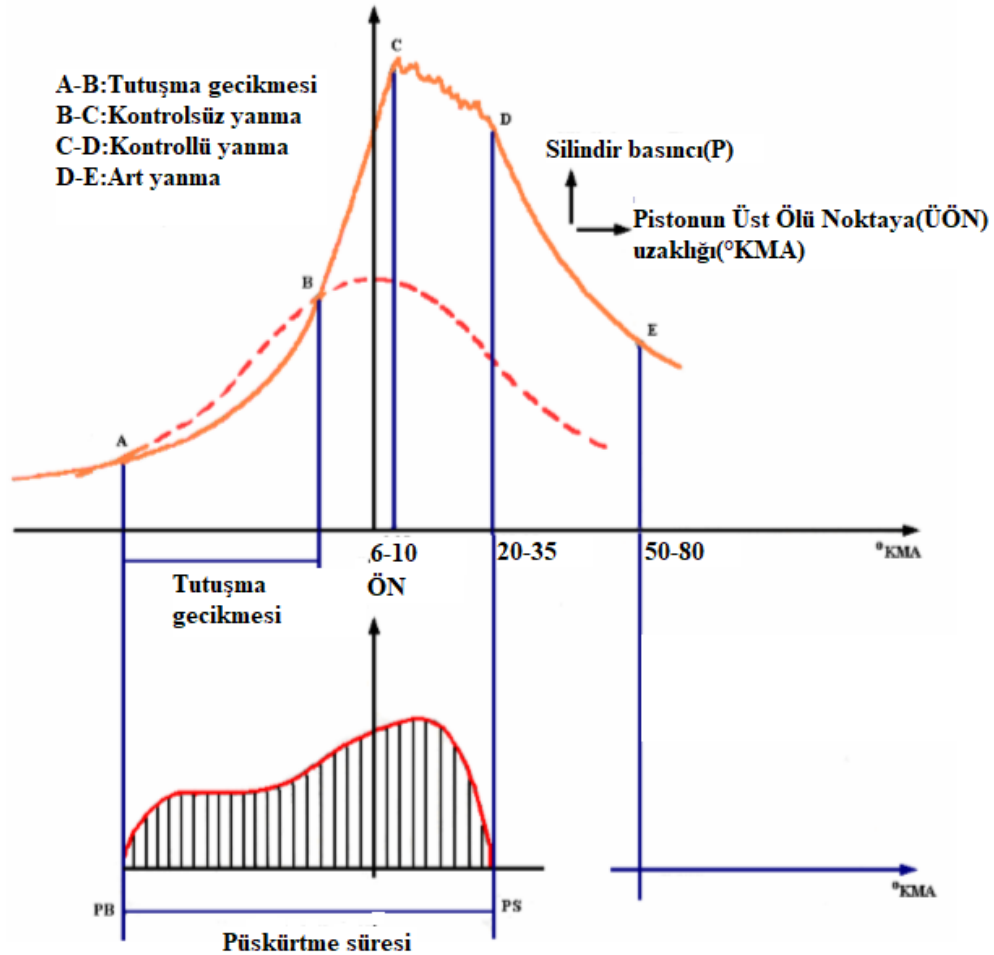
$$\frac{\partial Q_n}{\partial \theta} = \frac{k}{k-1} P \frac{\partial V}{\partial \theta} + \frac{1}{1-k} V \frac{\partial P}{\partial \theta} \quad (5.2)$$

Eşitlikte, politropik sabitidir ve bu çalışma için 1,37 alınmıştır, n ise politropik indeksi temsil etmektedir. ∂P silindir içi basıncın değişimini, ∂V ise piston hareketlerine bağlı olarak silindir hacmindeki değişimi göstermektedir. Öte yandan, θ krank açısını göstermektedir. Ayrıca çalışmada seğmenlerden ve bağlantı noktalarından herhangi bir hava sızıntısı olmadığı kabulüyle hesaplar yapılmıştır. Yine, silindir içerisinde bulunan gazın ideal gaz olduğu ve yanma odasındaki termodinamik özelliklerini tüm deneyler boyunca koruduğu varsayımı yapılmıştır. Ayrıca, yanma süresinin yanma prosesin başlamasından sonlanmasına kadar geçen süreyi temsil etmektedir.

6. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

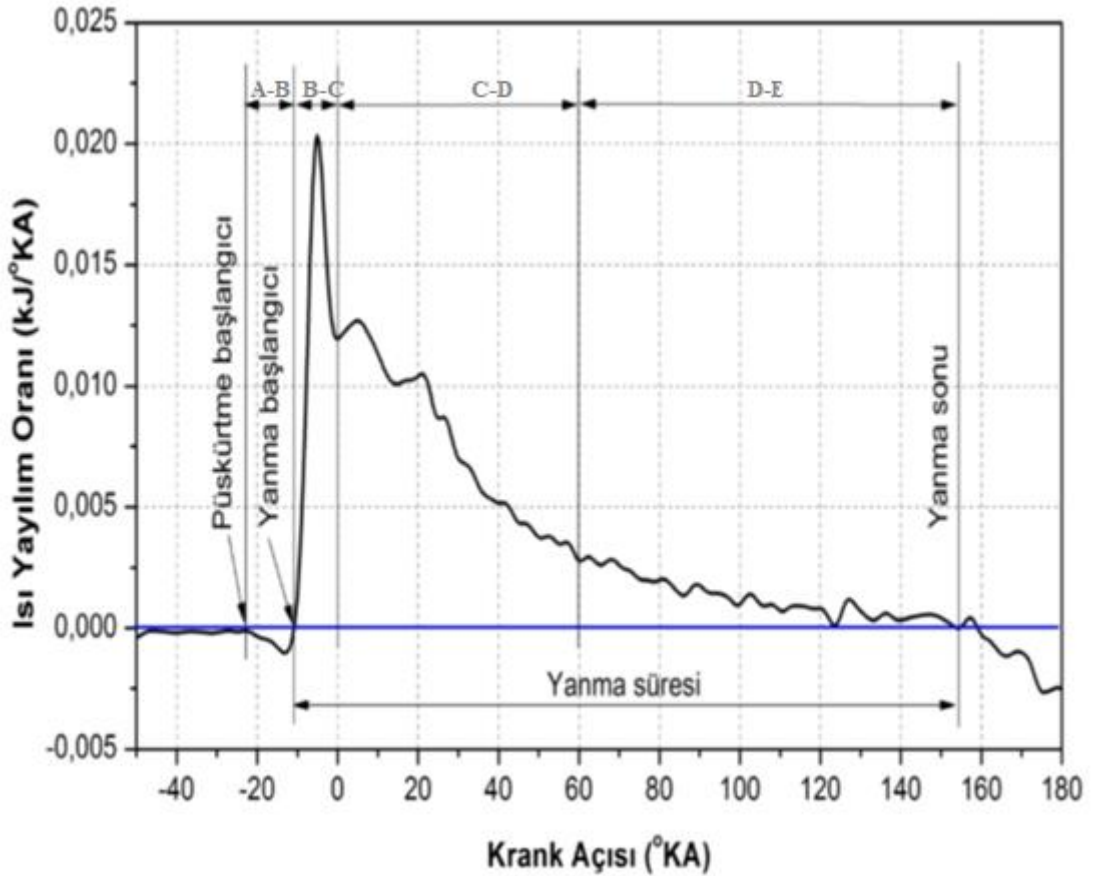
6.1. YANMA KARAKTERİSTİKLERİ

Dizel motorlarda yanma, yakıtın püskürtüldüğü andan başlayıp yanma ürünlerinin egzozdan atılana kadar silindir içerisinde gerçekleşen olaylardır. Yanma analizi ise içten yanmalı motorların yanma durumlarını incelemek ve yorum yapmak için yapılır. Silindir içi anlık silindir basıncı ve hacim değişimi bilgileri ile yanma analizi yapılabilir. Yakıtın genel özellikleri olan yoğunluk, viskozite ve sıkıştırılabilirlik gibi fiziksel değişkenler püskürtme başlangıcını, yanma özelliklerini, performans ve egzoz emisyonlarını etkilenmektedir [37]. Şekil 6.1’de örnek bir ısı basınç değişim grafiği, Şekil 6.2’de ise örnek bir ısı yayılım oranı grafiği görülmektedir.



Şekil 6.1. Dizel motorlarda krank açısı ve yakıt püskürtme ilişkisi [38, 39].

- **Tutuşma gecikmesi(A-B):** Silindir içerisine yakıtın püskürtülmeye başladığından itibaren yanmanın başladığı zamana kadar geçen süredir [40].
- **KontROLSÜZ yanma(B-C):** Tutuşma gecikmesi süresince silindire yakıt püskürtülür. Püskürtülen yakıt buharlaşmaya başlar ve yanmanın başlamasıyla silindirdeki tüm yakıt yanmaya katılır. Ani bir basınç artışı ve yanma gerçekleşir [41].
- **Kontrollü yanma(C-D):** Tutuşma gecikmesinde silindire biriken yakıtın ani yanmasından sonraki aşamadır. Yakıtın özelliklerine göre yanma süresi belirlenir [40].
- **Art yanma(D-E):** Kontrollü yanmadan sonraki aşamadır. Kontrollü yanma anında silindirde yanmadan kalan yakıtın yakılıp atıldığı aşamadır.



Şekil 6.2. Isı yayılımı oranı-krank açısı ilişkisi [42].

6.1.1. Silindir Basıncı ve Yanma Analizi

Yanma sonrasında açığa çıkan ve yapılan toplam iş süresince açığa çıkan basınçların toplamı toplam basıncı ifade eder. Dört zamanlı bir motor sırasıyla emme, sıkıştırma, ateşleme ve egzoz zamanlarından oluşmaktadır [43]. İçten yanmalı ve dört zamanlı bir motorda ateşleme anında çıkan basınç sırasıyla egzoz, emme ve sıkıştırma zamanının oluşumunu sağlamaktadır. Bu çalışmada B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının 4 farklı motor yükünde (2,5Nm 5Nm 7,5Nm ve 10Nm) basınç ve ısı yayılım oranlarının krank mili açısına ($^{\circ}$ KMA'ya) göre değişimleri incelenmiştir. Deneyler 210 bar ve 225 bar enjektör basınçlarında yapılmıştır.

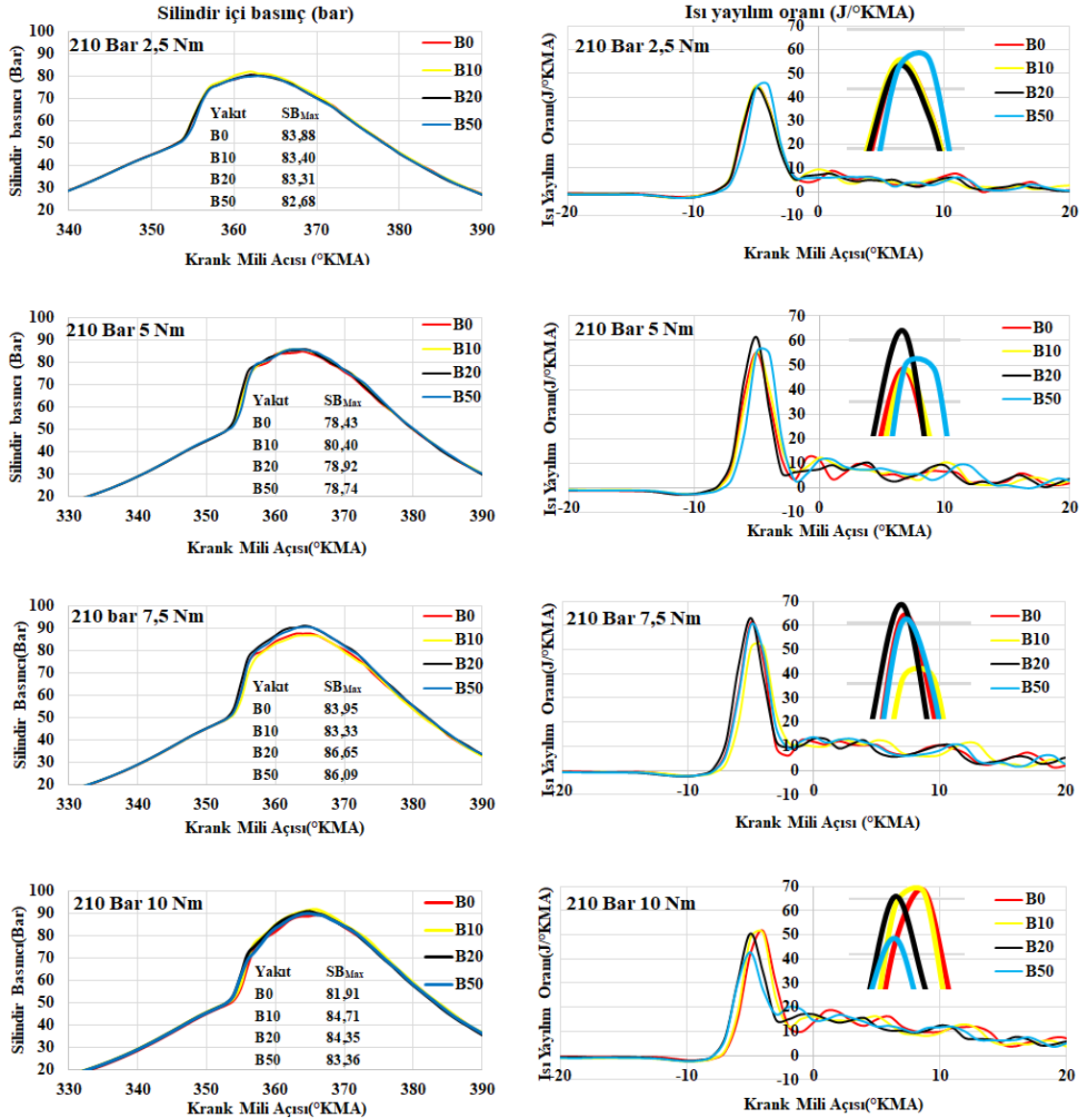
Biyodizel yakıtının yüksek yoğunluğu ve viskozitesi yüzünden biyodizel yakıtlarının püskürtme başlangıcı dizel yakıtına göre daha erken başlar [44]. Tutuşma gecikmesi, silindir içi basınç değerini, yanma kalitesini ve motorun yanma özelliklerini etkileyen en önemli etkidir [45]. Yakıtın özelliklerinden setan sayısı, viskozite ve oksijen oranı tutuşma gecikmesinin süresini önemli ölçüde etkiler. Setan sayısının yüksek olması ısı verimi artırdığından tutuşma gecikmesini kısaltır. Standart dizelin setan sayısı yüksek olduğundan tutuşma gecikmesi olabildiğince düşüktür. Motor yükü artırıldığında silindir içi sıcaklık artacağından tutuşma gecikmesi düşecektir [45]. Biyodizelin setan sayısı dizel yakıtından daha düşüktür. Yakıt içerisindeki biyodizel oranına doğru orantılı olarak setan sayısı da düşer. Ayrıca yakıtın biyodizel oranı arttıkça viskozitesi de artar. Setan sayısı düşen ve viskozitesi artan yakıtın tutuşma gecikmesi olumsuz etkilenir. Biyodizel yakıtın viskozitesinin yüksek olmasından dolayı yakıt atomizasyonu da düşer. Bu da buharlaşma ve yakıt hava karışımını olumsuz etkilediğinden tutuşma gecikmesini yükseltir.

Yakıtın oksijen içeriği ise diğer parametrelerin aksine tutuşma gecikmesini kısaltır. Bu saydığımız parametreler motorun silindir iç basıncını ve ısı yayılım oranını belirler. Silindir iç basıncı ve ısı yayılım oranı ise motorun verimini, egzoz emisyonlarını, motor sesi ve gürültüsü gibi parametreleri etkiler.

Şekil 6.1'de 210 bar püskürtme basıncı için motor yüküne bağlı olarak tüm deney yakıtlarının silindir içi basınç ve ısı yayılım oranları grafikleri verilmiştir. Biyodizel içerikli yakıtların setan sayısı B0'a göre daha küçük olduğundan dolayı (Çizelge 5.4), tutuşma gecikmesi süreleri B0'a göre daha uzundur. Biyodizel oranı yüksek olan yakıtlar, silindir içerisine püskürtüldükten sonra tutuşma anına kadar geçen sürede

silindir içinde daha fazla birikirler. Bu nedenle, Şekil 6.3'te görüldüğü gibi biyodizel içerikli yakıtlar ile daha büyük maksimum silindir basınçları elde edilmiştir. Bu durum 7,5 Nm ve 10 Nm yükler altında daha net görülmektedir. Ayrıca biyodizel içerikli yakıtların yüksek oranda O₂ içermesi, yanma kalitesini artırmaktadır. Tutuşma gecikmesi süresi arttıkça püskürtülen yakıt miktarına bağlı olarak buharlaşan yakıt miktarı da artmaktadır. Yakıt buharlaşabilmek için ortamdan bir miktar ısı çeker. Şekil 6.3'te ısı yayılım grafiğinde görüldüğü gibi °KMA açısına göre yanma başlamadan önce tüm yakıtlar için silindirde ısı kaybı olmuştur. Tutuşma başladığında ise ısı yayılımı pozitif yönde gerçekleşmiştir. Tutuşma gecikmesinin uzamasından dolayı silindirde biriken yakıt ani bir basınç artışına ve ısı yayılım grafiğindeki gibi ani bir yükselmeye sebep olmuştur. Bu ani basınç artışıyla kontrolsüz yanma başlar [46]. Asıl yanmanın gerçekleştiği kısım ise kontrollü yanmadır. Kontrollü yanma kontrolsüz yanmaya göre daha uzun sürer. Kontrollü ve kontrolsüz yanmada yakıtın özelliklerine göre yanma süresi değişebilir.

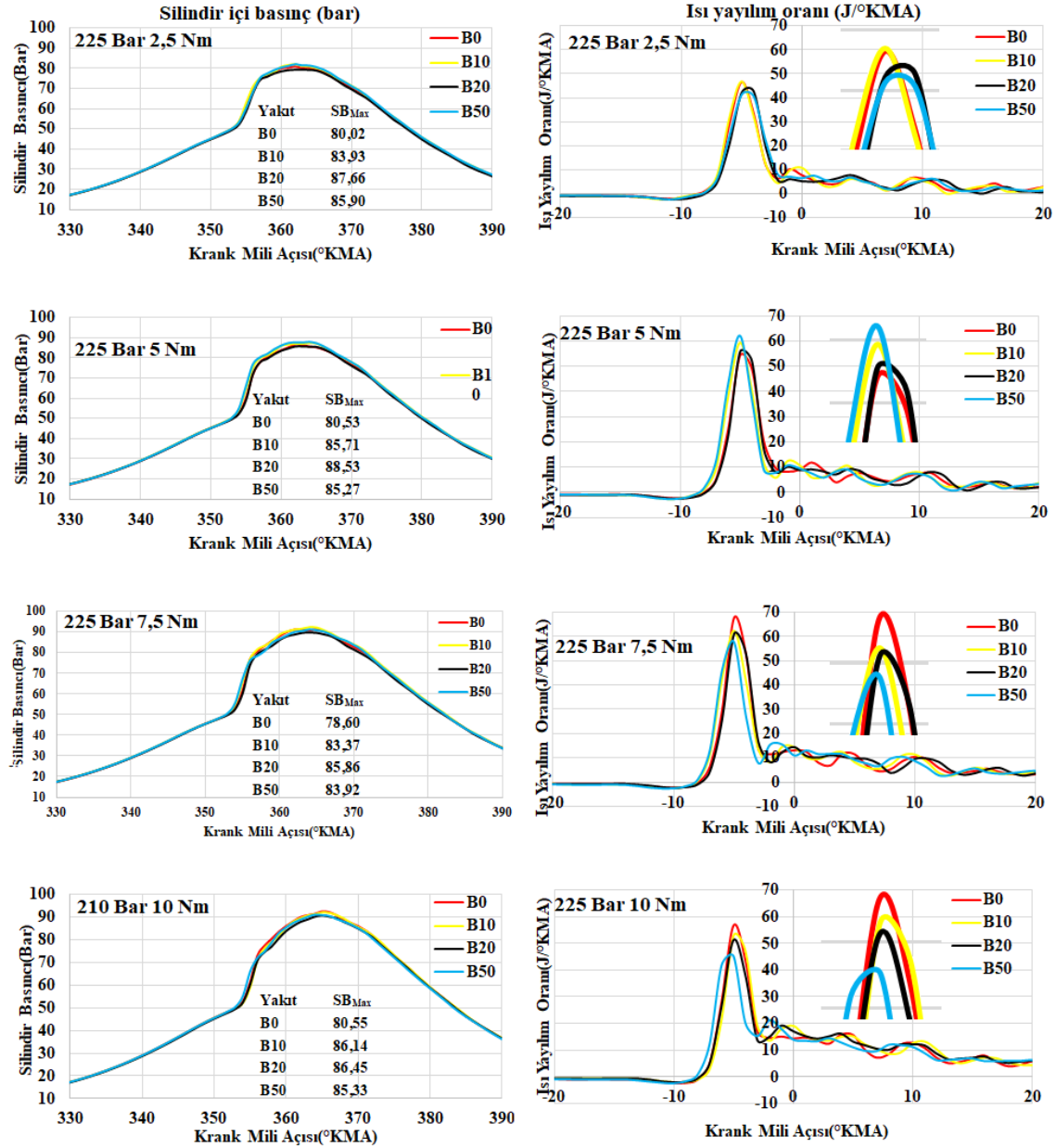
Motor yükü kontrollü bir şekilde artırıldığında motora püskürtülen yakıt miktarı artar. Buna bağlı olarak silindir içi maksimum basınç değeri yanma süresi de artış gösterir. Kontrollü yanma başladıktan sonra biyodizelin yüksek oksijen değeri sayesinde biyodizel yakıtlarının yanma süreleri kısalır. Şekil 6.3'te kontrollü yanma esnasında B0 yakıtının diğer yakıtlara göre yanma eğrisinin genel olarak daha üstte olduğu ve daha uzun yanma eğiliminde olduğu görülmektedir. Tüm yakıtlar için artan motor yükü maksimum basınç artışını hızlandırmaktadır. Şekil 6.3'te basınç grafiklerinde basınç artışının 7,5 Nm'ye kadar hızlandığı görülmektedir. Aynı durumu ısı yayılım grafiklerinde de görülmektedir. Isı yayılım grafiklerinde 7,5 Nm motor torkuna kadar ısı açığa çıkışının yükseldiği görüyor. Fakat 10 Nm motor yükü için bakıldığında silindir içi basınç artış hızının ve silindire salınan ısının düştüğü görülmektedir. Çünkü B50 yakıtı en yüksek yoğunluk viskoziteye ve en düşük alt ısı değere sahip olan yakıttır. B50 yakıtı en yüksek motor torkuna maruz kaldığında yakıtın püskürtme esnasında atomizasyonu bozulmaktadır. Yanma veriminin düşmesi ile birlikte B50 en küçük alt ısı değere sahip olduğundan dolayı, B50 yakıtının basınç artış hızı ve ısı salım oranı da düşmüştür.



Şekil 6.3. 210 bar basınç (2,5-5-7,5-10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının basınç ve ısı yayılım grafikleri.

Şekil 6.4'te 225 bar enjektör basıncında deney yakıtlarının silindir basıncı ve ısı yayılım oranı grafikleri görülmektedir. Grafiklere göre kontrolsüz yanmanın 210 bar enjektör basıncına göre daha kısa olduğu görülmektedir. Çünkü 225 bar enjektör basıncında atomizasyon daha yüksektir. Yakıt silindire homojen dağılacığından yanma daha verimli olur. Şekil 6.4'te görüldüğü üzere ısı yayılım oranı grafikleri daha düzenlidir. Şekil 6.3'e benzer olarak biyodizel içerikli yakıtların setan sayılarının B0'a göre küçük olması silindir içi maksimum basınç değerlerini artırmıştır. B0 en büyük alt ısıl değere sahiptir. 7,5 Nm ve 10 Nm yükler altında motora daha fazla yakıt püskürtüldüğünden dolayı, B0 ile diğer yakıtlara göre daha fazla enerji elde edilmektedir. Bu nedenle 7,5

Nm ve 10 Nm yüklerde B0 ile daha büyük maksimum ısı yayılım oranları elde edilmiştir.

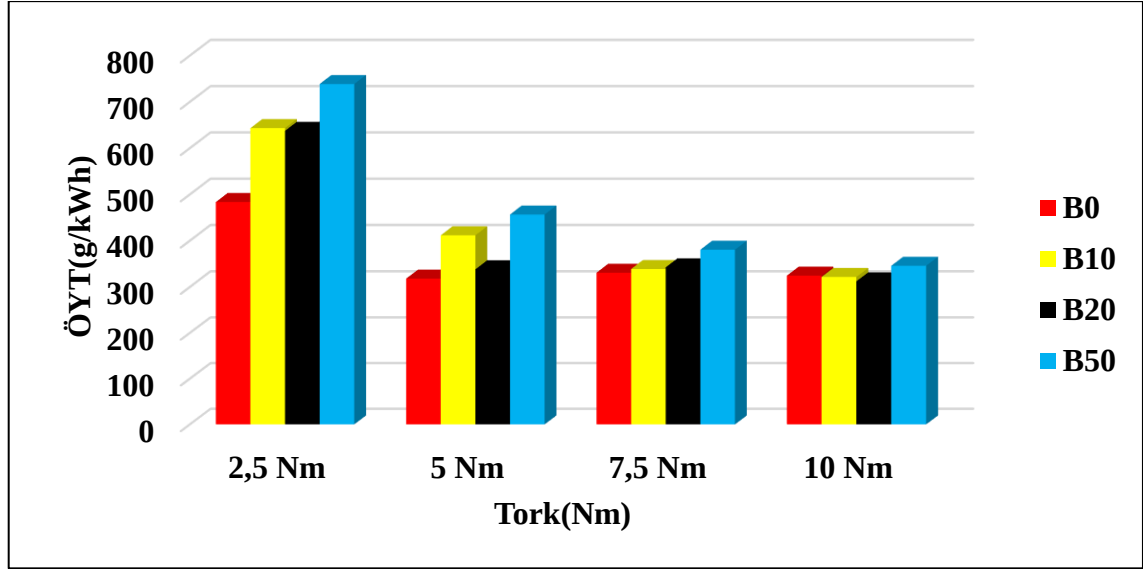


Şekil 6.4. 225 210 bar basınç (2,5-5-7,5-10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının basınç ve ısı yayılım grafikleri.

6.1.2. Özgül Yakıt Tüketimi

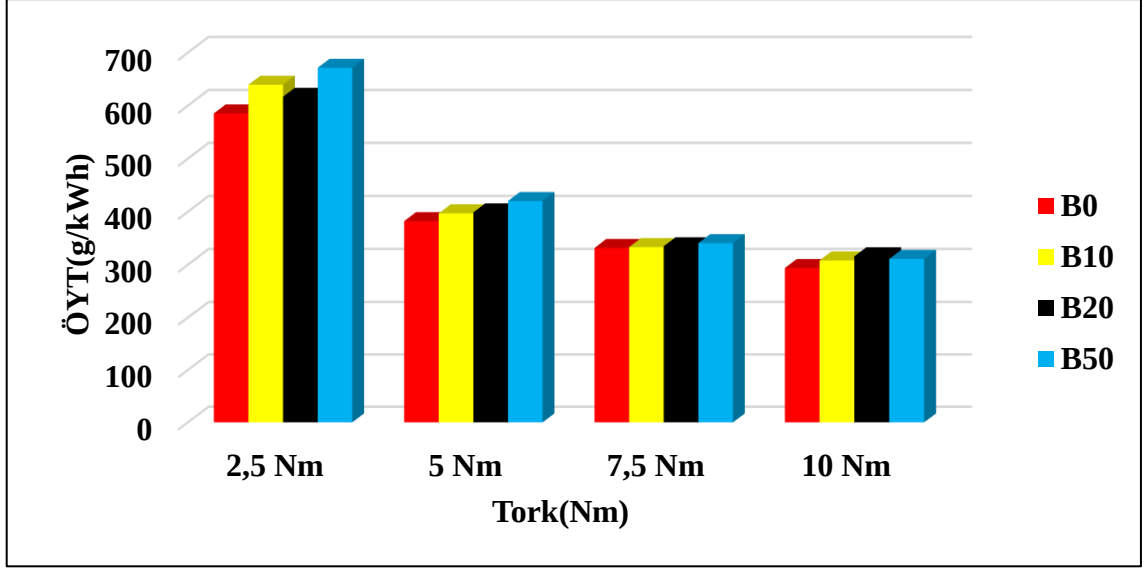
Şekil 6.5'te 1500 dev/dak'da 210 bar enjektör basıncında dört farklı tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarına ait özgül yakıt tüketimi grafiği verilmiştir. Grafiğe göre B0 yakıtının özgül yakıt tüketimi bütün tork değerlerinde B10, B20 ve B50 yakıtlarına göre daha düşük çıkmıştır. B50 yakıtının özgül yakıt tüketimi ise, diğer yakıtlara göre yüksek

çıkıştır. Bunun sebebi biyodizel yakıtının alt ısı değeri B0 yakıtına göre daha düşük olmasıdır. En yüksek biyodizel oranına sahip B50 yakıtında beklenen ısı verimi verebilmek için yakıt sarfıyatı olabildiğince yükselmiştir. Bütün yakıtlarda özgül yakıt tüketimi 10 Nm tork değerinde en düşük değeri almıştır. Motor torkunun artmasına bağlı olarak motor gücünün artması, torka bağlı olarak özgül yakıt tüketiminin artırmıştır.



Şekil 6.5. 210 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının özgül yakıt tüketim grafiği.

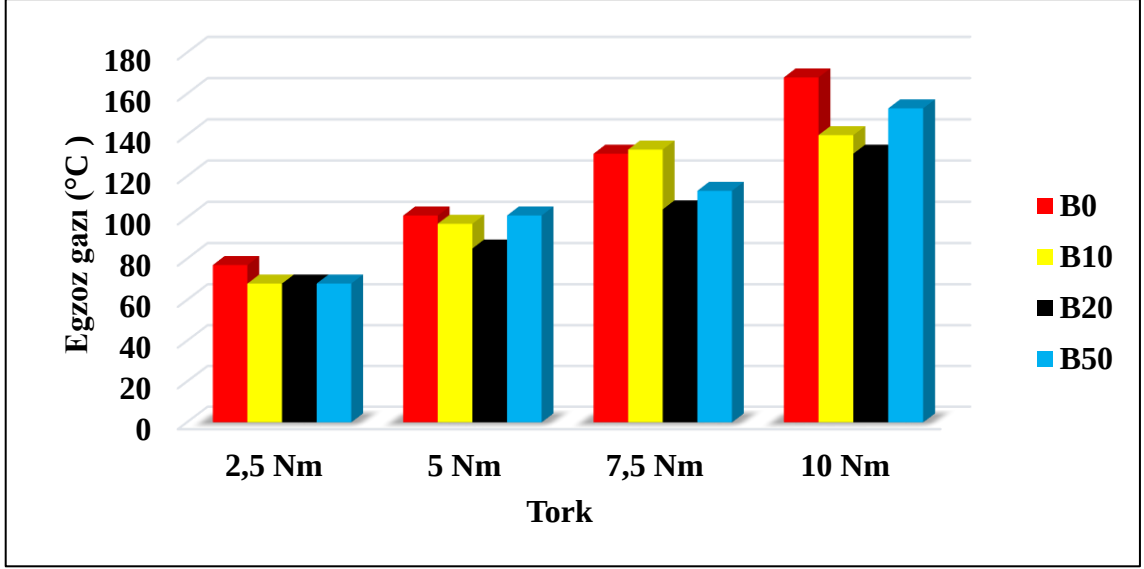
Şekil 6.6'da 1500 dev/dak'da 225 bar enjektör basıncında dört farklı tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarına ait özgül yakıt tüketimi grafiği verilmiştir. Grafikte diğer deney koşulları sabit kalmak şartıyla yalnız enjektör basıncı 225 bar'a çıkarılmış ve deneyler tekrarlanmıştır. 2,5 ve 5 Nm tork değerinde özgül yakıt tüketimi değişken değerler almıştır. 7,5 Nm'de aynı kalmış, 10 Nm tork değerinde düşüş göstermiştir, Silindire daha yüksek basınçta püskürtülen yakıt sayesinde yanma iyileşmiş ve 10 Nm enjektör basıncında ısı verim yükselmiştir. Motor kendinden beklenen işi daha az yakıtla yapabilmıştır. Dolayısıyla özgül yakıt tüketiminde düşüş olmuştur.



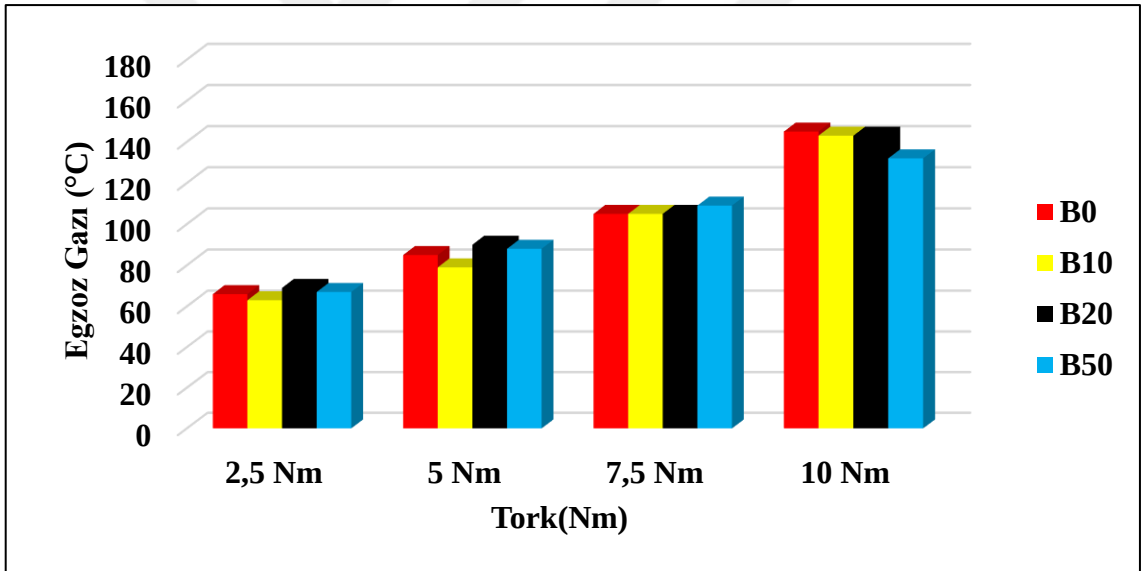
Şekil 6.6. 225 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının özgül yakıt tüketim grafiği.

6.3. EGZOZ SICAKLIKLARI

Şekil 6.7’de 210 bar enjeksiyon basıncında, Şekil 6.8’de 225 bar enjeksiyon basıncında deney yakıtlarının egzoz sıcaklığına olan etkileri verilmiştir. Tüm yakıtlar için her iki enjeksiyon basıncında da motor yüküne bağlı olarak egzoz sıcaklıkları artmıştır. Bu durum motor yüküne bağlı olarak yanma odasına püskürtülen yakıt miktarının artmasından kaynaklanmıştır. B0’ın alt ısı değerinin büyük olması yanma sonu açığa çıkan enerji miktarına bağlı yanma sonu egzoz sıcaklığını da artırmaktadır. Bununla birlikte biyodizel içerikli yakıtların O_2 içeriğinin de yüksek olması yanma oranını artırmaktadır. Bu nedenlerden dolayı yanmaya bağlı olarak bazı yüklerde B0 ile en büyük egzoz sıcaklığı elde edilir iken, bazı yüklerde ise biyodizel içerikli yakıtlar ile B0’a göre daha büyük egzoz sıcaklıkları elde edilmiştir. 225 bar enjeksiyon basıncında yakıtlar daha iyi atomize olduklarından dolayı yanma daha kısa sürede tamamlanmıştır. 210 barda ise atomizasyon oranına bağlı olarak yanma süresi uzamıştır. Bu nedenle tüm yakıtlar için 210 barda 225 bara göre daha büyük egzoz sıcaklıkları elde edilmiştir.



Şekil 6.7. 210 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının egzoz gazı sıcaklıkları.



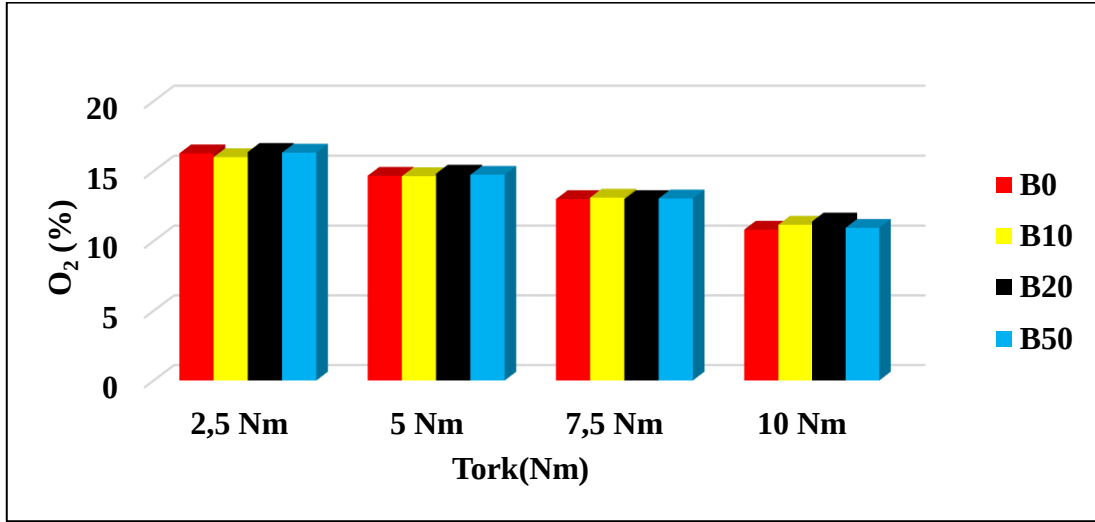
Şekil 6.8. 225 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının egzoz gazı sıcaklıkları.

6.2. EGZOZ EMİSYON SONUÇLARI

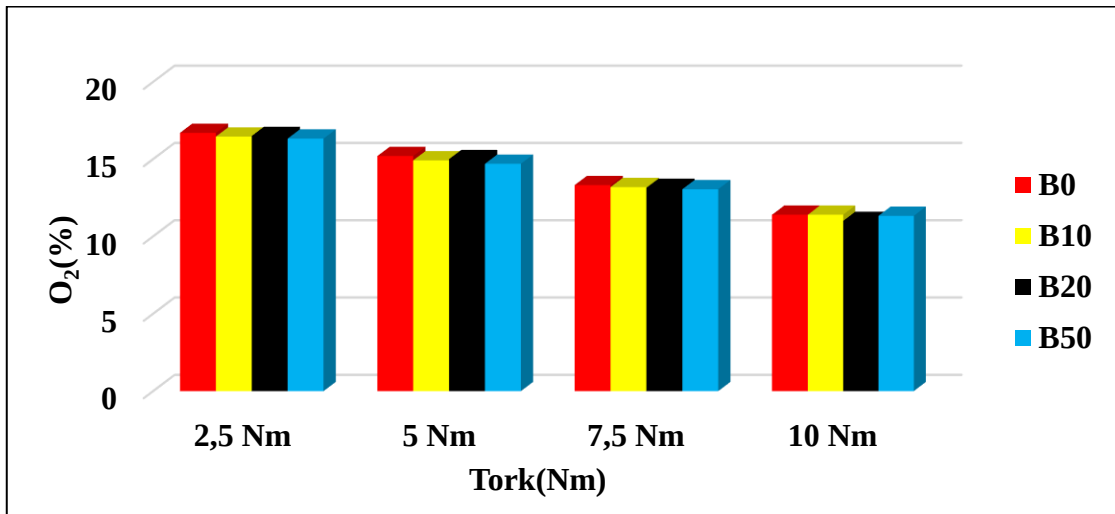
Deney yakıtlarının motor yüküne bağlı olarak CO, CO₂, NO_x, O₂ ve HC emisyonlarına olan etkileri incelenmiştir. İlk deneyler B0 yakıtı ile yapılmıştır. Egzoz sıcaklığı K tipi termokupl ile ölçülmüştür.

6.2.1. O₂ Emisyonu

Şekil 6.9’da 210 bar enjektör basıncında, Şekil 6.10’a ise 225 bar enjektör basıncında dört farklı tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarına ait O₂ grafiği verilmiştir. Her iki enjeksiyon basıncı içinde O₂ değerleri 2,5 Nm’de daha büyük iken 10 Nm’de en küçük değerlere sahiptir. Bu durum motor yüküne bağlı olarak enjektörden püskürtülen yakıt miktarının artmasına bağlıdır. Her iki enjektör basıncı içinde aynı yüklerde birbirlerine çok yakın O₂ değerleri elde edilmiştir.



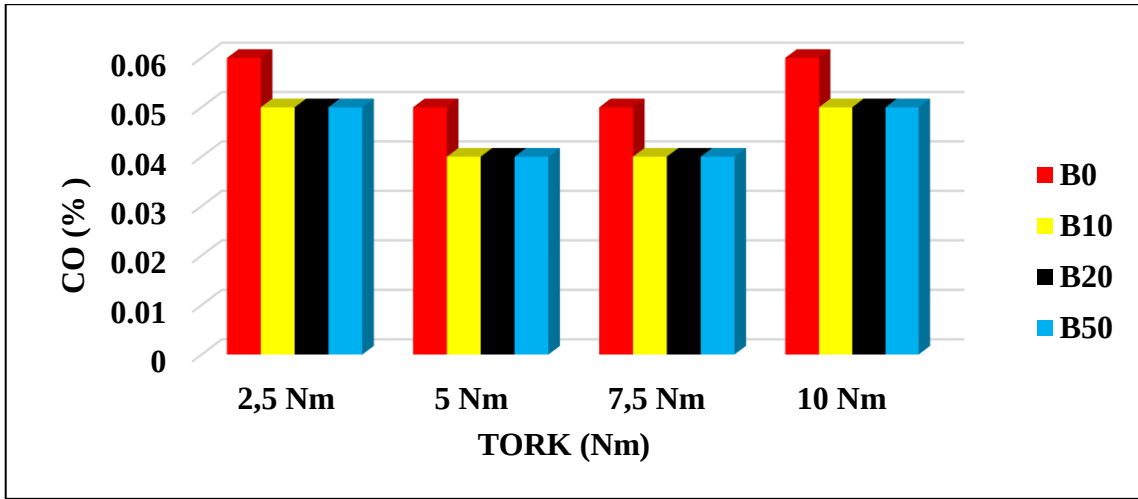
Şekil 6.9. 210 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının O₂ değerleri.



Şekil 6.10. 225 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının O₂ emisyon grafiği.

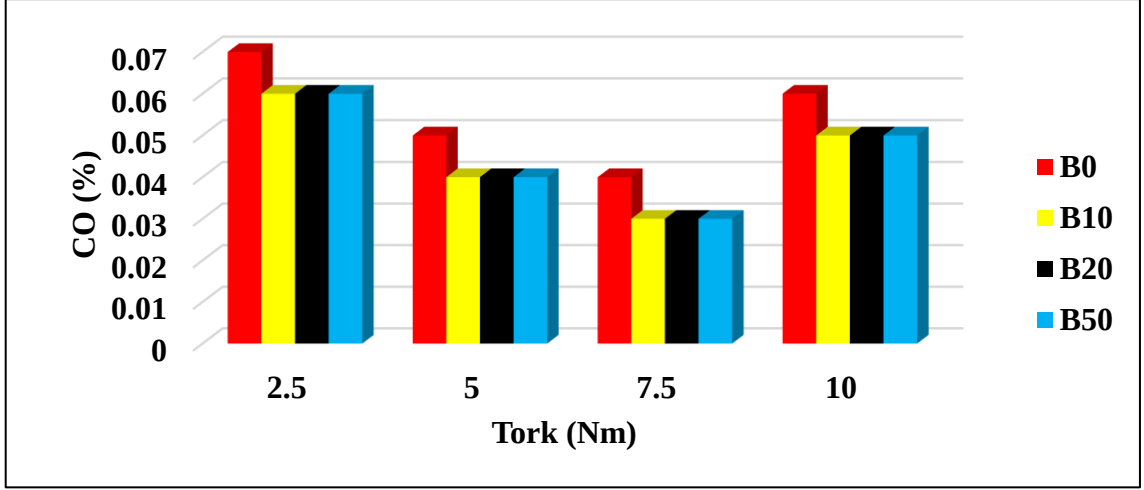
6.2.2. CO Emisyonu

Şekil 6.11’de 1500 dev/dak’da 210 bar enjektör basıncında dört farklı tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarına ait CO emisyon grafiği verilmiştir. Grafiğe göre CO salımı B0 yakıtı için en yüksek değerde iken B10, B20 ve B50 yakıtları için daha düşük miktarda olmuştur. Bunun nedeni olarak biyodizel yakıtının oksijen oranının dizel yakıtına oksijen oranına göre fazla olması gösterilebilir [47]. Aynı şekilde eurodizel yakıtın karbon oranı da biyodizel yakıtının karbon oranından yüksektir. Motor yükü arttıkça motora püskürtülen yakıt miktarı da artar. Dolayısıyla yakıt miktarının artması silindir içi O₂ miktarının azalması ve sıcaklığın artması nedeniyle CO salımından artış olmuştur. Bu durum 10 Nm yük için net olarak görülmektedir.



Şekil 6.11. 210 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının CO emisyon grafiği.

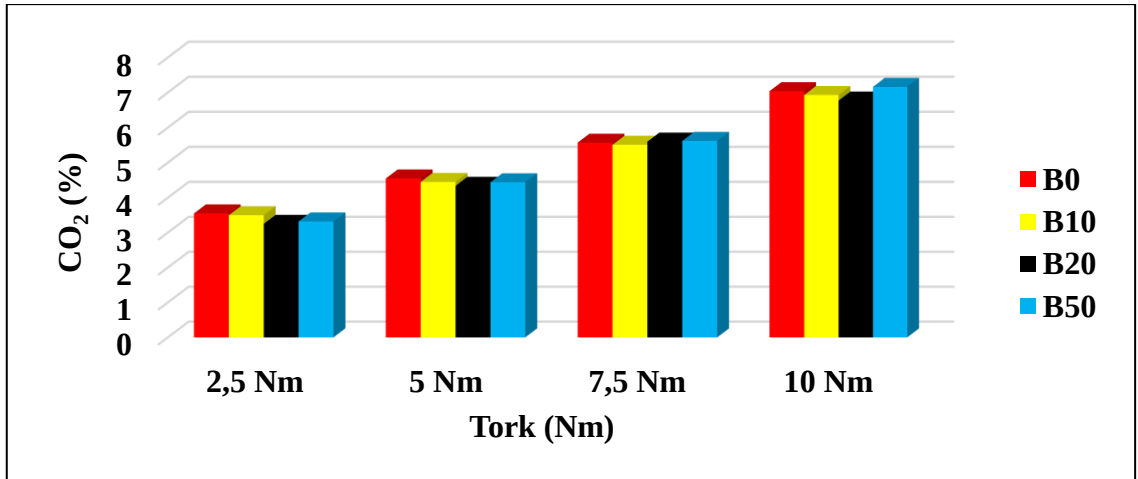
Şekil 6.12’de 1500 dev/dak’da 210 bar enjektör basıncında dört farklı tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarına ait CO emisyon grafiği verilmiştir. 225 bar basınçta CO salımında kayda değer bir değişim olmamıştır. Yine B0 yakıtının CO oranı B10, B20 ve B50 yakıtınıninkinden daha yüksektir.



Şekil 6.12. 225 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının CO emisyon grafiği.

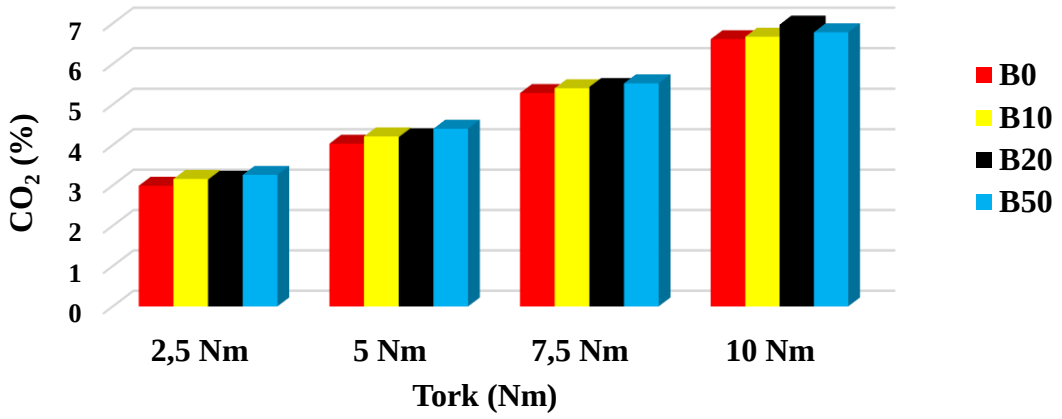
6.2.3. CO₂ Emisyonu

Şekil 6.13'te 1500 dev/dak'da 210 bar enjektör basıncında dört farklı tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarına ait CO₂ emisyon grafiği verilmiştir. Yapılan deneylerde 210 bar ve 225 bar basınçlarda CO₂ emisyonlarının oranında önemli bir değişme olmamıştır. Ancak tork değeri arttıkça CO₂ oranı yaklaşık %25 oranında artış göstermiştir. Bu durum motor torkuna bağlı olarak artan yakıt miktarına bağlıdır. Yanma esnasında yakıtta bulunan hidrojen ve karbon bileşenleri ayrılır. Karbon yeterli oksijeni bulması halinde CO₂'e dönüşür. Bulamaması halinde ise CO'ya dönüşür. Biyodizel içerisinde karbon oranının dizel yakıtı göre daha düşük olmasından dolayı dizel yakıtın CO₂ emisyonu biyodizel yakıtıninkine göre genelde daha yüksektir.



Şekil 6.13. 210 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının CO₂ emisyon grafiği.

Şekil 6.14'te 1500 dev/dak'da 210 bar enjektör basıncında dört farklı tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarına ait CO₂ emisyon grafiği verilmiştir. 225 bar emisyon grafiğine bakıldığında 210 bar emisyon grafiğine göre egzozdan salınan CO₂ miktarı az da olsa düşmüştür. Bunun nedeni 225 bar enjektör basıncında yakıtın daha iyi atomize olmasıdır.



Şekil 6.14. 225 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının CO₂ emisyon grafiği.

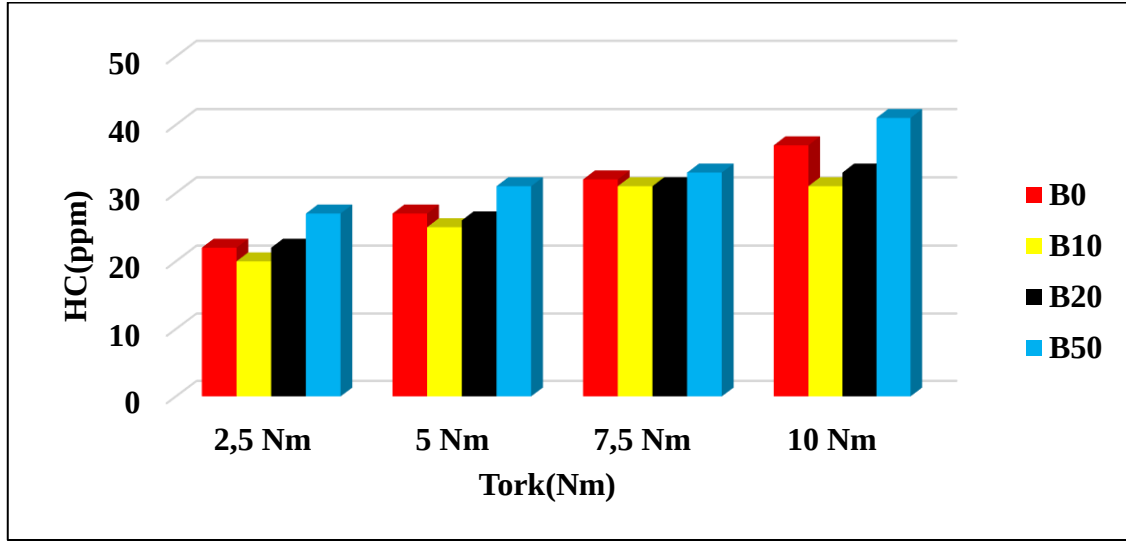
6.2.4. HC Emisyonu

Şekil 6.15'te 1500 dev/dak'da 210 bar enjektör basıncında dört farklı tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarına ait HC emisyon grafiği verilmiştir. Dizel motorlarda hidrokarbon oluşmasının sebeplerinden biri püskürtme sonlarında enjektörün kapatılmayan ucunda kalan yakıttır. Bu yakıt genişleme strokunun sonlarında silindirde oksijenle yanarak HC ve CO'yu oluşturur. Hidrokarbon oluşumunun bir diğer sebebi ise silindir içerisinde segman boşluklarında ve bunun gibi yerlerde biriken yakıt zerrecikleri HC emisyonlarının oluşmasına neden olmaktadır [48].

Deney yakıtlarının HC değerleri motor torkuna bağlı olarak artmaktadır. Çünkü yüksek tork değerini karşılamak için yakıt püskürtme miktarı artmış ve kötüleşen yanmadan dolayı yanma sonrası silindir içerisinde kalan yanmamış yakıt artmıştır. Bundan dolayı tork yükseldikçe HC salımı artış göstermiştir.

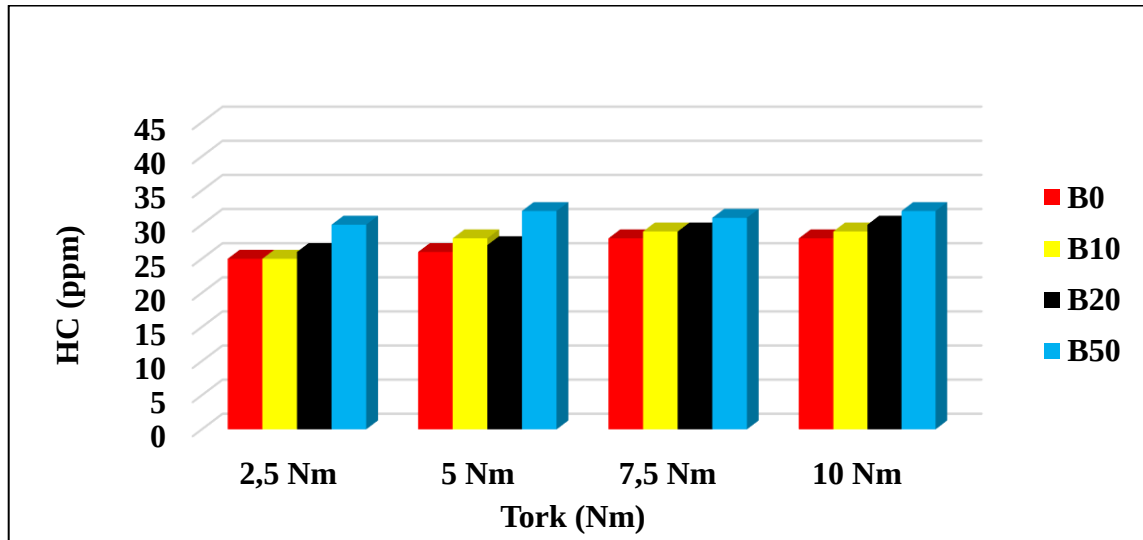
Biyodizelin karbon miktarı dizel yakıttan daha düşük olduğundan B10 ve B20 yakıtlarının hidrokarbon miktarı B0 yakıtına göre daha düşüktür. Fakat B50 yakıtında

buna aykırı bir durum vardır. Yüksek tork değerinde ve yüksek biyodizel oranı olduğundan yanma kötüleşmiş ve hidrokarbon oranı artış göstermiştir.



Şekil 6.15. 210 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının HC emisyon grafiği.

Şekil 6.16'da 1500 dev/dak'da 225 bar enjektör basıncında dört farklı tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarına ait HC emisyon grafiği verilmiştir. 225 bar basınçta B50 yakıtı yine en yüksek hidrokarbon oranına sahipken B0 yakıtı HC miktarı düşüş göstermiştir. Hidrokarbon miktarı genel olarak tüm tork değerleri için birbirine yakın çıkmıştır.

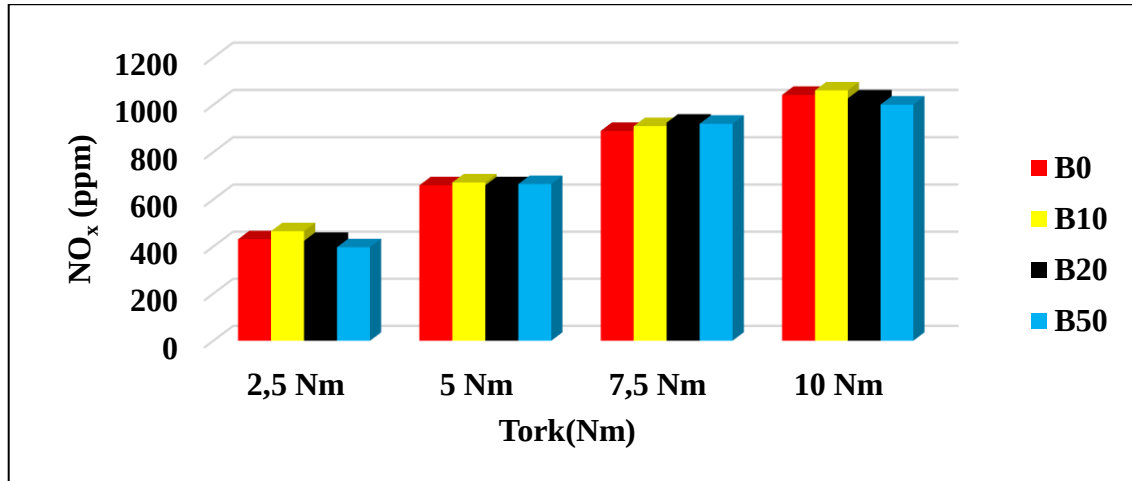


Şekil 6.16. 225 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının HC emisyon grafiği.

6.2.5. NO_x Emisyonu

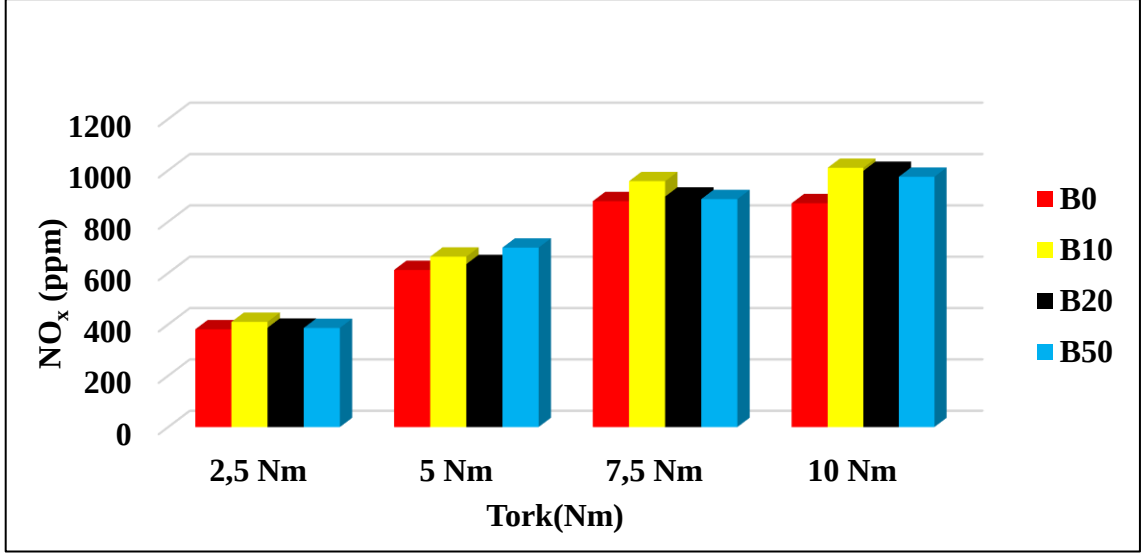
Şekil 6.17’de 1500 dev/dak’da 210 bar enjektör basıncında dört farklı tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarına ait NO_x emisyon grafiği verilmiştir. NO_x miktarı motor yüküne bağlı olarak püskürtülen yakıt miktarının artışı ile tüm yakıtlar için artmıştır.

B10, B20 ve B50 yakıtlarının setan sayısı B0’dan düşük ve tutuşma gecikmesi süreleri daha uzundur. Bu durum, maksimum silindir basıncı ve yanma sıcaklığı da artırır, çünkü kontrolsüz yanma süresi yüksektir. Buna bağlı olarak maksimum silindir basıncı yükselir ve silindir içi yanma sıcaklığı yükselir. Bununla birlikte biyodizel içerikli yakıtların alt ısı değerlerinin B0’a göre küçük olması, yanma sonu sıcaklığını da düşürür. Sonuç olarak silindir içindeki basınç ve sıcaklık yükseldiğinde NO_x miktarı da yükselişe geçer. Yakıtlar birbiri ile karşılaştırıldığında B10 yakıtının NO_x miktarının en yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi B10’un O₂ miktarının fazla olması ve alt ısı değerinin B0’a yakın olmasıdır. B20 ve B50 yakıtlarında ise yoğunluk ve viskozite yüksek olduğundan oksijen yanmaya daha az katılır. Dolayısıyla yanma kötüleşir ve oksijenin olumlu etkisini yok ederek NO_x oranını düşürür.



Şekil 6.17. 210 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının NO_x emisyon grafiği.

Şekil 6.18’de 1500 dev/dak’da 225 bar enjektör basıncında dört farklı tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarına ait NO_x emisyon grafiği verilmiştir. NO_x emisyonlarının grafik eğrisi 210 bar grafiğinin eğrisiyle benzer çıkmıştır. Ancak 225 bar enjektör basıncında NO_x emisyonu %10 daha düşük çıkmıştır. Enjektör basıncının artışı ile kontrolsüz yanma safhası daha kısa sürerek egzoz sıcaklıklarının da düşmesine neden olmuştur.



Şekil 6.18. 225 210 bar enjektör basıncında (2,5-5-7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının NOx emisyon grafiği.

6.3. MOTOR TİTREŞİM VE GÜRÜLTÜ SEVİYESİ

6.3.1. Motor Titreşim Seviyesi

Şekil 6.19’da 210 bar enjektör basıncında farklı tork değerlerinde deney yakıtlarının motor titreşim genliğine olan etkileri verilmiştir. Farklı yükler altında yapılan deneylerde tüm yakıtlar ile elde edilen titreşim genlik değerlerinin karşılaştırılabilmesi amacıyla, her bir deney için ivmeölçerin her bir kanalı ile ölçülen titreşim genlik değerlerinin ortalama karekök değerleri (rms) hesaplanmıştır. Her bir kanaldan elde edilen zaman bölgesi genlik değerlerinin rms’si, Denklem (6.1)’de verilen denklem ile hesaplanmıştır.

$$a_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n a_k^2} \quad (6.1)$$

Bu denklemde;

a_{rms} : İvme değerlerinin ortalama karekökü (m/s²),

a_k : Zaman bölgesi verilerinin k ’ıncı değeri (zaman bölgesinde tüm eksenlerde ivme ölçerden sayısal olarak alınmıştır)

n : Zaman bölgesi ivme değerlerinin sayısı (1.28 s süre için $n = 16384$)

Çizelge 6.1’de tork değerlerine göre her bir yakıtın 2 farklı enjektör basıncında

hesaplanan a_{rms} titreşim verileri gösterilmektedir. Çizelge 6.1'e göre tüm yakıtların x, y, z eksenlerinde, genel olarak tüm yakıtlar için 7,5 Nm'ye kadar artış olmuş, fakat 10 Nm tork değerinde düşüş olduğu görülmektedir. Çizelge 6.1'de görüldüğü gibi, en büyük ivme değeri Ch1(x), en küçük ivme değeri ise Ch3(z) kanalından elde edilmiştir. Yani yatay x eksen ve dikey z ekseninde titreşimler daha yüksek olmuştur. Bu durum, diğer eksenlere göre motorun yatay yönde daha fazla salım yapmasından kaynaklanmaktadır. Motor tek silindirli olduğu için ve tam yük altında çalıştırıldığından dolayı yatay yönde daha fazla salım yapmaktadır. Bu durum atalet kuvvetlerinin yatay yönde en büyük, yanal ekseninde ise en küçük olmasından kaynaklanmaktadır. Tüm yakıtlar için 225 bar enjeksiyon basıncında 210 bara göre daha küçük ivme değerleri elde edilmiştir. Bu durum 225 barda yanmanın daha düzenli olmasından kaynaklanmaktadır. 2,5 Nm ve 10 Nm'de en küçük ivme değerleri elde edilir iken, 5 Nm ve 7,5 Nm'de ise en büyük ivme değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 6.1. 210 ve 225 bar enjektör basıncı, farklı tork değerlerinde yakıtların x,y,z eksenleri için a_{rms} verileri.

Yakıtlar	Tork(Nm)	Ch1(x)(m/s ²)		Ch2(y)(m/s ²)		Ch3(z)(m/s ²)	
		210 bar	225 bar	210 bar	225 bar	210 bar	225 bar
B0	2,5 Nm	17,1115	14,48996	14,48996	9,58457	9,58457	6,60932
	5 Nm	19,10541	19,93218	19,93218	12,03983	12,03983	9,07364
	7,5 Nm	18,3757	23,05341	23,05341	13,63653	13,63653	11,25348
	10 Nm	14,926	18,82202	18,82202	11,55281	11,55281	9,47466
B10	2,5 Nm	17,58427	14,75678	14,75678	8,65480	8,65480	7,08394
	5 Nm	20,01144	17,38157	17,38157	11,29663	11,29663	7,94265
	7,5 Nm	21,68339	21,02016	21,02016	13,27430	13,27430	9,82586
	10 Nm	20,13422	18,82202	18,82202	11,55281	11,55281	9,47466
B20	2,5 Nm	10,87129	14,75678	14,75678	8,65480	8,65480	7,08394
	5 Nm	16,99902	17,38157	17,38157	11,29663	11,29663	7,94215
	7,5 Nm	18,47591	21,04095	21,04095	13,27430	13,27430	9,82586
	10 Nm	16,28125	21,02016	21,02016	11,96836	11,96836	11,27616
B50	2,5 Nm	16,98412	15,22742	15,22742	9,10887	9,10887	7,12391
	5 Nm	22,27591	21,41960	21,41960	7,12391	7,12391	10,02130
	7,5 Nm	21,23542	20,26997	20,26997	11,98924	11,98924	10,50147
	10 Nm	15,13835	16,94848	16,94848	10,90657	10,90657	8,85854

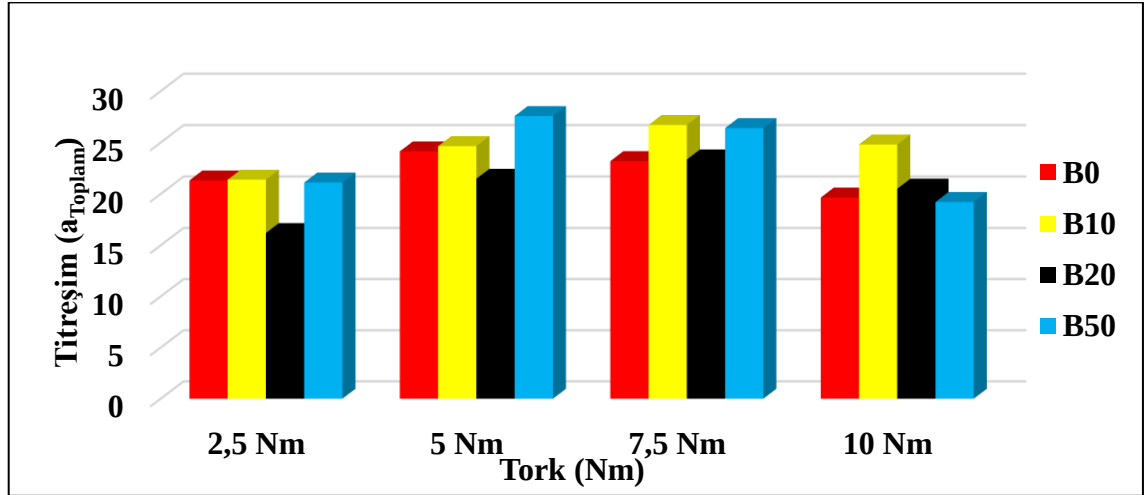
Her bir tork değeri için, tüm eksenlerden gelen Ch1, Ch2 ve Ch3 değerleri düzenlenmiş ve toplam titreşim ortalama değerleri a_{Toplam} (a_t) elde edilmiştir. Tüm eksenlerdeki a_t değerini elde etmek için, her bir eksenindeki rms ivme değerleri kullanılmıştır. Bu işlem için Eşitlik 6.2 kullanılmıştır.

$$a_{Toplam} = \sqrt{a_{rms(x)}^2 + a_{rms(y)}^2 + a_{rms(z)}^2} \quad (6.2)$$

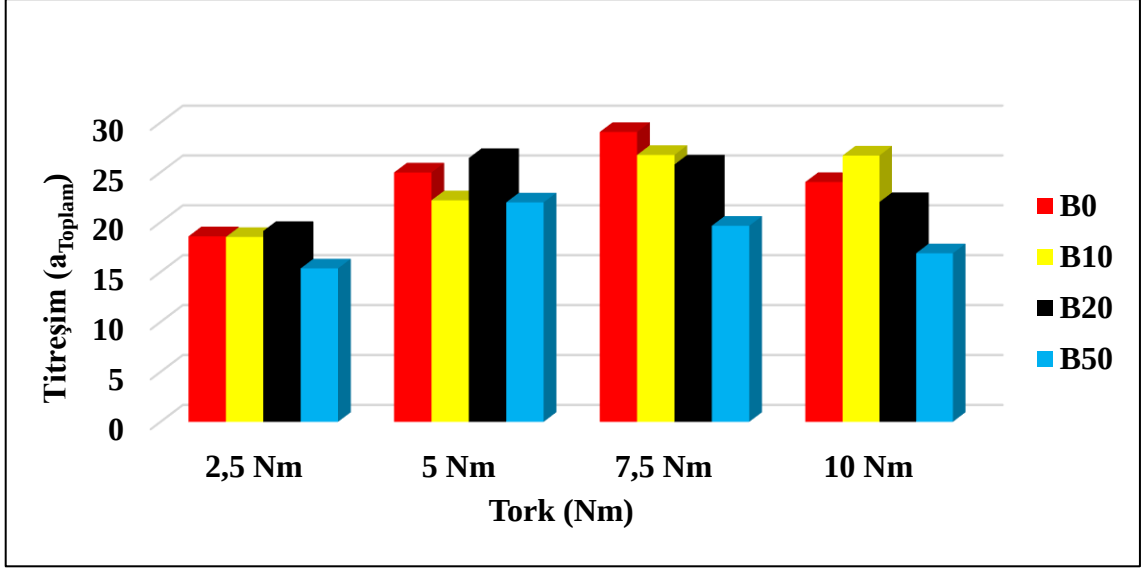
Bu denklemde;

a_{Toplam} , yatay eksenler ve dikey eksenini oluşturan $a_{rms(x)}$, $a_{rms(y)}$ ve $a_{rms(z)}$ değerlerinin karelerinin toplamının kareköküdür. Yani rms ivme değeridir. Şekil 6.19 ve 6.20'de 210 bar ve 225 bar enjektör basınçlarında deney yakıtlarının rms ivme değerlerinden oluşan a_{Toplam} titreşim grafiği verilmiştir.

210 bar enjektör basıncına göre motorun titreşim değeri 7,5 Nm'ye kadar belli oranlarda artmış, sonrasında ise düşmüştür. Yakıtların 7,5 Nm tork değerine kadar ısı verimi artış göstermiş, silindir içi yanma basıncı artmıştır. Yükselen yanma basıncı a_{Toplam} değerini artırdığından titreşim miktarında artış olmuştur. Ancak 10 Nm'de B10 yakıtında çok düşüş olmamasına rağmen diğer yakıtların titreşim miktarı oldukça düşmüştür. Çünkü yüksek tork değerinde yanma bozulur ve yakıtların ısı verimi düşer. Bundan dolayı 10 Nm yük altındaki motorun titreşim miktarında düşüş olur. B0 ve B10 yakıtlarının titreşim miktarları en yüksek iken, B20 yakıtı genel olarak tüm tork değerlerinde diğer yakıtlara göre daha düşük değerdedir. En düşük titreşim değeri 10 Nm tork değerinde B50 yakıtına aittir. Yüksek tork altında yüksek viskozite ve yoğunluğa sahip B50 yakıtının yanma verimi ve ısı değeri kötüleştiğinden en düşük miktarda kalmıştır.



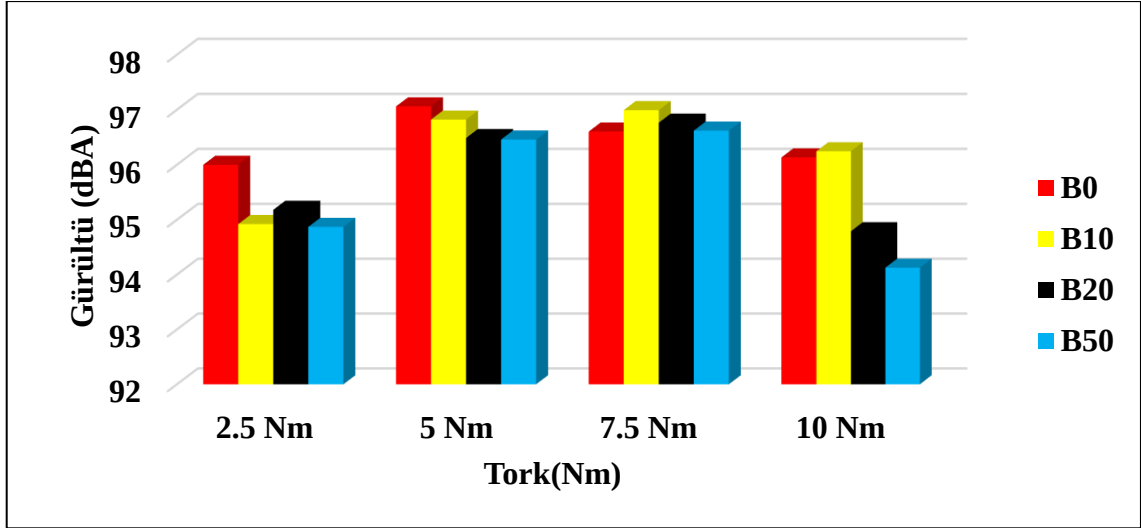
Şekil 6.19. 210 bar enjektör basıncı (2,5,5,7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının titreşim grafiği.



Şekil 6.20. 225 bar enjektör basıncı (2,5,5,7,5 ve 10)Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının titreşim grafiği.

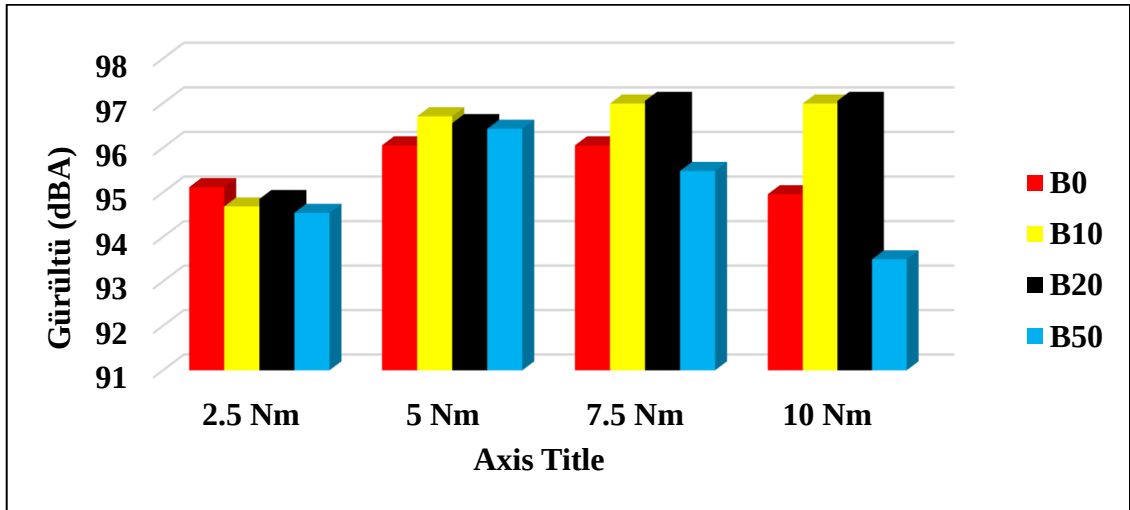
6.3.2. Motor Gürültü Seviyesi

Şekil 6.21’de 210 bar enjektör basıncında dört ayrı tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının gürültü grafiği verilmiştir. Deney yakıtlarının kimyasal ve fiziksel özellikleri motor gürültüsünü etkileyen başlıca sebeplere bağlıdır. Motor gürültüsünün bir diğer sebebi ise yakıtın setan sayısıdır. Düşün setan sayısına sahip yakıtların, tutuşma gecikmesi süresi artar ve silindirde biriken fazlalık yakıt ani bir kontrolsüz yanmaya dönüşerek motorun daha gürültülü çalışmasına sebep olur. Biyodizel içerikli yakıtların viskozitesinin B0’a göre daha yüksek olması, yakıtın püskürtüldüğü anda tam olarak atomize olamamasına neden olur. Bundan dolayı yanma anında daha az yakıt yanmaya katılır ve motor gürültüsü azalır. Ayrıca B0’ın alt ısı değerinin yüksek olması, yanma sonu açığa çıkan enerji ve gürültü miktarını artırır. Şekil 6.21’de B0 ile genelde daha büyük gürültü seviyelerinin elde edildiği görülmektedir. Biyodizel oranının artışı ile gürültü seviyesinin azaldığı görülmektedir. Motor sabit devirde kendisinden beklenen işi karşılayabilmek için püskürttüğü yakıt miktarı torka bağlı olarak artmaktadır. Bundan dolayı 7,5 Nm tork değerine ulaşıncaya kadar motor gürültüsü belli oranlarda artış göstermiştir. Ancak 10 Nm’de gürültü seviyesi tekrar düşüş göstermiştir. Çünkü 10 Nm tork değerinde yanma kötüleşmeye başladığından ısı veriminde ve motor gürültüsünde düşüş olmuştur.



Şekil 6.21. 210 bar enjektör basıncında (2,5,5,7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının gürültü grafiği.

Şekil 6.22’de 225 bar enjektör basıncı için 4 ayrı tork değeri ve B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının gürültü grafiği verilmiştir. 225 bar enjektör basıncında 210 enjektör basıncındaki grafik verileriyle genel olarak aynı değerlere sahiptir. Ancak 10 Nm’de B10 ve B20 yakıtları için gürültü seviyesinde artış olmuştur. 210 bar enjektör basıncında 10 Nm tork değerinde yanma kötüleştiğinden ısı verim düşmüş ve gürültü de buna orantılı olarak düşmüştü. Ancak 225 bar enjektör basıncında yakıt atomizasyonu daha iyi olduğundan ısı verim artmış ve buna bağlı olarak motor gürültüsünde de artış olmuştur.



Şekil 6.22. 225 bar enjektör basıncında (2,5,5,7,5 ve 10) Nm tork değerinde B0, B10, B20 ve B50 yakıtlarının gürültü grafiği.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada deneyler iki farklı (210 ve 225 bar) enjektör basıncında ve dört farklı (2,5-5-7,5-10 Nm) yük altında biyodizel içerikli yakıtlar ile yapılmıştır. Deneyler öncesinde motor üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Maksimum silindir basıncı, ısı yayılım oranı, egzoz emisyonları (O_2 , CO, CO_2 , HC ve NO_x) değerleri, özgül yakıt tüketimi, gürültü ve titreşim değerleri deneysel olarak belirlenerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Biyodizel üretimi için ülkemizde yetiştirilen bitki miktarı talepleri karşılamamaktadır. Ancak ülkemizin ekim alanları talepleri karşılamak için yeterlidir. Biyodizel üretimi için ülkemizdeki tarımsal ürünlerin yetiştiricileri maddi olarak ve teknik anlamda teşvik edilmelidir.
- Pamuk yağı biyodizelinin fiziksel ve kimyasal özellikleri dizel yakıtına benzerlik göstermiştir.
- 210 bar ve 225 bar enjektör basıncında yapılan bütün deneylerde çok ciddi bir değişiklik görülmemiştir. 225 bar'da 210 bar'a göre egzoz gaz sıcaklıkları ortalama %25 oranında yükselmiş, CO emisyonunda ise ortalama %20 oranında düşüş olmuştur. HC emisyonlarında ortalama %10 civarında düşüş olmuştur. Enjektör basıncı artırıldığında ısı verim yükselmiştir. Biyodizel kullanımı için enjektör basıncı yükseltilmelidir. Basınç, ısı yayılım ve yakıt tüketimi değerleri göz önüne alındığında çok ciddi bir değişiklik olmamıştır.
- 2,5 Nm'den 10 Nm'ye kadar tork artırıldığında sadece O_2 oranında düşüş olmuştur. Diğer emisyonlar tork değerine göre artış göstermiştir.
- 210 bar enjektör basıncı için biyodizel-eurodizel yakıt karışımlarının CO emisyonu eurodizel yakıtına göre %20 daha düşük çıkmıştır. CO_2 gazı ise her yakıt için yakın değerlerde kalmıştır. Fakat 225 bar için CO emisyonu B20 ve B50 yakıtlarında daha yüksek çıkmıştır. CO_2 emisyonu ise yakıtlardaki biyodizel oranı arttıkça artmaya devam etmiştir.
- Biyodizel yakıtlarının yüksek oksijen oranı sayesinde tutuşma gecikmesinde çok

değişiklik olmamıştır. B10 ve B20 yakıtlarında bu durum böyledir. Ancak yakıt içerisindeki biyodizel oranı arttıkça yakıtın setan sayısı düşer ve viskozitesi artar. Bundan dolayı B50 yakıtı ve 10 Nm tork değerinde tutuşma gecikmesini uzatarak maksimum basıncı düşürmüştür. Bundan dolayı B20 yakıtının ısı yayılım değeri, her tork değeri için daha düzenlidir. Bu anlamda B20 yakıtının B0'a benzerliği daha fazladır.

- 210 bar enjeksiyon basıncında 7,5 Nm tork değerine kadar HC emisyonları birbirine yakın değerler almıştır. Ancak 10 Nm'de ve B50 yakıtında aniden yükselmiştir. Çünkü B50 yakıtının viskozite ve yoğunluğu yüksektir. Setan sayısı düşüktür. B50 yakıtının bu olumsuz özelliğinden dolayı silindir içerisindeki yanma oranı azalmıştır. Bundan dolayı ise B50 yakıtının NO_x emisyonlarında düşüş olmuştur.
- 225 bar enjektör basıncında 210 bar basınca göre 2,5 ve 5 Nm'de özgül yakıt tüketimi yaklaşık %15 oranında artış göstermiştir. 7,5 ve 10 Nm'de ise sabit kalmıştır. 210 bar enjektör basıncı ve 10 Nm tork değeri haricinde biyodizel katkılı yakıtların özgül yakıt tüketimi B0 yakıtından yüksek çıkmıştır. B10 ve B20'nin özgül yakıt tüketimleri B0' en yakın değerdedir.
- Titreşim ve gürültü grafikleri karşılaştırıldığında iki grafiğin birbirine genel itibariyle benzediği görülmektedir. Çünkü motorun titreşimi arttığında gürültüsü de aynı oranda artmaktadır, Titreşim ve gürültü grafiğine göre 2,5 ve 5 Nm tork değerlerinde veriler B0 için, biyodizel içerikli yakıtlardan daha yüksek çıkmıştır. 7,5 Nm'de B20 yakıtının titreşim ve gürültü değeri en yüksek olurken, 10 Nm'de B50 yakıtının titreşim ve gürültü değeri en düşük çıkmıştır.
- 10 Nm'de B50 yakıtı kullanımı motor performansı ve egzoz emisyonlarında olumsuz sonuçlar vermiştir. B50 yakıtının yoğunluğu ve viskozitesini düşürecek, setan sayısını artıracak çalışmalar yapılmalıdır.

8. KAYNAKÇA

- [1] F. Uyar. (2019, 12 Nisan). *%100 Yenilenebilir enerji, mevcut enerji sisteminden daha ucuz!* [Online]. Erişim: <https://www.enerjibes.com/yenilenebilir-enerji-mevcut-enerji-sisteminden-daha-ucuz/>.
- [2] H. Karaca, kişisel görüşme, Şubat 2017.
- [3] A. Satman, "Türkiye'de enerji ve geleceği." İstanbul Teknik Üniversitesi, Türkiye. Nisan 2007.
- [4] Ş. Altun ve C. Öner, "Tek silindirli bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak sasam yağı kullanımının deneysel incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2004.
- [5] A. Keskin, "Pamuk yağı metil esteri-eurodizel yakıt karışımlarının direkt püskürtmeli bir dizel motorunun yanma, performans ve emisyon karakteristiklerine etkisi." *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 34, sayı 2, 2018.
- [6] A. Çalık, "Pamuk yağı biyodizelinin motor ses seviyesine olan etkilerinin incelenmesi," *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 32, s. 4, ss. 147-152, 2017.
- [7] S. Koyun, "Pamuk yağı metil esterinin yakıt olarak bir dizel taşıtında kullanımının egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2009.
- [8] M. Çelik, H. Solmaz ve H. S. Yücesu, "Pamuk yağı metil esterine N-Heptan katkısının motor performansı ve yanma karakteristiklerine etkisinin incelenmesi." *Gazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 30, sayı 3, ss. 365-369, 2015.
- [9] C. Bayındırlı, M. Demiralp ve M. Çelik, "Pamuk yağı metil esteri karışımlarının motor emisyonlarına etkisinin belirlenmesi." *6. Otomotiv Teknolojileri Kongresi*, ss. 39-40, Bursa, Türkiye, Haziran 2012.
- [10] D. Şimşek ve N. Y. Çolak, "Biyodizel/Propanol yakıt karışımlarının dizel motor emisyonlarına etkisinin incelenmesi." *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 6, sayı 1, ss. 166-174, 2019.
- [11] İ. Sezer, "Dizel yakıtı, biyodizel yakıtı ve karışımlarının içten yanmalı motorlara etkilerinin teorik incelenmesi." *Gazi üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi*, c. 4, sayı 31, ss. 799-812, 2016.
- [12] V. Ayhan, "Ayçiçek yağı metil ester karışımlarının DI bir dizel motorunun performansı ve emisonlarına etkisi." *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, c. 7, sayı 1, ss. 67-73, 2019.
- [13] The Process of Refining Crude Oily. (2016, Eylül 14). [Online]. Erişim: <http://allabtinstru.blogspot.com/2016/09/ProcessofRefiningCrudeOil.html>.
- [14] P. Ayaz, "Dizel motorlarda yanma," Termik Motorlar, İstanbul, Türkiye: Hiperlink Yayınları, 2011, ss. 105.

- [15] Tesisat. (2019, 19 Şubat). *Motorin nedir? Yapısı ve özellikleri nelerdir*. [Online]. Erişim: <https://www.tesisat.org/motorin-nedir-yapisi-ozellikleri.html>.
- [16] B. Safgönül, "Vuruntu dayanımı," *Pistonlu Motorlar*, İstanbul, Türkiye: Birsan yayınevi, 1980, ss. 136-145.
- [17] P. Ülger, B. Akdemir, B. Kayışoğlu, C. Sağlam, T. Akbaş, Y. Bayhan ve D. Korkmaz, "Dizel İndeksi," *Termik Motorlar*, İstanbul, Türkiye: Hiperling Yayınları, 2011, ss. 107.
- [18] P. Ülger, B. Akdemir, B. Kayışoğlu, C. Sağlam, T. Akbaş, Y. Bayhan ve D. Korkmaz, "Dizel yakıtların bazı fiziksel özellikleri," *Termik Motorlar*, İstanbul, Türkiye: Hiperling Yayınları, 2011, ss. 106.
- [19] Parker Blog-Su. 2019, Mart 08. *Bir Dizel Motorun En Büyük Düşmanı*. [Online]. Erişim: <http://blog.parker.com/tr/su-bir-dizel-motorun-en-buyuk-dusmani>.
- [20] M. Öcal, "Setan Sayısı Hakkında 6 Soru." *Mühendis ve Makina Dergisi*, c. 48, ss. 568.
- [21] Enerji İşleri Genel Müdürlüğü. (2019, Şubat 20). [Online]. Erişim: <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyodizel.aspx>.
- [22] E. Leblebicioğlu. (2019, Ocak 21). *Biyodizel Nedir ? Üretimi ve Kullanım Alanları*. [Online]. Erişim: <https://muhendistan.com/biyodizel-nedir/>.
- [23] Ö. Y. Adıgüzel, *"Biyokütle Enerjisi"*, İstanbul, Türkiye: 2015.
- [24] Ş. Altun ve C. Öner, "Tek silindirli bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak susam yağı kullanımının deneysel incelenmesi," Yüksek lisans tezi, Makine Eğitimi Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye: 2004.
- [25] B. Durmuş ve N. N. Koçer, "Türkiye'de yetişen yağlı tohumlardan biyodizel üretim potansiyelinin incelenmesi," *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, c. 7, sayı 2/2, 2017.
- [26] A. Sabancı, M. Atal ve A. Yaşar, "Türkiye'de Biyodizel Kullanım ve Olanakları," *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, c. 1, sayı 2, ss. 34, 2006.
- [27] H. Ögüt ve H. Oğuz, "Biyobozunabilirlik." *Biyodizel Üçüncü Milenyum Yakıtı*, İstanbul, Türkiye: Nobel Yayın Dağıtım, 2006, pp. 1-80.
- [28] T. Ölçüm, "Biyodizel teknolojisi," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye: 2006.
- [29] A. Akaryalı, "Biyodizelin yakıtın uluslar arası standartlarda üretimi," *Bioenerji Sempozyumu*, İzmir, Türkiye, 2004.
- [30] F. Karaosmanoğlu, "Türkiye için çevre dostu yenilebilir bir yakıt adayı biyodizel," *Ekojenerasyon Dünyası-Kojenerasyon Dergisi*, sayı 10, ss. 50-56, 2002.
- [31] C. Demir, "Biyodizel Standartları ve Analiz Yöntemleri," *Biyoyakıt Dünyası Dergisi*, Ankara, Türkiye, c. 1, sayı 1, ss. 48-49, 2006.
- [32] Z. Ö. Özdemir ve H. Mutlubaş, "Biyodizel üretim yöntemleri ve çevresel etkileri," *Kırklareli University Journal of Engineering and Science* 2, 2016
- [33] B. Şener ve A. Çakar, "Biyodizel Nedir? Nasıl Çalışır?," *Ders notları*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [34] Asvarta, köhler, lombardini. (2019, 22 Mart). *Diesel lombardini engine 15LD350 V. Farming*. [Online]. Available: <https://www.asvarta.com/gb/lombardini-15ld-350-engine.html>.
- [35] Ktest, (2019, 21 Haziran). *Bilgisayarlı egzoz emisyon cihazı*. [Online]. Erişim:

- <http://www.ktest.com.tr/tr/urun.asp?kid=1&uid=2>.
- [36] R. Behçet, "Bir dizel motorda yakıt olarak mullanılan balık yağı metil esteri karışımlarının motor performans ve emisyonlarına etkisi," 6. *International Advanced Technologies Symposium*, Batman, Türkiye, 2011.
- [37] A. Demir, (2016, 01 Ocak). *İçten yanmalı motorlarda yanma karakteristikleri ile ilgili literatür çalışmaları*. [Online]. Erişim: <https://www.otoguncel.com/teknik-bilgiler/icten-yanmali-motorlarda-yanma-karakteristikleri-ile-ilgili-literatur-calismalari/>.
- [38] A. Kaya, (2016, 17 Temmuz). *Techworm-Dizel motorların çalışma prensibi*. [Online]. Available: <https://www.tech-worm.com/dizel-motorlari-nin-calisma-prensibi/>.
- [39] B. Safgönül, M. Ergenekon, E. Arslan ve C. Soruşbay, *İçten Yanmalı Motorlar*, İstanbul, Türkiye: Birsan Yayınları, 1995.
- [40] H. Hanbey ve C. Öner, "Dizel ve benzin motorlarında vuruntu ve etkileri," *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi*, 2004, sayı 4, ss. 169-172.
- [41] S. Polat, "KontROLSÜZ yanma," *Dizel Motorlar*, 2011, ss. 11.
- [42] M. Çelik, H. Solmaz ve H. S. Yücesu, "Pamuk yağı metil esterine N-Heptan katkısının motor performansı ve yanma karakteristiklerine etkilerinin incelenmesi," *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 30, sayı 3, ss. 365-369, 2015.
- [43] Otomotiv teknolojisi, (2017, 07 Ocak). *Dört zamanlı motorun çalışma prensibi*. [Online]. Available: <https://otomotivteknolojisi.wordpress.com/2017/01/07/dort-zamanli-motorun-calisma-prensibi/>.
- [44] C. İlkılıç, "Biyodizel yakıtın dizel motoru performansına etkileri," *Mühendis ve Makina Dergisi*, c. 48, sayı 565, ss. 21.
- [45] A. Raşidova, "Vibe fonksiyonu kullanılarak dizel motorlarında yanma hızının gürültü emisyonlarına etkisinin incelenmesi," İstanbul, Türkiye, Mayıs 2003.
- [46] S. Polat, "KontROLSÜZ yanma," *Dizel Motorlar*, 2011, sayı 6.
- [47] A. Aktaş ve Y. Seymen, "Biyodizel ile çalışan bir dizel motorda yakıt püskürtme avansının performans ve egzoz emisyonlarına etkisi," *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 23, sayı 1, ss. 199-206, 2008.
- [48] A. Sürmen, H. Öz ve O. Borat, *İçten Yanmalı Motorlar*, İstanbul, Türkiye: Birsan Yayınevi, 2003, ss. 262-269.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Süleyman KAPLAN

Doğum Tarihi ve Yeri : 19.01.1986 - DÜZCE

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : kpln2005@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Bölüm/Program	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İmalat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	Makine Bölümü/Otomotiv Öğretmenliği	Kocaeli Üniversitesi	2010
Lise	Anadolu Teknik Lisesi Bilgisayar Bölümü (Yazılım)	Ceyhan Endüstri Teknik Lisesi	2003