

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİYODİZEL SU KARIŞIMLARININ DİZEL MOTOR PERFORMANSI VE
EMİSYONU ÜZERİNE ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

CEYLAN DAĞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. MUAMMER ÖZKAN**

İSTANBUL, 2013

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİYODİZEL SU KARIŞIMLARININ DİZEL MOTOR PERFORMANSI VE
EMİSYONU ÜZERİNE ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

CEYLAN DAĞ tarafından hazırlanan tez çalışması 11.04.2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Muammer ÖZKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Muammer ÖZKAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ertuğrul ARSLAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İrfan YAVAŞLIOL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü' nn 2011-06-01-YULAP02 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Biyodizel-su emülsiyonlu yakıtın dizel motor performansı ve emisyonuna etkilerinin araştırılması konulu yüksek lisans tez çalışmamın gerçekleşmesinde benden bilgi ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Muammer ÖZKAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam sırasında verdikleri büyük destekle ilerlememe yardım eden değerli Arş. Gör. Yasin KARAGÖZ ve EMRE ORAK'a ve çalışmalarım süresince yardımlarını esirgemeyen değerli Arş. Gör. LEVENT YÜKSEK ve Arş. Gör. ORKUN ÖZENER'e, biyodizel yakıtının laboratuvarında hazırlanması konusunda bize yardım eden Doç.Dr NALAN AKGÜN 'e teşekkürü borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında yanımda olarak büyük özveride bulunan anneme ve babama yardımları ve manevi desteğiyle her an yanımda olduğunu hissettiren Makine Mühendisi Emrah DUTKUN'a şükranlarımı sunarım.

Mart, 2013

Ceylan DAĞ

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	4
1.3 Hipotez.....	5
BÖLÜM 2	
DİZEL MOTORLARDA YANMA VE EMİSYON	6
2.1 Dizel motorlarda yanma	6
2.1.1 Tutuşma gecikmesi.....	7
2.1.2 Ani kontrollü yanma.....	8
2.1.3 Difüzyon kontrollü yanma	9
2.1.4 Art yanma	9
2.2 Dizel motorlarda emisyon.....	10
2.2.1 Azot oksit emisyonları.....	10
2.2.1.1 Azot oksit oluşum mekanizmaları.....	10
2.2.2 Partikül madde emisyonları.....	14
2.2.3 CO Emisyonları	14
2.2.4 HC Emisyonları	15

BÖLÜM 3

BİYODİZEL	17
3.1 Biyodizelin elde edilmesi ve yakıt olarak bir dizel motora etkisi	17
3.1.1 Biyodizelin üretimi için kaynaklar	19
3.1.2 Kanola Yağı	19
3.1.3 Biyodizelin üretimi	20
3.1.3.1 Transesterifikasyon yöntemi	21
3.2 Biyodizelin avantajı	24
3.3 Biyodizelin dezavantajı	24
3.4 Biyodizelin yakıt karakteristik özellikleri	24
3.5 Biyodizelde emisyonlar	30
3.6 Biyodizelin performansı	31
3.6.1 Biyodizelin yanması	32
3.6.2 Karbon birikintisi	32
3.6.3 Yağlama yağına etkisi	32

BÖLÜM 4

NO _x EMİSYONU AZALTMA TEKNİKLERİ	34
4.1 Motorda yapılan modifikasyonlar	34
4.1.1 Yanma odası modifikasyonları	35
4.1.2 Püskürtme avansının azaltılması	35
4.1.3 Egzos gazı resirkülasyonu (EGR)	36
4.1.4 Seçici Katalitik İndirgeme (SCR)	36
4.1.5 Katalitik konvertörler	36
4.1.6 HCCI	37
4.2 Yakıtlarda yapılan geliştirmeler	37
4.2.1 Dizel yakıtın geliştirilmesi	37
4.2.1.1 Setan sayısı	37
4.2.1.2 Yakıt yoğunluğu	38
4.2.1.3 Aromatlar	38
4.2.1.4 Sülfür içeriği	38
4.2.2 Alternatif yakıt ile yapılan geliştirmeler	39
4.2.2.1 Biyodizel	39
4.2.2.2 Dimetileter(DME)	39
4.2.2.3 Dimetoksi metan (DMM)	40
4.2.2.4 Fischer Tropsch Dizel	40
4.2.3 Suyun yakıtı ilave edilmesi	40
4.2.3.1 Fumigasyon	40
4.2.3.2 Direk püskürtme	41
4.2.3.3 Yakıt su emülsiyonu	41
4.2.3.4 Emülsiyon tekniği	41
4.2.3.5 Biyodizelde emisyonların azaltılması	42
4.2.3.6 Yakıtı su eklenmesinin emisyonunlara ve yanmaya etkisi	43

4.2.3.7	Mikroparçalanmalar ve oluşum mekanizması	43
4.2.3.8	Su gaz reaksiyonları.....	45
4.2.4	Su eklenmesiyle motorda karşılaşılan problemler	46
4.2.4.1	Motor korozyonu	46
4.2.4.2	Yakıt Stabilitesi.....	46
BÖLÜM 5		
DENEYDE KULLANILAN YÖNTEM VE MATERYALLER		
47		
5.1	Deneyin amacı.....	47
5.2	Deney yöntemi	47
5.2.1	Deney motoru.....	49
5.2.2	Biyodizel su emülsiyonlarının hazırlanması	50
5.2.2.1	Yakıt testleri ve özellikleri	52
5.2.2.2	Emülsiyon ünitesi.....	53
5.2.2.2.1	Dönel karıştırıcı.....	54
5.2.2.2.2	Püskürtme evresi	55
5.3	Donanımlar.....	57
5.3.1	DC Motor	57
5.3.2	Load cell.....	58
5.3.3	Gösterge	59
5.3.4	Devir sensörü	60
5.3.5	Artımsal kodlayıcı özellikleri	61
5.3.6	Basınç sensörü	62
5.3.7	Yakıt debisi ölçümü	63
5.3.8	Sıcaklık ölçümü.	65
5.3.9	Emisyon ölçümü.....	66
5.4	Motor ve yakıt performans ölçümleri	68
5.4.1	Moment ve güç.....	68
5.4.2	Özgül yakıt tüketimi	68
5.4.3	Termik verim.....	69
5.4.4	Alt ısı değer hesabı	69
5.4.5	Strok hacmi hesabı.....	70
5.4.6	Silindir gaz basıncı ölçümü	71
5.4.7	Isı dağılımının analizi.	72
BÖLÜM 6		
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....		
75		
KAYNAKLAR.....		
92		
ÖZGEÇMİŞ.....		
99		

SİMGE LİSTESİ

CO	Karbon Monoksit
CO	Karbon Monoksit
CO	Hb Karboksihemoglobin
H	Hidrojen
HO2O	Peroksi Radikali
H2SO3	Sülfüroz asit
Hb	Hemoglobin
HC	Hidrokarbon
HFK	Hava Fazlalık Katsayısı
HNO3	Nitrik Asit
N2	Azot
N2O	Diazotmonoksit
N2O	Nitrözoksit
N2O2	Diazotdioksit
N2O3	Azot Sesquioksit
N2O3	Diazottrioksit
N2O4	Azot Tetraoksit
N2O5	Azot Pentoksit
N2O5	Diazotpentaoksit
NO	Azot Monoksit
NO2	Azot Dioksit
NOx	Azot Oksitleri
O2	Oksijen
PAN	Peroksi Asetil Nitrat
PN	partikül sayısı
SO2	Kükürt Dioksit
SO3	Kükürt Trioksit
SO4	Kükürt Tetraoksit
S2O3	Kükürt Seskioksit
S2O7	Kükürt Heptaoksit
SO	Kükürt MonoksitSOx Sülfür Oksitleri

KISALTMA LİSTESİ

dak	Dakika
dev	Devir
K	Kelvin
K	Şekil Katsayısı, Boyutsuz
kCal	Kilokalori
Kg	Kilogram
Lt	litre
M	Partikül Konsantrasyonu
MAK	Maksimum
mg/m ³	Miligram Bölü Metreküp
mm	Milimetre
P.M	Partikül Madde
ppm	Milyonda Bir
bsfc	Özgül yakıt sarfiyatı
CO	Karbonmonoksit
CO ₂	Karbondioksit
O ₂	Oksijen
HC	Hidrokarbonlar

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2. 1 Püskürtme demetinin modellenmiş hali	7
Şekil 3. 1 Transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimi	23
Şekil 4. 1 Su damlacıkları etrafında oluşan yağ membranı..	44
Şekil 5. 1 Deney düzeneğinin şematik resmi	48
Şekil 5. 2 Deney düzeneğinin resmi	49
Şekil 5. 3 Deney motorunun görüntüsü	49
Şekil 5. 4 Su biyodizel emisyonları	51
Şekil 5. 5 Karl Fisher su tayini cihazı.....	51
Şekil 5. 6 Farklı oranda su içeren emülsiyonların karıştırma sürelerine göre ayrışma zamanlarının değişimi.....	52
Şekil 5. 7 Karıştırma düzeneğinin şematik resmi	54
Şekil 5. 8 Dönel karıştırıcının kesiti	55
Şekil 5. 9 Emülsiyon ünitesinin resmi.....	56
Şekil 5.10 Emülsiyon ünitesinin parçaları.....	56
Şekil 5.11 Frenleme kuvvet ölçü sistemi	57
Şekil 5.12 Yük hücresi.....	59
Şekil 5.13 Gösterge	60
Şekil 5.14 Devir sensörü	61
Şekil 5.15 G1355 model IVO marka artımsal kodlayıcı	61
Şekil 5.16 Basınç sensörü	62
Şekil 5.17 Lecroy marka Osiloskop.....	63
Şekil 5.18 Silindir basınç ölçüm düzeneği.....	63
Şekil 5.19 Titan marka oval dişli debimetre	64
Şekil 5.20 Debimetrenin deneydeki kullanımı.....	65
Şekil 5.21 Soğutma suyu giriş ve çıkışlarında konumlandırılmış termokupplar	66
Şekil 5.22 AVL DICOM 4000 emisyon cihazı	67
Şekil 5.23 415 S Filtre tipi is ölçüm cihazı.....	67
Şekil 5.24 İis ölçüm cihazı egzoz	67
Şekil 5.25 İis ölçüm cihazı probu.....	68
Şekil 5.26 Su oranına bağlı alt ısı değer değişimi	70
Şekil 5.27 Motor hacminin krank açısına bağlı değişimi	71
Şekil 5.28 Saf biyodizelin,krank açısına göre silindir basınç grafiği	72
Şekil 5.29 Saf biyodizele ait ısı dağılım grafiği	74

Şekil 6.1	Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların moment eğrilerinin karşılaştırılması.....	77
Şekil 6.2	Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların güç eğrilerinin karşılaştırılması	78
Şekil 6.3	Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların hava fazlalık katsayısı eğrilerinin karşılaştırılması.....	79
Şekil 6.4	Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların özgül yakıt sarfiyatlarının karşılaştırılması	79
Şekil 6.5	Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların termal verimlerinin karşılaştırılması.....	80
Şekil 6.6	Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların CO oluşum eğrilerinin g/kWh cinsinden karşılaştırılması.....	81
Şekil 6.7	Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların HC oluşum eğrilerinin g/kWh cinsinden karşılaştırılması.....	82
Şekil 6.8	Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların CO ₂ oluşum eğrilerinin g/kWh cinsinden karşılaştırılması.....	82
Şekil 6.9	Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların O ₂ oluşum eğrilerinin g/kWh cinsinden karşılaştırılması.....	83
Şekil 6.10	Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların NO _x oluşum eğrilerinin g/kWh cinsinden karşılaştırılması.....	84
Şekil 6.11	Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların is oluşum eğrilerinin g/kWh cinsinden karşılaştırılması.....	85
Şekil 6.12	Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların egzoz gazı sıcaklıklarının karşılaştırılması.....	86
Şekil 6.13	Silindir gaz basıncının krank açısına göre değişimi	87
Şekil 6.14	Isı dağılımının krank açısına bağlı değişimi	88

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3. 1	Biyodizel standardı (ASTM D6751-07b 2007)25
Çizelge 3. 2	Biyodizel standardı (TSE EN ISO 14214).....26
Çizelge 5. 1	Deney motorunun teknik özellikleri50
Çizelge 5. 2	Deney yakıtının fiziksel ve kimyasal özellikleri.....53
Çizelge 5. 3	Yük hücresinin teknik özellikleri58
Çizelge 5. 4	AVL DICOM 4000 teknik özellikleri66
Çizelge 5. 5	Motor katalog değerleri70
Çizelge 6. 1	Saf biyodizelin ölçülen bazı motor performans ve emisyon değerleri75
Çizelge 6. 2	%3,5 su konsantrasyonlu emülsiyon yakıtının ölçülen motor performans ve emisyon değerlerinin karşılaştırılması76
Çizelge 6. 3	%10 su konsantrasyonlu emülsiyon yakıtının ölçülen motor performans ve emisyon değerlerinin karşılaştırılması76

**BİYODİZEL SU KARIŞIMLARININ DİZEL MOTOR PERFORMANSI VE
EMİSYONU ÜZERİNE ETKİLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

Ceylan DAĞ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Muammer ÖZKAN

Fosil yakıtlar günden güne tükenirken dünyanın enerji gereksinimini karşılamak için alternatif bir yakıtı ihtiyaç duyulmuştur. Biyodizel bu enerji isteğini karşılamak için mevcut bulunan en iyi kaynaklardan biridir. Petrol ürünlerinin kullanımı endüstrinin gelişmesinde, ulaşımda ve tarımda çok önemli bir rol oynasa da günden güne azalmakta ve çevreyi zararlı etkileriyle tehdit eden bir hal almaktadır. Yolcu ve yük taşımacılığında kullanılan taşıtların büyük çoğunluğunda dizel motorları kullanılmaktadır. Dizel yakıtlar yüksek verimliliğinden ve güvenilirliğinden dolayı tercih edilmektedir fakat dezavantajı yüksek is ve NO_x emisyonlarıdır. Dizel motorlarının hava fazlalığı ve yüksek sıkıştırma oranları ile çalışmaları benzin motorlarına göre azot oksit (NO_x) oluşturma potansiyellerini arttırmaktadır. Özellikle, yanma prosesinin ana ve art ürünlerinden olan NO_x'in asit yağmurlarında ve insan sağlığında ciddi derece etkili olmasından dolayı, birçok çalışma yapılmış ve bu çalışmalarla, azot oksiti (NO_x) azaltmanın en etkili yolunun yanma sırasındaki maksimum sıcaklığın düşürülmesi olduğu belirlenmiştir. Biyodizel, oksijen içerikli, biyolojik olarak parçalanabilen ve toksik içeriği olmayan çevre dostu bir yakıttır. Biyodizeldeki yüksek O₂ içeriği, yanma veriminin artmasına partikül maddelerin, CO ve HC emisyonlarının azalmasına fakat NO_x emisyonlarının artmasına neden olmaktadır.

Emulsifikasyon tekniği, dizel motorunun oluşturduğu kirliliği azaltmak için kullanılan en önemli metotlardan biridir. Bu çalışmada, tam yük şartında çalıştırılan tek silindirli dizel motorunda su/biodizel karışımlarının motor performansına, egzoz sıcaklığına ve

emisyollarına etkisi araştırılmıştır. Çalışmada referans yakıt olarak biyodizel ve içerisinde hacimsel olarak %3,5 ,%5, %10 ve %12 oranında su bulunan su/biodizel emülsiyonları kullanılmıştır. Sonuçlar, yakıt içerindeki su oranının artışıyla motor torku, gücünde azalma ve özgül yakıt tkretiminde artma olduğunu, karbon monoksit ve hidrokarbon emisyollarının karışım içindeki su oranının artmasıyla arttığını, azot oksitlerin ve is oluşumunun azaldığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: dizel motor, biyodizel, emülsiyon tekniği, egzos emisyolları, NO_x emisyonu, biyodizel su emülsiyonu

**EXPERIMENTAL INVESTIGATING OF BIODIESEL UND WATER BLENDS ON
EFFECT OF DIESEL MOTOR PERFORMANCE AND EMISSIONS**

Ceylan DAĞ

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Muammer ÖZKAN

Decreasing of the known fossil fuels day by day, an alternative fuel is needed to meet world's energy. Biodiesel is one of the best available sources to meet these request. The use of petroleum products in the development of industry, transport, agriculture play an important role and is becoming a threat to the environment with harmful effects. In the majority of vehicles which are being used for passenger and cargo, diesel engines are being used. Diesel fuel is preferred because of the it's high efficiency and guarantee but high soot and NOx emissions are the most important disadvantages. Working with higher excess air and compression ratios in Diesel engines than the petrol engines, the nitrogen oxide (NOx) creating potential increases. In particular, due to the NOx which is main and combustion products of combustion process have a serious influence acid rains and human health, many studies have been made and in these studies, it is determined that the most effective way to reduce the nitrogen oxide (NOx) is to reduce the peak temperature during combustion. Biodiesel is non-toxic, biodegradable, environmental friendly fuel. High O₂ content of biodiesel leads to combustion efficiency, reduction of CO and HC emission but increase NOx emissions.

Emulsification technique is one of the most important methods that is used to reduce the pollution created by diesel engine. In this study, a single cylinder diesel engine with

different biodiesel water blends was experimentally tested to investigate and analyse performance, emission characteristics and exhaust temperature. Neat Biodiesel als reference fuel ,emulsified biodiesel fuels of 3,5 ,5, 10 and 12 water/Biodiesel ratios by volume were used in a single cylinder, pre-combustion engine, operating at versus engine speed. The results show that the brake engine torque and the brake engine power decrease as the water percentage in the emulsion increases but the brake specific fuel consumption (BSFC) increases as the percentage of water increases in the emulsion fuel. In addition, carbon monoxide (CO) and hydrocarbons (HC) increase as the percentage of the water increases in the emulsion fuel. However nitrogen oxide (NO_x) and smoke emissions decrease as the percentage of water increases in the emulsion fuel.

Key words: diesel engine, biodiesel, emulsification technique, exhaust emissions, NO_x emission, biodiesel-water emulsions

1.1 Literatür Özeti

NOx emisyonlarını azaltmak ve yanma verimliliğini arttırmak için uygulanan yöntemlerden biri de su-yakıt emülsiyonu oluşturmaktır. Bu yüzden alternatif yakıtlardan biri olan biyodizel emülsiyonlarında da NOx emisyonlarının azalacağı öngörülmektedir [1].

Masjuki et al, %5,%10 oranında su içeren palmiye yağı metil esterli yakıt ile indirekt püskürtmeli dizel motorunun performansını incelemiştir. Sonuçlar CO, HC ve NOx emisyonlarının azaldığını ve motor komponentlerinin anti-aşınma özelliklerinin iyileştiğini göstermektedir [2].

D.H. Qi, H. Chen, R.D. Matthews, ve Y.ZH. Bian tek silindirli, doğal çekişli, dört stroklu su soğutmalı direkt püskürtmeli bir dizel motorda saf biyodizel ve mikroemülsiyonlu biyodizeli farklı koşullarda test etmiştir. Biyodizel ile karşılaştırıldığında, mikro emülsiyonlu yakıtlarda pik silindir basıncının biyodizel ile aynı olduğu, pik basınç artış oranının ve pik ısı çıkış oranının mikro emülsiyonlu yakıtlar için orta ve yüksek motor yüklerinde daha yüksek olduğu görülmüştür. Düşük yüklerde ise bu değerler mikro emülsiyonlu yakıtlar için daha azdır. Mikroemülsiyonlu yakıtlarda yanmanın başlaması daha geç gerçekleşmektedir. Fren özgül yakıt tüketimi daha fazla iken fren özgül enerji tüketimi daha azdır. Nitrojen oksit emisyonlarının her derecedeki yükte mikro emülsiyonlar için daha az olduğu görülmüş fakat CO ve HC emisyonlarının düşük ve orta motor yüklerinde biyodizele göre daha fazla olduğu ölçülmüştür [3].

Saf palmiye yağı ve su karışımının yakıt olarak tek silindri direkt püskürtmeli bir dizel motorda uygulanmasıyla NOx ve CO seviyelerindeki değişim M.D Irfan tarafından incelenmiştir. %0,%5,%10,%15 oranında su içeren CPO/Su emülsiyonları dört sette gerçekleştirilmiş ve aynı orandaki dizel su emülsiyonları ile karşılaştırılmıştır. Testler yük olmadan 2200 rpm ve 2600 rpm de gerçekleştirilmiştir. Analizdeki sonuçlar, suyun miktarı arttıkça NOx emisyonlarının önemli ölçüde azaldığını ve CO miktarının arttığını göstermiştir [4].

Cherng-Yuan Lin ve Hsiu-An Lin çalışmalarında transesterifikasyon reaksiyonu ile elde ettikleri soya fasulyesi yağını kullanmışlardır. Ürettikleri biyodizelin yakıt özelliklerini iyileştirmek için esterleşme yönteminden sonra peroksidasyon yani su ile yıkama ve distile işlemini uygulamışlardır. Yaptıkları çalışmada, Dizel No2 yakıt, saf biyodizel, biyodizel,su ve yüzey aktif maddesinden oluşan üç fazlı emülsiyon ve yine üç fazlı emülsiyona NOx inhibitörünün katılmasıyla oluşan emülsiyonla dört stroklu bir motorda performans ve emisyon karakteristiklerini ölçmüşlerdir. Deneysel çalışmalar bu dört farklı yakıt içerisinde, su yakıt emülsiyonlarının en düşük CO₂ emisyonuna, egzoz gazı sıcaklığına ve ısı değere aynı zamanda en fazla özgül yakıt tüketimine ve kinematik viskoziteye sahip olduğunu göstermiştir. Motor devrinin artmasıyla, egzoz gazı sıcaklığı, CO₂ emisyonu, özgül yakıt tüketimi artmış fakat NOx emisyonlarında azalma meydana gelmiştir ayrıca NOx inhibitörü içeren emülsiyonlu yakıtın en düşük NOx emisyonuna sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Biyodizelin oksijen içeriğinin daha fazla olması, yakıtın reaksiyon havasındaki O₂ ile daha az reaksiyona girmesine ve egzoz gazında daha fazla hava konsantrasyonunun olmasına neden olmuştur. Biyodizeldeki suyun buharlaşma ısısının yanma odasında neden olduğu soğutucu efekt daha düşük alev sıcaklıklarına ve NOx emisyonlarına sebep olmuştur [5].

Niko Samec, Breda Kegl Robert ve W. Dibble nümerik ve deneysel bir modelleme yaparak suyun emülsiyona katkısını ispatlamaya çalışmışlardır. Deneyler saf dizel yakıt, %10 su içeren dizel-su emülsiyonu ve %30 su içeren emülsiyonlu yakıtlarla yapılmıştır. Çalışmada kullanılan motor, maksimum torku 150 Nm ve max.gücü 115 kW olan dört silindri hava soğutmalı bir dizel motordur. Deney sonuçlarında NOx emisyonunun %20 oranında ve is oluşumunun mikroparçalanmaların sebep olduğu ikincil atomizasyon sebebiyle %50 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Yüksek motor yüklerinde, yakıt

damlacıkları daha büyük olup daha küçük boyutta ve daha fazla su molekülleri içerdiği için suyun ani buharlaşmasından kaynaklanan mikroparçalanmalar daha etkili olmuş ve is emisyonundaki azalma da daha fazla oranda gerçekleşmiştir. Yüksek enjeksiyon basıncının daha iyi bir atomizasyona neden olmasından dolayı özellikle common rail gibi yüksek püskürtme basıncına sahip dizel motorlarda mikroparçalanmaların ihmal edilebilecek düzeyde olabileceği öngörülmüştür. Yakıt içerisindeki suyun dizel motorda yanmasındaki fiziksel etkisi, silindir içi basınçları ve ısı çıkışları analiz ederek değerlendirilmiştir. Saf dizel ile karşılaştırıldığı zaman aynı motor çalışma şartlarında emülsiyonlu yakıtların tutuşma gecikmesi %10 oranında ve ısı çıkışları da yaklaşık % 26 oranında artmıştır [6].

O. Armas, R. Ballesteros, F.J. Martos, ve J.R. Agudelo'ın turboşarjlı, arasoğutmalı bir dizel motorda beş farklı çalışma şartlarında yaptıkları deneyler sonucunda termal NO oluşumunun, is oluşumunun, HC'ların ve parçacık emisyonlarının azaldığı tespit edilmiştir. Emülsiyonlu yakıtların viskozitesinin referans yakıt olan dizele göre daha fazla olması, daha erken püskürtmeyi beraberinde getirmekte fakat suyun varlığı sebebiyle tutuşma gecikmesinin daha fazla olması bu durumu kompanze etmektedir. Referans yakıtı göre emülsiyonlu yakıtlarda ısı dağılımlarının yanma odasında yaklaşık olarak aynı zamanda olduğu görülmüştür [7].

Roila Awang ve Choo Yuen May yaptıkları deneysel çalışmada palmye yağından elde ettikleri biyodizel, su ve yüzey aktif maddesinden oluşan emülsiyonlu yakıtların motor emisyonları özellikle NOx emisyonları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Ayrıca emülsiyonlu yakıtları oluşturmadan önce en iyi stabilizasyonu sağlayan yüzey aktif maddesini bulmak için, yedi çeşit yüzey aktif maddesini biyodizel su karışımı emülsiyonlarda test etmişlerdir. Her bir emülsiyonlu yakıtı, 25 ml lik test tüplerine koyduktan sonra bir hafta boyunca gerçekleşen emülsiyon, su, tortu ve yağ tabakalaşmalarını gözlemlemişlerdir. Aralarından emülsiyon tabakasının su oranına en yüksek olanı en etkili yüzey aktif maddesi olarak tespit edilmiş olup deneylerde kullanılmıştır. Yaptıkları ölçümlerde sadece aktif maddenin değil aynı zamanda emülsiyonu oluşturmada kullandıkları karıştırıcının devrinde stabilite yüzdesini arttırmada etkili olduğunu tespit edilmiştir. Deneylerde, dizel yakıt, saf palmye yağı, %10 ve %15 su içeren emülsiyonlu yakıtlar kullanılmıştır. NOx emisyonlarının, pik

yanma sıcaklıklarının düşük olması sebebiyle saf palmiye yağına göre emülsiyonlu yakıtlarda daha düşük olduğu, CO emisyonlarının emülsiyonlu yakıtlarda biraz daha fazla olduğu HC emisyonlarının ise % 15 su konsantrasyonu içeren emülsiyonlu yakıtta %10 su içeren yakıtta göre daha fazla olduğu fakat dizel yakıtla karşılaştırıldığı zaman daha az oranda olduğu tespit edilmiştir [8].

Crookes et al. dört silindirli dizel motorunda yaptıkları çalışmada saf dizel, bitkisel yağ ve bunların % 10 su içeren emülsiyonlarının motor performans ve emisyon karakteristikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deneyler, motor sabit devirde ve farklı yük koşullarındayken gerçekleştirilmiştir. İki adet doğal çekişli dört stroklu direkt püskürtmeli dizel motor kullanılmıştır. Bunlardan bir tanesi tek silindirli Gardner diğeri ise multisilindirli Ford motorudur. Emülsiyonlu yakıtların termal veriminde dizel yakıtta göre iyileşme, is ve NOx emisyonlarında ise önemli ölçüde azalma gözlemlenmiştir. Her iki motorda da emülsiyonlu yakıtlarda saf biyodizele göre daha uzun tutuşma gecikmesi süresi tespit edilmiştir. Isı çıkış diyagramlarından , emülsiyonlu yakıtların saf biyodizele göre daha erken püskürtüldüğü, daha uzun tutuşma gecikmesine sahip olduğu ve daha yüksek oranda önkarışımlyanmaya sahip olduğu belirlenmiştir [9].

1.2 Tezin amacı

Dizel motorlar,dünyanın gelişen ve gelişmekte olan ülkelerinde özellikle taşımacılık sisteminde teknolojinin gelişmesi ile birlikte daha önemli bir yere sahip olmuştur. Gelişen teknoloji ile artan enerji ihtiyacını karşılamak üzere petrol esaslı yakıtların kullanımı daha hızla artmaktadır. Bununla birlikte bilinen petrol rezervlerinin bugünkü kullanım hızı ile elli yıldan az bir süre ihtiyacı karşılayabilecek olması, alternatif enerji kaynakları ve alternatif yakıtlar üzerine çalışmaları hızlandırmıştır. Biyodizel yakıtları, dizel motorlarda modifiye gerektirmeden kullanılması ve kimyasal özellikleri bakımından motorine olan benzerliği ile, günümüzde önemli bir alternatif enerji yakıtı olarak yer almaktadır. Ayrıca dizel motorlardan kaynaklanan NOx emisyonu ve is partikülleri insan sağlığını ve çevre kirliliğini önemli derecede etkilemektedir. Yüksek hava fazlalık katsayısı ve sıkıştırma oranı ile çalışan dizel motorlarda yanma odasındaki yüksek sıcaklıklarda havadaki azot ve oksijenin reaksiyona girmesiyle oluşma potansiyeli artan NO yu azaltmanın en önemli yöntemlerden birinin deneysel analizi bu

çalışmada yapılmıştır. Bu tezin amacı , kanola yağından elde edilen biyodizel yakıtının su ile makroemülsiyonu oluşturularak dizel motordaki NOx emisyonu seviyelerinde azalma meydana getirmektir.

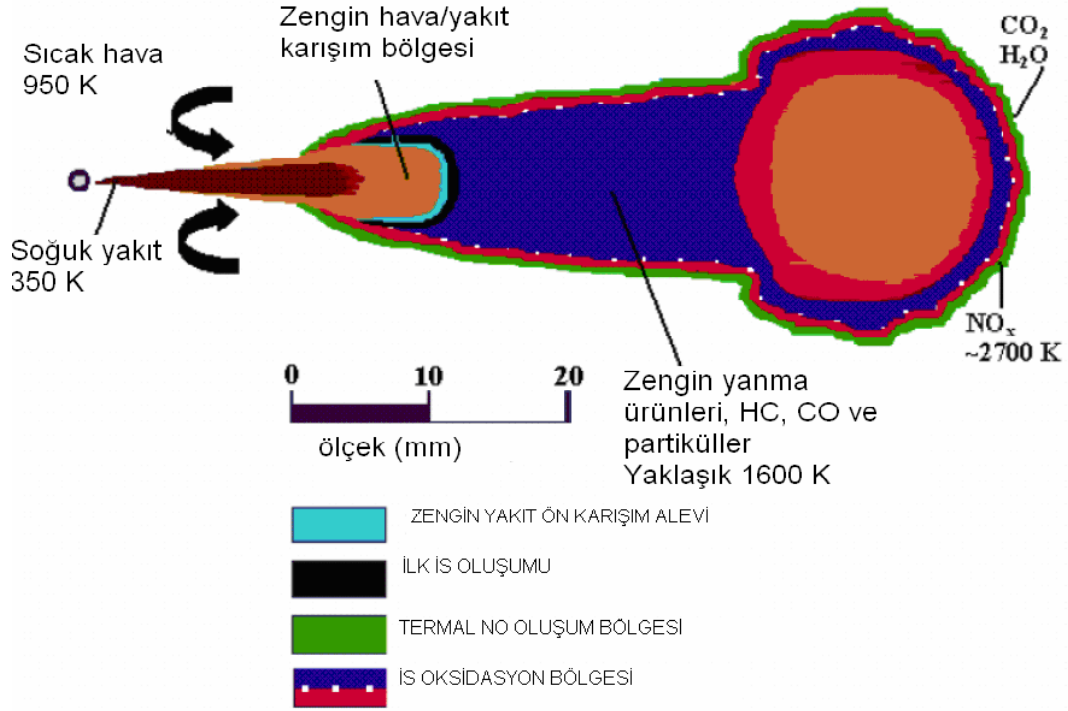
1.3 Hipotez

Dizel motorlar, yüksek hava fazlalık katsayısı ve yüksek sıkıştırma oranları ile yakıtın kendiliğinden tutuşması özelliği ile çalışmaktadır. Yakıtın daha kolay tutuşması, dizel motorlarda sıkıştırma sonu sıcaklıklarının ve buna bağlı olarak sıkıştırma oranlarının yüksek olmasını gerektirir. Ayrıca yakıtın hava ile karışmasının daha iyi olması için daha yüksek hava fazlalık katsayısı ile çalışılması oksijen konsantrasyonunu arttırmaktadır. Zeldovich mekanizmasına göre NO oluşumunu tetikleyen en önemli etkenlerden yüksek sıcaklık ve oksijen konsantrasyonu insan sağlığına ve çevreye zarar veren NOx emisyonunun oluşmasına neden olmaktadır. Silindir içi yüksek sıcaklıklarının azaltılması çalışmaları ile NOx emisyonlarını da azaltmak mümkündür. Ayrıca petrol kökenli dizel yakıtlarının giderek tükenmesi bizi alternatif enerji kaynaklarını kullanmaya teşvik ettiği için özellikle bitkisel kaynaklı biyodizel yakıtlar önemli bir enerji potansiyel olarak görülmektedir. Bu deneysel çalışmada da tek silindirli bir dizel motorda biyodizel yakıtının farklı oranlardaki su ile emülsiyonları oluşturularak, suyun yakıtı göre daha fazla olan buharlaşma gizli ısısı sayesinde silindir içinde soğuma öngörülmektedir. Bununla birlikte NOx emisyonlarında da azalma meydana gelecektir ayrıca suyun ani buharlaşması ile meydana gelen mikroparçalanmalarla yakıtın hava ile daha iyi oranda karışması ve is partiküllerinin de saf biyodizele göre emülsiyonlu yakıtlarda az olması daha önce yapılan literatür çalışmalarından yola çıkılarak bu deneysel çalışmada öngörülen bir durumdur.

DİZEL MOTORLARDA YANMA VE EMİSYON

2.1 Dizel motorlarda yanma

Dizel motorlarda yanma, yakıtın silindir içine püskürtülmesinden egzoz subabının yanma sonucu oluşan gazların dışarı atılmasını sağlamak için açılmasına kadar geçen süreyi kapsar. Yanma için üç etken gereklidir. Bunlar oksijen, sıcaklık ve yakıttır. Dizel bir motorda silindir içine alınan hava sıkıştırılarak havanın basıncının ve sıcaklığının artması sağlanır. Daha sonra enjektörden yakıtın püskürtülmesiyle üçüncü etkende tamamlanarak yanma başlar. Enjektörden püskürtülen yakıt damlacıklara bölünerek hava içine nüfuz eder. Yakıt damlacıkları dış yüzeyinden itibaren buharlaşmaya başlar ve çevresinde bulunduğu oksijenle birleşerek yanmaya başlar. Şekil 2.1 'de püskürtme demetindeki yanma olayı gösterilmektedir. Dizel motorlarda yanma tutuşma gecikmesi, ani (kontROLSÜZ) yanma, difüzyon kontrollü yanma ve art yanma olarak 4 safhada gerçekleşir [10].



Şekil 2.1 Püskürtme demetinin modellenmiş hali [11]

2.1.1 Tutuşma gecikmesi

Tutuşma gecikmesi, dizel motorlarda püskürtmenin başlangıcı ile tutuşmanın başlangıcı arasındaki zaman aralığı olarak tanımlanır. Püskürtmenin başlaması enjektör iğnesinin yerinden kalktığı zaman olarak alınır. Tutuşmanın başlangıç zamanı tarifi ise bu kadar kolay değil aksine karmaşıktır. Çalışmalarda ortaya çıkan sonuç basınç noktasına bakarak tutuşma noktasına karar vermenin önemli hatalara neden olacağıdır. Bunun sebebi de alevin ilk görüldüğü noktanın basınç yükselmesinden daha sonra olmasıdır. İyi atomizasyon, yüksek yakıt-enjeksiyon basıncı, küçük enjektör çapı, optimum yakıt viskozitesi ve enjeksiyon zamanında yüksek silindir hava basıncı gerektirir. Yakıt damlacıklarının buharlaşma oranı, damlaların boyutuna, dağılımlarına, hızlarına, yanma odasının içindeki basınç ve sıcaklığa ve yakıtın uçuculuğuna bağlıdır. Hava-yakıt karışım oranı çoğunlukla yanma odası tasarımı ve enjektöre bağlı olarak değişebilmektedir. Bazı yanma odaları ve piston üst şekli sıkıştırma sırasında türbülans ve girdap sağlamak için tasarlanmıştır. Ayrıca, enjektör tasarım özellikleri, sayısı ve enjektör deliklerinin ayarı gibi özellikler yakıt püskürtme davranışını etkilemektedir. Her nozul deliğinin ayrıntıları püskürtme koni açısını etkiler. Yakıt demetinin havanın içine girişi,

yakıt damlacıklarının boyutuna, enjeksiyon basıncına, hava yoğunluğuna ve hava-akım karakteristiğine bağlıdır [12]. Tutuşma gecikmesi ortam basıncından etkilenmektedir. Ortam basıncı arttıkça tutuşma gecikmesi azalmaktadır [10]. Tutuşma gecikmesinin kimyasal bileşenleri yakıtın ön yanma reaksiyonlarıyla kontrol edilir. Tutuşma, buharlaşma bölümünde olmasına rağmen oksidasyon reaksiyonları oksijenin içinde eridiği yakıt damlacıkları ve yakıt molekülleri arasında sıvı bölümde de ilerleyebilir. Ayrıca büyük hidrokarbon moleküllerinin daha küçük moleküllere bölünmesi de gerçekleşir. Bu kimyasal reaksiyonlar yakıt bileşenlerine, silindir dolgu sıcaklığı ve basıncına bağlıdır [12]. Dizel motorlarda emme havası sıcaklığının tutuşma gecikmesinin kısılması üzerine olumlu etkisi vardır. Emme havası sıcaklığı arttıkça tutuşma gecikmesi azalmaktadır [10]. Yakıtın tutuşma karakteristiği tutuşma gecikmesini etkilediği için bu özellik dizel motor çalışma karakteristiği için çok önemlidir; yakıt dönüşüm verimi, vuruntusuz çalışma, ateş almamak, egzoz emisyonları, ses ve çalışma kolaylığı gibi özellikleri etkiler. Sıkıştırma oranının artması ile sıcaklık ve basıncın artması gerçekleşecektir. Bunun sonucu olarak da tutuşma gecikmesi azalacaktır [10].

Yakıtın tutuşma kabiliyeti setan sayısı ile tanımlanır. Düşük setan sayılı yakıt için tutuşma gecikmesi uzayacak ve yakıtın çoğunluğu tutuşma olmadan püskürtülecektir. Bu da çok hızlı yanma oluşumuna ve ani basınç yükselmelerine sebep olur. Bu olay sırasında duyulabilir bir vuruntu sesi ortaya çıkar ve bu olaya “dizel vuruntusu” denir [12].

2.1.2 Ani (kontROLSÜZ) yanma

Bu kısımda, tutuşma gecikmesi bölümünde silindire püskürtülmüş karışımın bir kısmı tutuşur ve ön karışım olarak yanmaya başlar. Basıncıta ani yükselme olur. Basıncıdaki yükselme büyüklüğü ve oranı, tutuşma gecikmesinin uzunluğuna, çevrimdeki yanma odasındaki yakıt miktarına bağlıdır [13]. Basıncın yükselme hızı fazla olduğunda motordaki silindir, piston, perno gibi parçalar birbirilerine çarpmasıyla yüksek ve sert bir ses çıkarırlar. Yukarıda bahsedildiği gibi bu dizel vuruntusu istenmeyen bir olaydır. Bunun engellenmesi yani motorun yumuşak çalışması için tutuşma gecikmesi süresi kısa tutulmalıdır.

Dizel motorlarda basınç artışı genel olarak 0.2-0.3 Mpa / °KMA dolaylarındadır ve 0.4-0.5 Mpa / °KMA basınç artış hızına ulaşıldığında motor sert çalışır [10].

2.1.3 Difüzyon kontrollü yanma

Dizel motordaki yanmanın üçüncü safhasıdır. Kontrolsüz yanmadaki ani basınç artışından sonra difüzyon kontrollü yanma bölümü başlar. Dizel yanmanın normal olarak yakıt-hava karışımı tarafından kontrol edildiği kabul edilir. Dizel motorda yakıtın yanması tek bir noktadan değil birden fazla noktadan gerçekleşir [10]. Ani yanma gerçekleştiği zaman, hazırlanmış olan yakıt ani olarak yanar ve silindir içinde vuruntuya neden olan ani basınç yükselmesine neden olur. Arta kalan yakıt ise havayla karışma oranı tarafından belirlenen bir oranda yanar. Dizel yanma prosesinin heterojenliği, bazı avantajlar sağlasa da bunun yanında bazı dezavantajlarda getirmektedir. Yakıt hava içine püskürtüldüğü zaman, bir kısmı zayıf yanabilirlik limitinin ötesinde, yanmaya fırsat bulamadan önce kaçır. Bu yakıt yanmamış hidrokarbon olarak adlandırılır. Tutuşma gecikmesi arttığı zaman, yakıt daha çok karışmak için daha fazla zaman bulacak ve hidrokarbon emisyonları artacaktır [14].

İsin büyük kısmı egzoz valfi açılmadan önce oksitlenirken, bir kısmı kalacak ve silindirden dışarı atılacaktır. Genişleme strokunun sonlarına doğru ve egzoz sisteminde yüksek molekül ağırlıklı hidrokarbon ve sülfatları (özellikle sülfürik asit ve hidratlarını) toplayacaktır. Bunlar partikül madde olarak adlandırılmıştır. Hava-yakıt karışımı işlemini hızlandırmak yüksek sıcaklıktaki zengin bölgede bulunan yakıt miktarını ve isi azaltacaktır. İsin azaltılması daha yüksek enjeksiyon basınçları ve daha fazla hava girdabı seviyeleriyle sağlanabilir. Bununla birlikte daha hızlı karışım ve yanmanın yan ürünü daha yüksek azot oksit (NOx) seviyeleridir. Genel olarak, partikülü azaltan motor 20 dizaynı veya çalışma koşulları NOx miktarını arttırmaktadır [14].

2.1.4 Art yanma

Bu safha silindir içinde maksimum sıcaklığa ulaşıldıktan sonra başlar. Difüzyon kontrollü yanmada olduğu gibi bu bölümde de difüzyon hızı ve karışım oluşma hızı yanma hızını kontrol eden parametrelerdir. Bu bölümde önceki safhalarda yanmaya fırsat bulamamış olan yakıtın bir kısmı da oksijen buldukça yanmaya devam eder [12].

2.2 Dizel motorlarda emisyon

Azot oksitler, yanma süresince ortaya çıkan yüksek sıcaklıklar altında, hava içerisindeki azot ile oksijenin tepkimeye girmesi sonucu oluşmaktadır. Dizel motorlar, benzin motorlarına göre daha yüksek sıkıştırma oranına sahip oldukları için daha fazla azot oksit ve PM emisyonlarına neden olmaktadır [15].

Yüksek sıkıştırma oranları pik sıcaklık olarak adlandırılan daha yüksek yanma sıcaklıklarına ve direk olarak dizel motorlardan daha fazla NOX salınmasına neden olmaktadır. Azot oksit emisyonlarının kontrol yöntemleri, genel olarak silindir içi pik sıcaklıkları düşürmeyi amaçlamakta ve bu durum yakıt tüketimini de artırabilmektedir [16].

2.2.1 Azot oksit emisyonları

Azot bileşikleri içinde, hava kirliliği bakımından NO (azot monoksit) ve NO₂ (azotdioksit) en önemlileridir [16],[17],[18]. NOX'ler genellikle yüksek sıcaklıklarda oluşmaktadırlar. Karışım içindeki havanın yüksek sıcaklıkta iyonize olması ile açığa çıkan azot nedeniyle oluşan tehlikeli NO_x emisyonlarını azaltabilmek için silindir içi sıcaklığın azaltılması gerekir [19],[20].

2.2.1.1 Azot Oksit Oluşum Mekanizmaları

Yanma sonucu ulaşılan yüksek sıcaklıklarda, havanın içerisindeki azotun oksijen ile birleşmesi sonucu azot oksitler meydana gelmektedir. NO_x içerisinde ana eleman olarak genellikle NO bulunmaktadır. Egzoz gazlarının daha sonra atmosfere atılması sonucu oksijenle temasında NO'nun bir kısmı NO₂ ve öteki NO_x'lere dönüşmektedir. Bu bakımdan NO_x oluşumunu etkileyen iki önemli parametre yanma odası sıcaklığı ve hava/yakıt oranıdır.

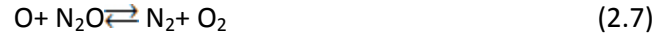
Ayrıca kimyasal reaksiyon hızları da etkili olmaktadır. Ancak bu hızlar da sıcaklığa bağlıdır [17]. Kimyasal denge hesapları sonucu saptanan NO_x miktarı, motordaki yanma koşullarında elde edilen miktar ile uyuşmamaktadır, çünkü motor koşullarında yanma ürünlerinin kimyasal dengeye ulaşması için yeterli zaman bulunmamaktadır. Reaksiyon hızları sıcaklığa bağlıdır. Bu nedenle erişilen en yüksek sıcaklık değerinde NO_x için kimyasal denge sağlanmadan yanmış gazların sıcaklıkları düşüş gösterir [17]. Kimyasal

denge durumundan bir diğ er sapma da yanmış gazların soğ uması sırasında gerçekleş ir. Sıcaklığın düş mesi ile NOx'lerin tekrar N₂ ve O₂'ye ayrış ması beklenirken, reaksiyon hızının düşük sıcaklıklarda çok düşük olması nedeniyle bu reaksiyonlar da yavaşlar.Böylece daha yüksek sıcaklıklarda elde edilmiş olan NOx miktarları dondurulmuş olur. Başlangıçta, NO_x miktarı reaksiyon hızlarının denge durumundaki koşulları sağlayacak kadar fazla olmaması (reaksiyon hızının sonlu olması) nedeniyle denge durumuna göre düşük olmaktadır. Belli bir zaman aralığından sonra ise, sıcaklıkların düş mesi sonucunda reaksiyonlar donar ve egzoz gazları içerisindeki miktardaha önce eriş ilen maksimum sıcaklık miktarına orantılı bir seviyede kalır. Çünkü azot oksitlerin oluş umu ayrıca reaksiyon hızına ve reaksiyonların tamamlanması için mevcut zamana bağlıdır [17].

NO_x oluş umu aynı zamanda oksijen miktarına da bağlıdır. Bu nedenle zengin karışımlarda NO seviyesi düş mektedir. Maksimum değ ere ise %10 fakir karışımlarda ulaşılmaktadır. Karışımın hava miktarı daha da arttırıldığı zaman yanma sıcaklıkları da düş eceği için NO miktarı da birlikte azalacaktır. Azot oksit oluş umunu tanımlayan ana denklem,



Ancak bu reaksiyon, olayı tam olarak tanımlanmadığından Newhall ve Starkman tarafından NO oluş umu Zeldovich zincir reaksiyonları ile tanımlanmıştır: [17].



Annand da bu reaksiyonlara eklemeye bulunmuştur:



Benzin motorlarından NO oluşumu temel prensiplere uygun olarak gerçekleşmektedir. Alev cephesinin ilerlemesi ile yanan karışımın bulunduğu bölgede NO oluşumu da başlamaktadır. Yanma tamamlanıp, pistonun AÖN'ya doğru hareketi ile yanmış gazlar genişlemeye ve soğumaya başladığında ise NO oluşumu durmaktadır. Bujiye daha yakın bölgelerde yanma daha erken başladığından NO oluşumu için tanınan zaman da daha fazla olmaktadır. Sonuç olarak bu bölgelerdeki NO miktarı daha fazla olmakta ve yanma odası içerisinde farklı NO konsantrasyonu meydana gelmektedir [17]. Dizel motorlarındaki heterojen yanmada, önceden hazırlanmış bir karışım bulunmamakta, yakıt ile havanın karışımı ve yanma olayları iç içe olarak gerçekleşmektedir. Bu durumda, NO oluşumunu belirleyen kimyasal reaksiyonlar değişmediği halde ortamın fiziksel şartları farklılık göstermektedir. Yakıt damlasının buharlaşması ve yanması sonucu damlacık etrafında oluşan alev bölgesinde yüksek sıcaklıklar mevcuttur. Damlacıktan uzaklaşıldıkça sıcaklık düşerken, oksijen (ve hava) konsantrasyonu artmaktadır. Bu nedenle benzin motorlarındaki homojen karışıma oranla burada daha karmaşık bir durum mevcuttur. Burada toplam NO oluşumu sıcaklığa ve damlacık etrafındaki akış alanını etkileyen birçok parametreye bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca dizel motorlarında karışım oranı (HFK) motorun yük durumuna göre değiştirildiğinden, artan yükte birlikte NOX miktarı da artmaktadır. Ancak bu durum ön yanma odalı dizel motorlarında daha farklıdır [17]. Genelde stokiyometrik orana yakın hava yakıt karışımlarında yanma sırasında NO oluşur. NO oluşum hızı alevin geçmiş olduğu bölgelerdeki gaz sıcaklığına ve karışım oranına bağlıdır. Isı açığa çıkma hızının artması NO oluşumunu arttıracaktır. Stokiyometrik karışımlardaki NO oluşumu maksimum iken karışım zenginleşip fakirleştikçe oluşan NO miktarı da azalır [12], [21].

Yanma olaylarında oluşan NO için Zeldovich mekanizmasına göre $O_2 \leftrightarrow 2O$ oluşunca zincir teşkil eden serbest radikallerde NO doğmaktadır; [22].



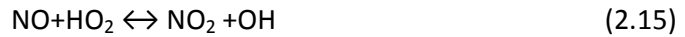
Bu reaksiyonların aktivasyon enerjileri büyük olduğundan her iki reaksiyonun da düşük sıcaklıklardaki hızları oldukça düşük olmaktadır [23], [24]. Bu arada alevin son yanma bölgesinde NO teşekkülü başlamadan önce esas yanma reaksiyonlarının dengeye

ulaştığı kabul edilebilir. Yukarıdaki mekanizma hava fazlalık katsayısı (HFK) 0,8'den büyük olan zenginlikte veya fakir karışımlar için geçerlidir.

$HFK \leq 0,8$ ise ilave olarak;



reaksiyonu önem kazanmaktadır [25]. NO oluşumunun en kritik safhaları ilk yanma başlangıcı ve maksimum silindir basıncının olduğu durumlardır. Oluşan ilk alev cephesi silindir basıncı yükseltmesi ve dolayısıyla sıcaklığı yükseltmesi bakımından oldukça önemlidir. Maksimum silindir basıncından hemen sonra silindir içindeki sıcaklık hacim genişlemesi sonucu düşmeye başlar. Silindir içindeki basıncın ve sıcaklığın düşmesi NO (Azot monoksit) oluşum reaksiyonlarının durmasına neden olmaktadır. Bu aşamadan sonra NO tekrar geri parçalanır, N_2 ve O_2 , NO gazını meydana getirmeden egzoz sisteminden dışarı atılır [12]. Bu olay dizel motorlarında benzinli motorlara nazaran daha hızlı gelişmektedir. NO alev cephesinin hem önünde, hem de arkasında oluşur. Motorlarda yanma yüksek basınç altında olduğundan alev bölgesi çok incedir ($\sim 0,1$ mm) ve alevin bu bölgede bulunma zamanı çok kısadır. Yakıtın erken püskürtülmesi sonucu karışım yanarken sıkıştırma işlemi devam edeceğinden, alev cephesinin geçmiş olduğu bölgedeki karışımın sıcaklığı yanmadan sonra bile artacaktır. Bu yüzden alev cephesinin geçmiş olduğu bölgelerde, alev cephesinin önündeki bölgeye göre daha fazla NO oluşacaktır [12]. Alev bölgesinde oluşan NO aşağıdaki reaksiyonla atmosferde NO_2 'ye dönüşecektir;



Azot oksit oluşumunu etkileyen bir çok faktör bulunmasına rağmen iyi bir yanma sonucunda sıcaklık yükselir ve sıcaklık 1800 K'in üzerine çıktığı zaman ve buna bağlı olarak da oksijen moleküllerinin ayrılması ile beraber NOX oluşum hızı da artmaktadır [24]. Kararlı ve kararsız olan azot oksit bileşikleri atmosferdeki oksitleyici maddelerle reaksiyona girer ve bu kimyasal reaksiyonlar sonucu fotokimyasal sis oluştururlar. Atmosferdeki HNO_3 ise asit yağmurlarının oluşmasına yardımcı olmaktadır.

Termal NO_x oluşumunda aktivasyon enerjisi çok önemli bir etkiye sahip olduğundan bu tür NO_x oluşumu sıcaklığa çok bağlıdır ve pik alev sıcaklıklarında gerçekleşmektedir. Yüksek sıcaklık ve yüksek O_2 konsantrasyonu NO oluşumunu teşvik etmektedir. NO_x kontrol teknolojisi bu iki değişkenden birini veya ikisini aynı anda kontrole yönelmektedir. Yakıt molekülündeki kimyasal olarak bağlı azot bileşiklerinin

oksidasyonu "yakıt NO_x'i"ni oluşturmaktadır. Fosil yakıtlarda azotlu organiklerin oranı sıvı ve katı yakıtlarda % 0.5-3.0 oranında, doğal gazda ise ihmal edilebilir oranlarda bulunmaktadır. Azotlu organik bileşiklerin artması ile yakıt NO_x 'i de artmaktadır. Ağır fuel oil ve kömürün yanması esnasında oluşan NO_x'in %50-90'ı yakıt NO_x'i orijinlidir. Bunu etkileyen en önemli husus yakıtta bağlı azotun oksijen kullanma kabiliyetidir. Zira atmosferik N₂ oldukça stabildir (bağ parçalanma enerjisi 225 kcal/mol). Oysa yakıtta bağlı N için bu miktar 60-150 kCal/mol arasındadır. Bundan dolayı yakıtta bağlı N'un aktivasyon enerjisi moleküler N₂'a göre oldukça düşüktür. Sonuçta bu tür azot hava oksijeni ile sıcaklığa bağlı olmaksızın hızla birleşebilmektedir [25]. Yakıt azotundan kaynaklanan NO_x oluşumu yakıt/hava oranından kuvvetle etkilenmektedir. Zayıf ve stokiometrik şartlarda yüksek oranda NO_x oluşurken zengin alev şartlarında düşük oranda NO_x oluşmaktadır. Yakıt NO_x'inin oluşumu üzerinde hidrokarbon oksidasyonunun da etkisinin mevcudiyeti, kinetiği daha karmaşık bir yapıya kavuşturmuştur [25].

2.2.2 Partikül madde emisyonu

Dizel motor partikülleri çoğunlukla bazı organik bileşiklerin emilmiş olduğu yanma yapılı karbonlu maddeler içerirler. Partiküllerin büyük bir kısmı eksik yanma sonucu oluşurlar. Partikülün kompozisyonu motor egzozundaki koşullara ve partikül tutucu sisteme bağlıdır.

Doğrudan püskürtmeli dizel motorlarda, en yüksek partikül konsantrasyonu ortalama bölgesel eşdeğerlik oranının çok yüksek olduğu yakıt demetinin çekirdeğinde görülmüştür. İS konsantrasyonu yanma başladıktan hemen sonra hızlı bir şekilde artar. Partikül konsantrasyonu enjektör deliğine yakın, yakıt demeti ekseninde önemli derecede yüksektir. Yakıt demeti çekirdeğinden uzaklaştıkça İS konsantrasyonu düşer [12].

2.2.3 CO emisyonları

Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının ana nedeni oksijenin yetersiz olmasıdır. Yanma odasının tümü ele alındığında oksijen genel olarak yetersiz olabileceği gibi, karışımın tam homojen olmaması durumunda yanma odasının belirli bir konumunda

yerel olarak yetersiz de olabilir. Temel olarak CO oluşumu hava fazlalık katsayısının (HFK) kuvvetli bir fonksiyonu olarak değişmektedir [26].

Yanma sırasında CO oluşumu su gazı dengesi olarak adlandırılan,



Denklemi ile belirlenmektedir. Yüksek alev sıcaklıklarında bu denge reaksiyonundan CO₂ miktarına oranla daha fazla CO elde edilir. Ancak sıcaklık düştükçe CO'nun CO₂ şekline oksidasyonu söz konusudur. Bu bakımdan fakir veya stokiometrik karışımlarda egzoz gazları içerisindeki CO miktarı daha az olurken, zengin karışımlarda soğuk egzoz fazları içerisinde bile O₂ yetersizliği nedeniyle yüksek miktarda CO bulunmaktadır [26].

Yanma sırasında, alev cephesinin iç tarafında ulaşılan yüksek sıcaklık bölgesinde çok miktarda CO oluşmaktadır. Ancak gazların daha sonra genişlemesi ve soğuması sırasında, oksidasyon sonucu CO, CO₂'ye dönüşmektedir. Sıcaklıkların genişleme zamanında daha da düşmesi halinde, denge reaksiyonu sıcaklıktaki düşüşü takip edemediğinden egzoz gazları içerisindeki CO miktarı beklenilenden daha fazla olacaktır [26].



şeklinde tanımlanan bu denge reaksiyonu sıcaklığa bağlı olarak oluşmaktadır. Bu nedenle yanma odası sıcaklığının düşürülmesi CO emisyonunu azaltmaktadır [26]. Dizel motorları ise genellikle fakir karışım oranları ile çalıştığından, CO emisyonu düşük olmaktadır. Yakıt demetinin civarında, yanmanın gerçekleştiği bölgede karışım yerel 14 olarak zengindir. Ancak genelde karışımın fakir olması, CO emisyonunun düşük düzeylerde kalmasını sağlamaktadır [26].

2.2.4 HC Emisyonları

Gaz halindeki organik bileşiklerin toplamıdır. Alifatik ve aromatik yapıda çok sayıda hidrokarbon kirletici olarak yayınlanmaktadır. Hidrokarbonların önemli bir kısmı petrol ürünleri ve yanma artıklarıdır. Egzoz gazları içerisindeki HC'ların bulunış nedeni, CO ve NO_x'lerin aksine yüksek sıcaklıkların mevcudiyeti değildir. Yanma ürünleri arasında HC'ların bulunmasına neden, sıcaklıkların veya oksijenin yetersiz olması gibi etkiler sonucunda yanmanın tamamlanamamasıdır. Bu durum,

- Yerel karışım oranının çok fakir veya çok zengin olması sonucu oksidasyon reaksiyonlarının yavaş oluşması ve alevin ısı kayıpları nedeniyle sönmesi,
- Yanma odasının çeşitli bölümlerinde bulunan karışım için yüzey/hacim oranının büyük olması nedeniyle ısı kayıplarının buradaki karışımın tutuşmasını önleyecek kadar büyük olması,
- Yanma odasının soğuk cidarlarına olan ısı kayıpları nedeniyle bu bölgeye ulaşan alevin anında sönmesi, nedeniyle oluşmaktadır.

Ayrıca çok zengin ve çok fakir karışımlarda buji ile ateşleme işlemi bazı durumlarda gerçekleşemediğinden, yanmamış HC'lar egzoz gazları ile birlikte atılmaktadır. Yağlama yağının yanma odası cidarlarında oluşturduğu ince filmin yanması sonucunda da HC oluşmaktadır. İki zamanlı motorlarda ise süpürme sırasında bir kısım yakıt daha yanmadan egzoz penceresinden veya supabından atılmaktadır [22].

Genelde, dört zamanlı taşıt motorlarında HC emisyonunun ana kaynağı cidarlarındaki alev sönmesi sonucu oluşan HC'lardır. Motorda yanma olayının fotoğraflarının çekilmesi sonucu, cidarlara yakın, yaklaşık 0.008 – 0.038 cm'lik bir bölgede hiç yanma olmadığı görülmektedir. "Alev sönme bölgesi" olarak adlandırılan bu soğuk cidar bölgesindeki ısı kayıpları, karışım sıcaklığının tutuşma sıcaklığının altına düşmesine neden olmakta ve ayrıca zincir reaksiyonları kırarak da yanma olayına engellemektedir. Alev sönme bölgesi kalınlığı karışım sıcaklığı, basınç, karışım oranı, cidar sıcaklığı, cidar malzemesi ve cidar üzerindeki birikimlerin etkisi ile değişmektedir [22]. Karışımın zengin veya fakir olması da HC emisyonunu etkilemektedir. HFK'nın 1.1 değeri civarında HC'lar minimumdan geçerek, bu değer her iki yanında da artış göstermektedir. HFK'nın büyük olması durumunda yanma odası sıcaklığı düşeceği için tam yanma olmaz ve HC'lar artar. Karışımın zengin olması durumunda ise yeterli oksijen bulunmadığı için yakıtın tümü yanamaz ve tekrar HC'lar artış gösterir [22].

BÖLÜM 3

BİYODİZEL

3.1 Biyodizelin elde edilmesi ve yakıt olarak bir dizel motora etkisi

Ayçiçek, soya, kolza (kanola), aspir gibi yağlı tohum bitkilerinden elde edilen yağların veya hayvansal yağların bir katalizör eşliğinde kısa zincirli bir alkol ile reaksiyonu sonucunda açığa çıkan ve yakıt olarak kullanılan ürün biyodizel olarak adlandırılır. Evsel kızartma yağları da biyodizel hammaddesi olarak kullanılabilir. Enzimatik ve süperkritik yöntemle de biyodizel elde etmek mümkün olmasına rağmen biyodizel üretiminde kullanılan en yaygın yöntem transesterifikasyon yöntemidir. Transesterifikasyon reaksiyonunda yağ, monohidrik bir alkolle (etanol, metanol) katalizör (asidik, bazik katalizörler) varlığında ana ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek esterleşir. Tranesterifikasyon prosesinin amacı yağın viskozitesini düşürmektir. Bitkisel yağların temel dezavantajı yüksek viskozitesi ve düşük uçuculuğudur, bu da dizel motorlarda düşük yanmaya sebep olur. Transesterifikasyon prosesi dizel yakıtla karşılaştırılabilecek bir viskoziteye kadar viskoziteyi azaltır ve böylece yanma iyileşir [27].

Yücesu ve arkadaşları tek silindirli bir dizel motorunda alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisini incelemişlerdir. Deneylerde bitkisel yağlar (ham ayçiçeği, ham pamuk,ham soya, rafine haşhaş, rafine kanola, rafine mısır yağları) ve metil esterler (ayçiçeği, pamuk yağı ve soya yağı metil esterleri) kullanılmıştır. Motor performans ve emisyon karakteristiklerini belirlemek amacı ile motoru tam gaz-değişik devir ve sabit devir-değişik yük deneylerine tabi

tutmuşlardır. Bitkisel yağların performans değerleri dizel yakıtına göre daha düşük, duman koyuluğu ve NO_x emisyonları daha yüksek elde edilmiştir. Metil esterleştirme metodu ile elde edilen yakıtların performansında bitkisel yağlara göre artış gözlenmiştir [28]. Kaplan ve arkadaşları ayçiçeği yağından transesterifikasyon metodu kullanılarak üretilen biyodizeli 2,5 lt ve 4 silindirli bir dizel motorunda test etmişlerdir. Her iki yakıtın tork değerleri arasında %5-10 arasında farklılıklar elde edilmiştir. Özgül yakıt tüketimlerinde dizel yakıtına göre artış, is emisyonlarında azalma gözlenmiştir [29]. Rakopoluos ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada %10-20 oranlarında ayçiçeği ve pamuk yağı metil esteri dizel yakıtı ile karıştırılmış ve 6 silindirli, turbo şarjlı, direkt enjeksiyonlu bir motorda test edilmiştir. Biyodizel yakıtlarının motor performansı dizel yakıtına yakın elde edilirken, özgül yakıt tüketiminde artış gözlenmiştir. Biyodizel kullanımı ile NO_x ve HC emisyonlarında artış gözlenirken CO emisyonlarında azalma gözlenmiştir [30].

İ.Sugözü F.Aksoy ve Ş.Baydır tarafından ayçiçeği metil esterinin bir dizel motorunda %100 ve %50 dizel yakıtı karışımı olarak kullanımının motor performans ve emisyonlarına etkisi incelenmiştir. B100 ve B50 yakıtlarının kullanımı ile motor momenti ve gücünde azalma, özgül yakıt tüketiminde ise artışlar belirlenmiştir. CO emisyonları dizel yakıtı ile karşılaştırıldığında B50 yakıtı kullanımı ile ortalama olarak %16,3'lük, B100 yakıtı kullanımı ile %25,6'lık bir azalma gözlenmiştir. B100 ve B50 yakıtının kullanımı ile ortalama olarak NO_x emisyonlarında dizel yakıtına göre sırası ile %9,5 ve %12,6 lık bir artış gözlenmektedir. Yapılan deneyler sonucunda, ayçiçeği metil esterinin dizel motorlarda alternatif yakıt olarak kullanılabilmesi ortaya konulmuştur [31]. Bitkisel yağların viskozitesi motorine göre yaklaşık olarak 9-12 kat daha fazladır. Viskozitenin yüksekliği yakıtın pompadan basılmasında ve enjektörden püskürtülmesinde problem olmakta, enjeksiyon sırasında atomizasyonun bozulmasına ve yanmanın kötüleşmesine neden olmaktadır. Bitkisel yağlar setan sayısı ile motorine yaklaşmakta, ısı değer yönünden bakıldığında motorinle aralarında büyük bir farklılığın olmadığı görülmektedir. Bitkisel yağların parlama noktasının yüksek oluşu depolama güvenliği sağlarken tutuşma yönünden sorun teşkil etmektedir. Akma ve donma noktalarının da yüksek oluşu bitkisel yağların direk olarak kullanılmasında sorun teşkil ettiği belirtilmiştir. Bu nedenlerden dolayı bitkisel yağların dizel motorlarda yakıt olarak

kullanılmaları için motor yapısında ve yakıt özelliklerinde bazı küçük değişikliklerin yapılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır [32].

3.1.1 Biyodizel Üretimi için Kaynaklar

Biyodizel ham bitkisel yağlardan, hayvansal yağlardan, kullanılmış atık kızartma yağlarından üretilmektedir. Ayrıca ham bitkisel yağların yemeklik yağ haline getirilmesi işlemi sonunda oluşan sabun stokları da biyodizel üretiminde kullanılabilir. Biyodizel üretiminde kullanılacak ham yağın, genel olarak yemeklik yağlar gibi rafinasyon, koku ve renk alma aşamalarından geçmesine gerek olmaması, biyodizel üretiminde maliyetleri azaltmaktadır.

Dünyada farklı toprak ve iklim şartlarında yetiştirilebilen bilinen 50'nin üzerinde yağ bitkisi bulunmaktadır. Biyodizel üretiminde kullanılacak bitkisel yağların yağ asitleri oranları, doymuş veya doymamış olmaları ürün kalitesini yakından etkilemektedir [32].

Bu çalışmada kullanılan biyodizel kanola yağından elde edilmiştir. Bu yüzden, sadece kanola yağına ait bilgiler aşağıda verilmiştir.

3.1.2 Kanola Yağı

Kanola tohumunda, %22-49 oranında yağ bulunduğu için bitkisel yağ üretimi açısından oldukça önemli bir bitkidir [33]. Avrupa'da biyodizel üretiminde kullanılan en yaygın yağlı tohum bitkisidir. Kanola bitkisi kışlık ve yazlık olarak yetiştirilebilmektedir. Ülkemizde halihazırda kanola ekimi yaygın olarak yapılamamakla birlikte, genellikle kışlık kanola tarımı yapılmaktadır. Bununla birlikte devlet destekleri ile kanola tarımı yaygınlaştırılmaya çalışılmaktadır. Bunlardan kışlık kanola -15⁰C'ye kadar dayanıklıdır. Hem tohumdan çıkarılan ve işlem görmemiş ham kanola yağından hemde işlenmiş rafine kanola yağından biyodizel üretilmektedir. Buradaki fark rafine işleminin gerçekleşmesi ile yağın içindeki yabancı maddelerin arındırılmasıdır. Bu işlem biyodizel üretimini kolaylaştırmaktadır. Ham kanola yağından biyodizel üretime geçmeden önce su uçurma işlemi gerçekleştirilmiş fakat rafine için buna gerek duyulmamıştır. [34]. Bugün ülkemizde tahıl üretimi yapılan her yerde kanolanın yetiştirilebileceği göz önüne alındığında Trakya-Marmara, Orta Anadolu ve geçit bölgelerimizde ayrıca GAP bölgesinde sulamaya açılan tarım alanlarında rahatlıkla yetiştirilebilir. Yaklaşık % 35-50

biyodizel üretilen bu bitkiden 1 dekardan 100 litre biyodizel üretmek mümkündür [35]. Kanola yağının biyodizelin standartlarına yakın özellikler göstermesi bu yağın seçiminde önemli bir faktördür. Asitlik değeri ve iyot sayısı düşük, donma noktası ise diğer yağlara göre daha düşüktür. Kanola yağı mono doymamış hidrokarbon (oleik asit) içermektedir. Az miktarda doymuş ve çoklu doymamış hidrokarbon içermektedir. Yanma karakteristikleri iyidir. Oksidasyon kararlılığı ve soğuk akış özellikleri iyidir. Kanolanın yağ asidi analizleri incelendiğinde gerek donma noktası açısından gerekse iyot sayısı açısından idealdir. Ayrıca kanola bitkisi EN 14214 standardını en iyi sağlayan bitkisel yağdır [33]. Bu gibi özelliklerinden dolayı yapılan çalışmada kanola yağı tercih edilmiştir.

3.1.3 Biyodizelin üretimi

Bitkisel yağlar, kanola, kolza, soya, keten, ay çekirdeği, mısır gibi yenilenebilir bitkilerden elde edilmektedir. Bitkisel yağların az oranda sülfür içermeleri, yapılarında oksijen bulunması, setan sayılarının yüksek olması ve yanmaları sonucunda daha az zararlı emisyon yaymaları, onların özellikle dizel motorlar için uygun bir alternatif yakıt olabileceklerini göstermektedir. Ayrıca, daha yüksek parlama noktasına ve daha iyi yağlama özelliğine sahip olmaları da olumlu özellikleridir [35],[6]. Ancak bitkisel yağların, dizel motorlarında doğrudan kullanılması çeşitli sorunlara yol açmaktadır. Bitkisel yağların dizel motorlarındaki püskürtme, atomizasyon ve yanma karakteristikleri HC esaslı dizel yakıtlarına göre çok farklıdır.

Bitkisel yağların viskozitesinin yüksek, uçuculuğunun düşük olması onların dizel motorlarında yakıt olarak kullanımını olumsuz yönde etkilemektedir. Yüksek viskozite, püskürtme işlemini olumsuz etkilediğinden yakıtın atomizasyonu kötüleşmektedir. Yüksek viskozite ayrıca enjektörlerin tıkanmasına, segmanlarda karbon birikintisine ve yağlama yağının bozulması problemlerini doğurmaktadır. Parlama noktasının yüksek olması, uçuculuk özelliğinin az olduğunu gösterir. Bu ise yanma odasında daha fazla birikintiye, enjektör ucunda karbonizasyona ve segman yapışmasına neden olmaktadır. Viskozitenin yüksek, uçuculuğun düşük olması soğukta ilk hareket zorluğuna, alev sönmesine ve tutuşma gecikmesi periyodunun uzamasına sebep olmaktadır [36], [7].

Bitkisel yağların yakıt olarak kullanılmasına engel teşkil eden bu özelliklerini iyileştirmek için bir takım prosesler uygulanmaktadır. Piroliz, mikroemülsiyon ,inceltme ve transesterifikasyon bu yöntemlerden bazılarıdır.

Bu yöntemler arasında esterleştirme (transesterifikasyon) yöntemi ile üretilen yakıtların kimyasal ve fiziksel özellikleri dizel yakıtı ile önemli oranda benzerlik göstermektedir. Bu yüzden esterleştirme yöntemi biyodizel üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Transesterifikasyon, bitkisel yağların monohidrik bir alkolle (metanol, etanol), katalizör (asidik, bazik katalizörler ve enzimler) varlığında esas ürün olarak yağ asidi esterleri ve gliserin vererek yeniden esterleştirilmesi işlemidir [37], [8].

3.1.3.1 Transesterifikasyon yöntemi

Transesterifikasyon yöntemi ile biyodizeli üretmek için mono- ,di-, trigliserid tabanlı bitkisel veya hayvansal yağlar, metanol gibi bir alkolle kimyasal olarak reaksiyona tabi tutulmaktadır. Reaksiyonu hızlandırma için bir katalizör kullanılmaktadır. Reaksiyon ürünleri metil esterin bir karışımı ve maddi açıdan değerli bir ürün olan gliseroldür. Bu denkleme transesterifikasyon reaksiyonu denilmektedir. Şekil 3.1 de üretim aşaması gösterilmektedir.

Alkol ve katalizörün karıştırılması: Katalizör olarak; sodyum hidroksit, potasyum hidroksit veya sodyum metilat kullanılmaktadır. Katı katalizör kullanımında, katalizör metanol içerisinde eritilerek hazırlanan metoksit çözeltisi kullanılır. Katalizör olarak kullanılan sodyum metilat, metil alkol içerisinde % 30'luk konsantrasyona sahiptir [38].

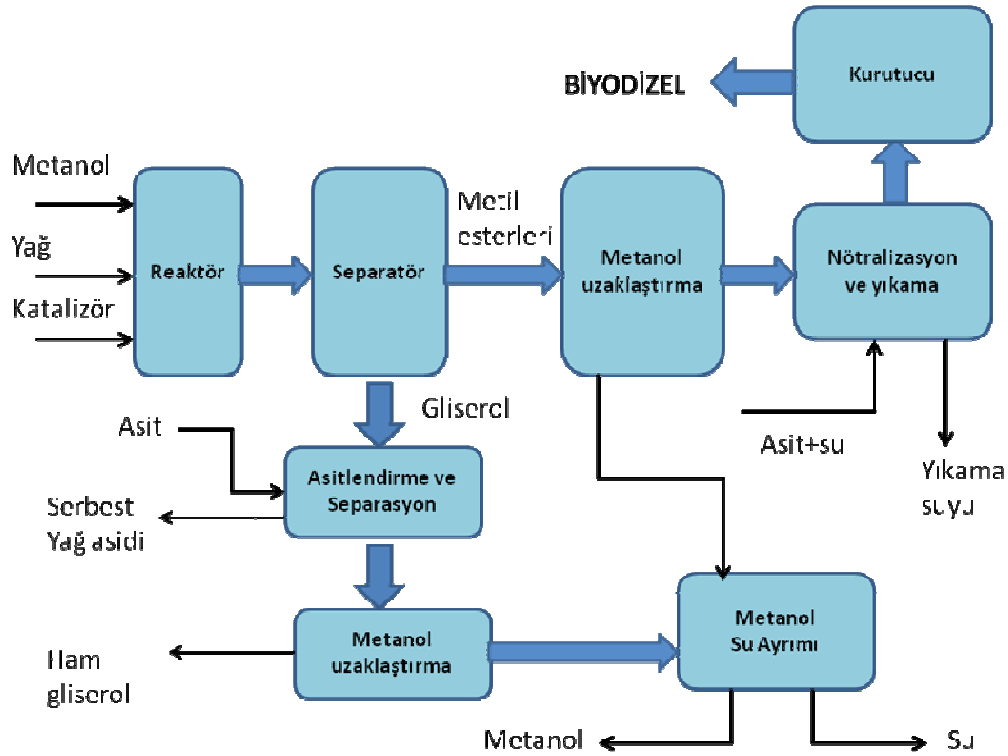
Reaksiyon: Metoksit çözeltisi (alkol ve katalizör karışımı) kullanılacak olan ham yağ ile birlikte reaksiyonun yapılacağı hazne (reaktör) içerisine konulmaktadır. Alkol kaybının önlenmesi için reaktörün tamamen atmosfere kapalı olması gerekir. Reaksiyonun tamamlanabilmesi için uygun sıcaklık ve uygun karıştırma yöntemi gerekmektedir. Kullanılan sistemlere göre değişmekle birlikte reaksiyon 55-65 °C sıcaklıkta, 1-2,5 saat arasında gerçekleşmektedir. Modern sistemlerde reaktörde kullanılan turbo mikserler ve sonik aygıtlar sayesinde reaksiyon süresi daha da kısaltılabilmektedir.

Reaksiyonla oluşan su, biodizel üretiminde transesterifikasyon (ester oluşum reaksiyonu) reaksiyonunun ilerleyişini durdurmaktadır. Biyodizel üretiminde

karşılaşılan en büyük problemlerden biri yan ürün olarak sabun oluşmasıdır. Biyodizel reaksiyon ortamında su bulunması yan ürün olarak sabun oluşmasını tetikler. Eğer optimum reaksiyon koşulları sağlanamaz ve katalizör gerekli etkinliği gösteremezse oluşan gliserin ortamdaki serbest yağ asitleri ile reaksiyona girip mono- digliserid oluşturabilir. Oluşan mono- digliserid , elde edilmek istenen ürünün saflığını bozar. Aynı şekilde; yeterli etkinlik sağlanamadığında reaksiyon ortamında biyodizele dönüşmemiş yağ kalabilmektedir. Bu da biyodizelin içindeki trigliserid miktarını arttırdığından dolayı TSE standardında ürün oluşumunu engellemektedir [38].

Dinlendirme ile Biyodizel-Ham Gliserin Ayrışması: Reaksiyon tamamlandıktan sonra iki ana ürün ortaya çıkar: Biyodizel ve gliserin. Her biri reaksiyonda kullanılan miktardan arta kalan önemli miktarda metanol içerir. Gliserin fazının yoğunluğu, biyodizel fazınınkinden çok daha fazla olduğundan bu iki faz gravite ile ayrılabilir. Biyodizel ve ham gliserinin birbirinden ayrışması için 6-10 saat civarında dinlendirme işlemine tabii tutulması gerekmektedir. Kullanılan biyodizel üretim proseslerine göre dinlendirme işlemi, daha uzun veya daha kısa sürede tamamlanabilir. Dinlendirme yapılan haznedan alta çöken ham gliserin kolayca çekilebilir. Modern sistemlerde dinlendirme yapmadan biyodizel ve ham gliserin separatör yardımı ile de ayrıştırılmaktadır.

Alkol Bertarafı ve Nötralizasyon: Gliserin ve biyodizel fazları ayrıldıktan sonra, her iki ürün içerisinde de metanol kalmıştır. Biyodizel içerisindeki alkolün uzaklaştırılması için vakum evaporasyon işlemi uygulanmalıdır. Sıcaklığın ise reaksiyon sıcaklığında olması önerilir. Bu aşamada nötralizasyon işlemine gerek duyulabilmektedir. Reaktördeki katalizörün inaktive edilmesi sulu asit kullanımı ile gerçekleşmektedir. Asit ve asidin içereceği su miktarı, biyodizel içerisindeki katalizör ve sabun miktarına göre ayarlanmalıdır.



Şekil 3.1 Transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretimi

Yıkama ve Kurutma işlemi: Gliserinden ayrıldıktan sonra biyodizel içerisinde kalan katalizör, sabun, gliseridler ve safsızlıkları uzaklaştırmak amacıyla yıkama işlemine tabii tutulur. Yıkama işleminde günümüzde iki yöntem kullanılmaktadır: Sulu yıkama ve kuru yıkama. Sulu yıkama: saf veya yumuşak su ile; kuru yıkama: magnesol ile yapılmaktadır. Sulu yıkamalarda yıkama suyu alındıktan sonra biyodizelin kurutulması gereklidir. Biyodizel içerisinde arta kalan su ve alkol, vakum evaporasyon işlemi ile bertaraf edilmektedir. Yıkama sonunda ortaya çıkan atık suyun, ne şekilde bertaraf edildiği çevre açısından oldukça önemlidir. Kuru yıkama işlemi yüksek sıcaklık altında, vakum tanklarda yapılmaktadır. Bu nedenle arta kalan su ve alkol zaten bertaraf edildiğinden tekrar kurutma işlemi yapılmamaktadır. Kurutma yapılan (sulu yıkama) veya yapılmayan (kuru yıkama) biyodizel filtre edilerek kullanıma hazır hale getirilir. Nihai biyodizel uygun koşullardaki depolama tanklarında muhafaza edilir. [38]

3.2 Biyodizelin avantajı

Biyodizelin, dizel yakıtlarla karşılaştırıldığı zaman daha az emisyonu sahip olduğu görülmüştür.

- 1). Motor ömrünü uzatır ve bakım ihtiyacını azaltır(biyodizelin fosil yakıtlara göre daha iyi yağlayıcı özelliği vardır.)
- 2). Daha güvenlidir, daha az toksik madde içerir,biyolojik olarak parçalanabilir ve yüksek alevlenme noktasına sahiptir.
- 3). Bazı egzoz emisyonlarını azaltır. [39]

3.3 Biyodizelin dezavantajları

Biyodizel ve dizel yakıtlı karışımların ana problemleri soğuk havalarda yakıt donmasıdır, azalan enerji yoğunluğu yakıtın uzun süren periyotlu yükler altında bozulmasına neden olmaktadır. Bitkisel yağların saf halde ya da karışım olarak direkt ve indirekt dizel motorlarda kullanılması olumlu sonuçlar vermemiştir. Yüksek viskozite, asit kompozisyonu serbest yağ asit bileşimi, yüklenme ve yanma sırasındaki oksidasyon ve polimerizasyon sebebiyle gum oluşumu, karbon çökeltisi ve yağlayıcı yağ filmi kalınlığı temel problemler arasında sayılmaktadır [39].

3.4 Biyodizelin yakıt karaktestik özellikleri

Türkiye’de biyodizel için Avrupa Birliğinin EN 14214 standardı aynen kabul edilmiştir. Amerika’da geçerli olan standart ise ASTM D6751 standartıdır. EN 14214 standardı ile ASTM D6751 standardı arasında birkaç özellik farklıdır. ASTM standardında iyot sayısı belirtilmemişken, EN 14214 standartında iyot sayısı 120 ile sınırlandırılmıştır. EN 14214 standardında yoğunluk değeri sınırlandırılmışken, ASTM standardında yoğunluk değeri belirtilmemiştir [40]. Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de bu biyodizel standartları verilmiştir.

Çizelge 3.1 Biyodizel standardı (ASTM D6751-07b 2007) [40]

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney yöntemi
		En az	En çok	
Kalsiyum ve magnezyum içeriği	ppm	-	5	EN 14538
Parlama noktası	°C	93	-	D 93
Alkol kontrolü (1. veya 2.'den biri olmalı)				
1. Metanol içeriği	% (hacim)	-	0.2	EN 14110
2. Parlama noktası	°C	130		D 93
Su ve Kalıntı	% (hacim)	-	0.05	D 2709
Kinematik viskozite, 40 °C	mm ² /s	1.9	6.0	D 445
Sülfatlanmış kül muhtevası	% (kütle)	-	0.02	D 874
Sülfat				
S 15 derece	% (kütle)	-	0.0015	D 5453
S 500 derece	% (kütle)	-	0.05	D 5453
Bakır şerit korozyonu		-	No:3	D 130
Setan sayısı		47	-	D 613
Donma noktası	°C	rapor	-	D 2500
Karbon içeriği	% (kütle)	-	0.05	D 4530
Asit sayısı	mg KOH/g	-	0.5	D 664
Serbest gliserin	% (kütle)	-	0.02	D 6584
Toplam gliserin	% (kütle)	-	0.240	D 6584
Fosfor içeriği	% (kütle)	-	0.001	D 4951
Damıtma, T90 AET	°C	-	360	D 1160
Sodyum ve Potasyum içeriği	ppm	-	5	EN 14538
Oksidasyon kararlılığı	h	3	-	EN 14112

Çizelge 3.2 Biyodizel standardı (TS EN 14214 2005)

Özellik	Birim	Sınırlar		Deney Yöntemi
		En az	En çok	
Ester muhtevası	% (kütle)	96,5	—	EN 14103
Yoğunluk (15 °C)	kg/m ³	860	900	EN ISO 3675 EN ISO 12185
Viskozite (40 °C)	mm ² /s	3,5	5	EN ISO 3104
Parlama Noktası	°C	120		EN ISO 3679
Kükürt muhtevası	mg/kg	—	10	EN ISO 20846 EN ISO 20884
Karbon kalıntısı (%10 damıtma kalıntısında)	% (kütle)	—	0,3	EN ISO 10370 —
Setan sayısı		51		EN ISO 5165
Sülfatlanmış kül muhtevası	% (kütle)	—	0,02	EN 3987
Su muhtevası	mg/kg	—	500	EN ISO 12937
Toplam kirlilik	mg/kg	—	24	EN 12662
Bakır şerit korozyonu (50 °C, 3 saat)	derece	Sınıf 1		EN ISO 2160
Oksidasyon kararlılığı (110 °C)	h	6	—	EN 14112
Asit sayısı	mg KOH/g	—	0,5	EN 14404
İyot sayısı	g iyot/100 g	—	120	EN 14111
Linolenik asit metil esteri	% (kütle)	—	12	EN 14103
Çoklu doymamış (>4 çift bağ) metil esterleri	% (kütle)	—	1	—
Metanol muhtevası	% (kütle)	—	0,2	EN 14110
Monogliserit muhtevası	% (kütle)	—	0,8	EN 14105
Diğliserit muhtevası	% (kütle)	—	0,2	EN 14105
Trigliserit muhtevası	% (kütle)	—	0,2	EN 14105
Serbest gliserol	% (kütle)	—	0,02	EN 14105 EN 14106

Bu tablolarda geçen yakıtın özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

Yakıtların özelliklerini, etkileri ve fonksiyonları olarak dört ana grupta toplamak doğru olacaktır, bir takım özellikler direkt olarak motor performansını etkilemese de dolaylı olarak motor performansı ve emisyonuna etki etmektedir. Bu çalışmada kullanılan biyodizelin, yakıt karakteristik özellikleri TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsünde da analiz edilmiştir.

- Soğukta akış özellikleri

Soğukta filtre tıkanma noktası, akma noktası, bulutlanma noktası.

- **Motor performansı ile ilgili özellikleri**

Yoğunluk, viskozite, setan sayısı, parlama noktası, ısı değeri, ester içeriği, karbon kalıntısı, kükürt içeriği, su içeriği vb.

- **Korozyona ait özellikler**

Su içeriği, asit sayısı vb.

- **Stabiliteye ait özellikler**

Oksidasyon kararlılığı, iyot sayısı, bozunabilirlik

Yoğunluk : Biyodizelin en önemli parametrelerden biridir. Biyodizelin yoğunluğu yağın yapısına bağlı olmakla birlikte, üretim tekniğine de bağlıdır. Yüksek yoğunluk reaksiyon sonunda gliserinin tam olarak uzaklaştırılmadığı anlamına gelir. Yağ asidi kompozisyonu biyodizelin fiziksel özelliklerinde önemli etkilere sahiptir. Yağ asidi kompozisyonu sadece ürün türüne bağlı değildir, ayrıca iklim koşullarına, toprak türüne, bitkinin yapısına, ve bitkinin hasat için olgunluğuna bağlıdır [41]. Dizel No.2 yakıtın yoğunluğu TSE 3082 EN 590 standartlarında 0.82 - 0.845 g/cm³ değerleri arasında sınırlandırılmıştır. Biyodizelin yoğunluğu EN 14214 standardında 0.86 ve 0.90 g/cm³ değerleri arasında belirtilmiştir. Yani biyodizelin yoğunluğu dizel No.2 yakıttan daha fazladır. Yoğunluğun yüksek olması motor içerisine püskürtülen yakıt miktarını arttırmakta ve yanma ısısına etki etmektedir [42]. Hidrokarbon zinciri uzadıkça yoğunluk azalır, çift bağ sayısı arttıkça yoğunluk artar [37].

Viskozite: Viskozite bir sıvının akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Yakıt besleme sisteminde viskozite çok önemlidir. Yüksek viskozite yakıtın fakir atomizasyonuna, kötü yanmaya, enjektörlerin tıkanmasına, segmanlarda karbon birikmesine sebep olur. Yüksek viskozite yüksek pompalama basıncı gerektirir. Enjektörlerin püskürtülmesini azaltır [8]. Biyodizelin viskozitesi yaklaşık 3,5–6 mm²/s kadardır. Hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça viskozite artar, çift bağ sayısı arttıkça viskozite azalır. Biyodizelin safsızlığı ve oksidasyon ürünleri viskoziteyi artırır [43].

Isıl değer: Yakıtın birim kütlesi/hacmi başına alınan enerji miktarını belirler. Doymuş hidrokarbonların zincir uzunluğu arttıkça ısı değeri artar. Doymamışlık arttıkça

(hidrojen sayısı azaldıkça) ısı değeri azalır. Biyodizelin ısı değeri oksijen içeriğinden dolayı (yaklaşık %11) fosil dizel yakıtına göre daha düşüktür. Aynı motor çalışma şartları altında biyodizelin güç ve torku daha düşüktür. Enjeksiyon hacmi artarsa aynı motor performansı elde edilebilir. Ancak yakıt sarfiyatı artar [43].

Parlama Noktası : Parlama noktası yakıtın alev oluşturmaya yetecek kadar buharlaşacağı sıcaklık olarak tanımlanır. Bu sıcaklık dizel yakıt No.2 için 52-66 °C olarak verilirken, biyodizelin parlama noktası 150 °C'den yüksektir [44]. Biyodizelin parlama noktası dizel No.2'den daha yüksek olmasının sonucu tutuşma zorlaşır, taşıma ve depolamada daha güvenli bir şekilde yapılabilir [45].

Setan sayısı : yakıtın tutuşma kabiliyetini gösteren bir parametredir. Setan sayısı ne kadar yüksekse yakıtın tutuşması o kadar kolay olmaktadır. Bu da dizel motorlarda vuruntu dediğimiz olayın oluşmasına engel olmaktadır. Biyodizelin setan sayısı elde edildiği kaynağa göre değişiklik göstermektedir. Kızartma yağı ya da hayvansal yağlardan elde edilenler gibi yüksek derecede doymuş esterler, en yüksek setan sayısı göstermeye meyillidirler. Biyodizelin dizel No.1 veya No.2 ile karışımı durumlarında ise setan sayısı karışımdaki ester oranıyla orantılı olarak değişir [46]. Bununla birlikte yağ asidinin zincir uzunluğu setan sayısını yükseltir, çift bağ sayısı ve çift bağların zincirin ortasına doğru hareketiyle düşer. Biyodizelin setan sayısı elde edildiği ham maddeye bağlı olarak 40 ile 49 arasında değişmektedir [47].

Su içeriği : Bitkisel yağlar temelde su içermezler. Ancak bitkisel yağların üretimi ve depolanması esnasında su karışabilmektedir. Yakıtların belli oranda su içermeleri motor için bir dezavantaj değildir. Su/yakıt emülsiyon oranının uygun olması durumunda yanma sıcaklığını ve NOx emisyonlarını azaltabilir. Ancak yüksek basınçlı enjeksiyon sistemlerinde su yakıttan ayrılarak enjektör sisteminde bölgesel çürümelere sebep olabilir. Bitkisel yağlar için belirlenen maksimum değer kütlenin % 0,075'i geçmemelidir [48].

Oksidasyon kararlılığı : Depolama açısından çok büyük bir öneme sahiptir. Biyodizel içindeki oksidasyon ürünleri yakıtın depolama ömrünü etkileyecek ve tank, filtre ve yakıt sisteminde tortuların oluşmasına neden olacaktır [42]. Yağın kimyasal yapısı

biyodizelin oksidasyonunu etkilemektedir. Örneğin, soya yağı yüksek derecede doymamıştır ve bu onu oksitlenmeye meyilli kılmaktadır. Çift bağlarla yapışık metilen grupları serbest radikal saldırılara karşı hassastırlar. Aynı yağ asidi zincirindeki çoklu çift bağlar oksidasyona karşı daha hassastırlar [49]. Oksidasyon özelliği biyodizelin kalitesini etkiler. Oksidasyon kararlılığının yükseltilmesi biyodizelin uzun süreçte kullanılması açısından gereklidir. Oksidasyonu etkileyen parametreler hava, sıcaklık, ışık, antioksidanların varlığı, hidroperoksit gibi pro-oksidanların varlığı ve metal katalistlerdir [50].

İyot sayısı : Biyodizelin doymamışlık derecesinin bir ölçüsüdür. Doymamışlık depolama ya da tortu sorunlarına yol açmaktadır. Bitkisel veya hayvansal yağların iyot sayıları yerlerini alan metil esterlerinkileriyle yaklaşık olarak aynıdır. Bununla birlikte alkil esterlerin iyot sayıları daha fazla alkolle düşmektedir. İyot sayısının kullanılması biyodizelin oksidasyonu ile ilgilidir, fakat polimerizasyonu ve motor kalıntısını da etkilemektedir [44]. Esterdeki doymamış yağ asidinin varlığı, yani iyot sayısının yüksek olması, motor yağındaki polimerizasyon tehlikesini yükseltmektedir [51].

Biyodizel soğuk akış özellikleri : Biyodizellerin kullanılmasını kısıtlayan en önemli faktörlerden biri de düşük sıcaklıklardaki gösterdikleri davranışlardır. Biyodizel yakıtların düşük sıcaklık özellikleri dizel yakıt No.2'ye göre daha kötüdür ve daha yüksek sıcaklıkta kristalleşme göstermektedir. Ayrıca biyodizel yakıtların akma ve bulutlanma noktaları da dizel yakıtlardan daha yüksektir. Bu da biyodizelin kullanılmasını oldukça sınırlı hale getirmektedir. Biyodizelin kötü soğuk akış özellikleri düşük sıcaklıkta filtreleri tıkayabilecek kadar jel olmaya başlaması veya yakıt tankından motora pompalanamayacak kadar viskozitesinin artması gibi önemli problemlere neden olmaktadır. Yakıt atomizasyonu viskozite, yoğunluk ve yüzey geriliminden etkilenmektedir. Yüksek viskozite ve yoğunluk yakıtın atomizasyonunu kötüleştirir [52]. Bununla birlikte biyodizelin bulutlanma ve donma noktası dizel yakıt No.2 ile karıştırılarak veya çeşitli katkı maddeleri kullanılarak düşürülmektedir [51].

Karbon kalıntısı : Yakıtın enjektör nozullarında ve yanma odasında tortu bırakma eğiliminin bir ölçüsüdür. Karbon kalıntısının yüksek değerleri gliserin, serbest yağ asidi ve katalizör kalıntısının varlığıyla ve daha yüksek doymamış çoklu yağ asidi ve polimer içeriğiyle bağlantılıdır [53].

Kükürt muhtevası : Biyodizel yakıtlar bünyelerinde çok az kükürt içerirler. Eğer yakıt kükürt muhteva ediyorsa, bu kükürt oksijenle reaksiyona girip kükürtdioksit ya da kükürttrioksite dönüşür. Daha sonra su buharıyla reaksiyona girip sülfürik asit ve diğer sülfür bileşenlerine dönüşebilir. Sülfürik asit egzoz sistemine zarar vermektedir [44]. Ayrıca bu gazların solunması da insan sağlığı için zararlıdır. Asit yağmurlarının oluşmasına da neden olur.

Biyobozunabilirlik : Biyodizeli oluşturan C16-C18 metil esterleri doğada kolayca hızla parçalanarak bozunur. 10000 mg/l'te kadar herhangi bir olumsuz mikrobiyolojik etki göstermezler. Suyu bırakıldığında biyodizelin 28 günde %95'i, motorinin ise %40'ı bozunabilmektedir. Biyodizelin doğada bozunabilme özelliği dekstroza (şeker) benzemektedir [43].

3.5 Biyodizelde emisyonlar

Biodizel yakıtların genel olarak emisyonları karbon monoksit, karbon dioksit, azot oksit, ve sülfür oksitlerdir. Barsic ve Humke [54] ye fındık yağı ve ayçiçek yağın tek silindirli bir motorda dizel yakıtla karıştırmış ve bitkisel yağın artmasıyla enjektör ağzında karbon çöküntüsünün yüzde yüz dizel yakıt ile karşılaştırıldığında arttığı görülmüştür. Murayama ya göre kolza yağlı metil ester ve bitkisel yağlar daha düşük NO_x emisyonu ve duman vermektedir [55]. Scholl ve Sorensonun yaptığı araştırmaya göre karbon monoksit, NO_x ve is emisyonları soya fasülyesi esterinde dizel yakıtı göre daha az ve HC emisyonları % 50 oranında dizel yakıtı göre karşılaştırıldığında daha azdır [56]. Ali et al farklı oranlardaki metil yağı, etanolu ve dizeli yakıt olarak karıştırıp 522 kw lık altı silindirli turbo şarjlı direk püskürtmeli bir motorda kullanmıştır [57]. Test sonuçları karbon monoksit emisyonlarında bir azalma olduğunu fakat CO₂ ve HC emisyonlarında bir değişiklik olmadığı gözlenmiştir. En iyi performans ve düşük emisyon 80:13:7(dizel,metil,etanol)olduğu görülmüştür. Dorado et al [58] zeytinyağının metil

esterini direk püskürtmeli bir dizel motorda uygulamış ve bunun sonucunda CO,CO₂,azot oksitlerin ve sülfür dioksit emisyonlarının sırasıyla %59,6,%8,6 ,%32 ve %57 oranında azaldığını gözlemlemiştir. Zeytinyağı metil esterinin alternatif yakıt olarak kullanılabilceği ortaya konmuştur. Labeckas ve Slavinskas dört stroklu ,dört silindirli,direk püskürtmeli,modifiye edilmemiş doğal çekişli bir dizel motorda saf kolza metil esterinin %5,%10,%20 ve %35 oranlarının dizel ile karıştırılmasıyla deneyler yapmış CO, hidrokarbon emsiyonlarında gözle görülür bir azalma yaşanırken azot oksit emisyonlarında bir artma gözlemlenmiştir [59].

3.6 Biyodizel performansı

Yarbrough et al bir dizel motorda yakıt olarak altı farklı ayçiçek yağını yakıt olarak kullanmış ve rafineri ayçiçek yağının iyi sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur [60]. Saf ayçiçek yağının değil modifiye edilmiş bir ayçiçek yağının yakıt olarak kullanılabilceğini ortaya koymuştur. Strayer et al [61] rafine edinilmiş kanola yağı ve yüksek erüsic kolza yağını küçük ve büyük dizel motorlarda incelemiştir. Özgül yakıt tüketimin ve parçacıkların bu yağlarla daha yüksek olduğu motor performansının saf kanola yağıyla karşılaştırıldığı zaman rafine edinilmiş kanola yağında daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Pryor et al küçük bir dizel motorda saf soya fasülyesi yağı kullanarak uzun ve kısa zamanlı motor testleri gerçekleştirmiş ve kısa zamanlı testlerin dizel yakıtına yakın performans özellikleri gösterdiğini fakat uzun zamanlı testlerin güç kaybı ve enketörlerdeki karbon birikmesi sebebiyle yapılamadığı gözlemlenmiştir [62].

3.6.1 Biyodizelin yanması

Bitkisel yağlar dizel motorlarında yakıt olarak kullanıldıklarında motor momentinive gücünü fazla etkilemedikleri, buna karşın özgül yakıt tüketimlerinde bir artış olduğu bu konuda yapılan çalışmalarda belirtilmektedir. Bitkisel yağların alt ısıl değeri motorine göre düşüktür. Belirlenmiş bir motorda aynı deney şartlarında elde edilen gücün motorine göre bitkisel yağlarda düşmesi ve tüketilen yakıt miktarının artması, yakıtın alt ısıl değerlerinin farklı oluşundan kaynaklandığı belirtilmektedir [63]. Bu görüş;Ulusoy'un, [32]. "Isıl değeri motorine göre düşük olan bitkisel yağların eşit güç üretebilmesi için daha fazla yakıt tüketmesi gerekmektedir" görüşüne uygun gelmektedir. Ayrıca; motorinin parlama noktasının bitkisel yağlara göre çok düşük olması nedeniyle yanmanın ve yanma hızının daha yüksek olmasına, bitkisel yağların viskozitelerinin yüksek oluşundan kaynaklanan kötü püskürtme karakteristiklerine de bağlanabilir [63].

3.6.2 Karbon Birikintisi

Bitkisel yağların yüksek viskozitesinden dolayı atomizasyon sırasında yakıt zerreciklerinin büyüklüğüne bağlı olarak yanmanın kötüleşmesinden ve yüksek karbon içermesinden dolayı yakıt olarak kullanıldığında motorine göre motor elemanlarında daha fazla is ve kurum oluşturmaktadır. Bitkisel yağların yakıt olarak kullanımında, yanma odası, piston, supap ve enjektörde karbon kalıntısı oluştuğunu ve motorin ile çalışmada meydana gelen yanma odası, piston, supap ve enjektör kalıntıları kolay temizlenebildiği halde bitkisel yağ karışımları ile çalışmada oluşan kalıntıların güçlükle (kazımak suretiyle) temizlenebildiği belirtilmektedir [64]. Ayçiçek yağının dizel yakıt olarak kullanımında meme ucunda karbon birikintilerinin oluştuğunu ve oluşan bu karbon birikintilerinin meme delik çapında daralmaya sebep olduğu ve daralmadan da yakıt atomizasyonunun zamanla kötüleştiğini belirtmişlerdir [65]. Dizel motorlarının bitkisel yağlar ile çalıştırılması halinde motor elemanlarında oluşan tortuların miktarına bağlı olarak supap ve segman yapışması, kırılması, enjektör meme delik çapında daralma, püskürtme ve atomizasyon bozuklukları görülebilir. Bu arıza ve deformasyonlar çok uzun süren çalışma sonucunda ortaya çıkmaktadır.

3.6.3 Yağlama Yağına Etkisi

Çeşitli yöntemler ile viskoziteleri azaltılan bitkisel yağların, dizel motorunda yakılmaları sırasında yağlama yağına etkileri farklı olmaktadır. İnceltme ile elde edilen karışımın yağlama yağı tüketimini biraz azalttığı gözlenirken, proliz ve mikroemülsiyon haline getirme yöntemleri ile elde edilen yağın, yağlama yağını biraz incelterek viskozitesini azalttığı belirtilmiştir [63].

NO_x EMİSYONU AZALTMA TEKNİKLERİ

İçten yanmalı motorlarda yanma odasındaki çok yüksek sıcaklıklarda havanın içindeki azot ve oksijen kimyasal olarak birleşerek, azot oksit (NO_x) denilen, insan sağlığına ve çevreye zararlı bir gaz haline dönüşür. Dizel motorlarının yüksek sıkıştırma oranı ve hava fazlalığı ile çalışması, benzin motorlarına göre NO_x oluşturma potansiyelini arttırır. Yüksek sıkıştırma oranları pik sıcaklık olarak adlandırılan daha yüksek yanma sıcaklıklarına ve direk olarak dizel motorlardan daha fazla NO_x salınmasına neden olmaktadır. Azot oksit emisyonlarının kontrol yöntemleri, genel olarak silindir içi pik sıcaklıkları düşürmeyi amaçlamakta ve bu durum yakıt tüketimini de artırabilmektedir [66]. Bu çalışmada dizel motorlarından kaynaklanan NO_x emisyonlarının azaltılması ele alınarak, günümüz dizel motorlarında kullanılan NO_x kontrol yöntemlerinden biri olan su yakıt emülsiyon tekniğinin detayı incelenmiştir. Azot emisyonlarını azaltmak amacıyla yapılan çalışmalar motorda yapılan modifikasyonlar, egzoz kontrol teknolojileri ve yakıt formüllerinde yapılan geliştirmeler şeklinde yürütülmektedir.

4.1 Motorda yapılan modifikasyonlar

Azot oksit emisyonlarını azaltmayı amaçlayan motor modifikasyonları, yanma işlemini değiştirmekle alakalıdır ancak yapılan bu değişiklikler genellikle PM emisyonlarını arttırmaktadır.

Örneğin silindir içi yanma sonu maksimum sıcaklığını düşürmek, NO_x miktarını azaltmaktadır ancak isin oksitlenmesinin tamamlanmasını engellemekte ve böylece PM

miktarını artırmaktadır. Motor parametrelerini değiştirmek, ayrıca özel uygulamalar için NO_x, PM ve yakıt ekonomisi optimizasyonunu gerekli kılacak ve yakıt ekonomisini etkileyecektir [66] ,[67].

4.1.1 Yanma odası modifikasyonu

Yanma odası içerisine püskürtülen yakıt ve havanın homojen olarak karışmasını sağlamak hem azot oksit hem de PM emisyonunu düşürecektir ancak, henüz küçük kamyonlarda ve otomobillerde kullanılmakta olan küçük-yüksek hızlı motorlarda gerçekleşmesi güçtür. Silindir içi modifikasyonlar, yakıtın püskürtülmekte olduğu piston kafalarında yer alan şekilleri uygun biçimde tasarlayarak bu homojen karışımı sağlamaya çalışmaktadır. Silindir başına 2 supap yerine 4 supap kullanmak, silindir kafa geometrilerini değiştirmek, motorun çalışma koşullarına göre püskürtülen yakıtı ve hava hareketlerini optimize etmek gibi uygulamalar NO_x ve PM emisyonlarını azaltmaktadır [67].

4.1.2 Püskürtme avansının azaltılması

Direk püskürtmeli bir dizel motorunda püskürtme başlangıcının bir miktar öne alınması tutuşma gecikmesini arttıracığından bu safhada silindirlere daha fazla yakıt püskürtülecektir. Tutuşma ile birlikte dizel motoru yanma süreçlerinden biri olan ani yanma periyodunda birim krank derecesi başına düşen basınç değişimi ($dp/d\alpha$) aşırı derecede artacağından çevrimin maksimum sıcaklığı ve basıncı da yükselecektir. Buna bağlı olarak NO_x emisyonlarında bir artış olacaktır [68]. Püskürtme avansının azaltılması NO_x emisyonlarını azaltarak, is oluşumunu artırır. Bu durum püskürtme basıncının arttırılmasını gerektirir. Dolayısıyla malzeme dayanımı ve yakıt sisteminin fiyatının artması gibi sorunlar ortaya çıkacaktır. Avansın azaltılması silindir içi maksimum basıncı düşürür, fakat yanmamış yakıt miktarı artacağından, yakıt tüketimi kötüleşmektedir. Ayrıca avansın aşırı azaltılması hafif yüklerde teklemeye sebep olmaktadır [25], [69], [70].

4.1.3 Egzos gazı resirkülasyonu (EGR)

Yanma odası içindeki karışımın egzoz gazları ile seyreltilmesi sonucu yanma sonu sıcaklıkları, dolayısıyla üretilen NO_x miktarı azalmaktadır. Bu sistemin işlevi egzoz gazlarını silindirlere geri göndererek karışım içerisindeki oksijen konsantrasyonunu azaltıp, karışım oranını azaltmak ve silindir gazlarının ısı kapasitesini yükselterek maksimum gaz sıcaklığını azaltmaktır [71]. Motorlarda NO_x , son alev cephesindeki sıcak gazlarda oluşur. NO_x ' in başlangıçtaki oluşum hızı kısmen sıcaklığa bağlıdır. Oksijen yoğunluğunun yüksek olması da NO_x oluşum hızını arttırır. EGR ile silindir içindeki oksijenin bir kısmının yerini atık karbondioksit (CO_2) ve su (H_2O) alacağından lokal oksijen yoğunluğu azalacaktır. Bu durum yakıt ve oksijen moleküllerinin buluşup reaksiyona girme ihtimalini azaltır. Buna bağlı olarak reaksiyon hızı ve lokal alev sıcaklığı düşerek, NO_x oluşumu azalacaktır [69].

4.1.4 Seçici katalitik indirgeme (SCR)

SCR, NO_x 'un azaltılması için sıkça kullanılan egzoz gazında iyileştirme yöntemidir. Birçok olası katalist içinden en etkili olanı $\text{Ag}/\text{Al}_2\text{O}_3$ 'tür. $\text{Ag}/\text{Al}_2\text{O}_3$, biyodizel-etanol-dizel yakıt karışımında özellikle güçlü bir NO_x emisyonlarında düşme sağlamaktadır. Ayrıca etanol ve $\text{Ag}/\text{Al}_2\text{O}_3$ kullanıldığında SCR'den sonra toplam HC ve CO oranı yükselmektedir. SCR kullanılmadan kullanılan biyodizel-etanol-dizel karışımıyla karşılaştırıldığında HC'da 7 kat ve CO emisyonunda da 13 kat artış görülmüştür. Toplam hidrokarbondaki artış SCR prosesinden sonra kalan etanolden kaynaklanmaktadır. Bundan dolayı SCR'den sonra oksidasyon katalisti kullanılarak HC ve CO emisyonları düşürülmelidir [66].

4.1.5 Katalitik konvertörler

Katalitik konvertörler egzoz akışında istenilen kimyasal reaksiyonların oluşabilmesi ve zararlı emisyonların düşürülmesi için kullanılırlar. Özellikle konvertörler HC, CO ve NO_x emisyonlarını N_2 , H_2O ve CO_2 'e dönüştürmek için kullanılırlar. Katalitik konvertörde kullanılan maddeler, HC ve CO için oksidasyon katalistleri platinyum ve paladyum, NO_x için azaltıcı katalist rhodyum, oksidasyon verimini yükseltmek için ve oksidasyon kapasitesini iyileştirmek için seryumdur [66].

4.1.6 HCCI

HCCI temel olarak yanma işleminin ideal bir şekilde gerçekleştirilmesini amaçlamaktadır. Yakıt silindirin hemen dışında, ısıtılmış dolgu havasının içine püskürtülmekte (Port Fuel Injection), bu sayede yakıt ile havanın daha homojen karışması sağlanmaktadır. Karışımın daha iyi karışmasını sağlamak, silindir içindeki yakıtça zengin bölgelerin ve böylece partiküllerin oluşumunu azaltmaktadır. Sıkıştırma işlemi sırasında tek bir alev yerine çoklu ateşlemelerle daha düşük silindir içi sıcaklıklar meydana getirilmekte ve böylece NO_x emisyonları düşürülmektedir [66], [72]. NO_x ve PM emisyonlarının azaltılmasında HCCI yöntemi oldukça büyük öneme sahiptir. Buna rağmen HCCI; yanma başlangıcının kontrolü, motor vuruntusunun engellenmesi ve bütün motor hız-yüklerinde çalışma zorluğu gibi teknik konularla karşı karşıya kalmaktadır. Bunun da ötesinde HCCI motorlarında vuruntuyu engellemek amacıyla motorun daha düşük sıkıştırma oranlarına sahip olması gerekmekte ve bu durum yakıt ekonomisini olumsuz yönde etkilemektedir [66], [71].

4.2 Yakıtlarda Yapılan Geliştirmeler

Yakıtlar ve otomobil motorları, sürücüler tarafından genellikle birbirinden ayrı, bağımsız kavramlar gibi düşünülmektedir. Buna rağmen bu iki kavram birbirinden bağımsız düşünülemez ki bir motorun emisyon ve performans karakteristikleri kullanılan yakıtla yakından ilişkilidir [66].

4.2.1 Dizel Yakıtı ve Geliştirilmesi

Dizel yakıtı, petrolün daha az rafine edilerek damıtılması sonucu üretilmektedir. Setan sayısı, yakıt yoğunluğu, aromatik içeriği ve kükürt içeriği konuları dizel motorlarındaki emisyonların azaltılması amacıyla yakıtlarda yapılan çalışmaların önde gelen geliştirme alanlarından [66].

4.2.1.1 Setan Sayısı

Setan sayısı yakıtın tutuşmaya hazır olup-olmadığının bir ölçüsüdür ve yüksek setan sayıları yakıtın daha kısa tutuşma süresine sahip olduğunu ifade etmektedir. Daha kısa

tutuşma gecikmesi, silindir içerisindeki basınç artışıının daha yavaş meydana gelmesini sağlamakta ve bu durum NO_x oluşum oranını dūşürmektedir [66]. US dizel yakıtları için en dūşük setan sayısı 40 'dır ve bu sayıyı yükseltmek NO_x emisyonlarının daha az olmasını sağlayacaktır. Buna rağmen yapılan araştırmalara göre setan sayısını 55–60 seviyelerine çıkarmak, emisyonlar üzerinde çok küçük bir azalma sağlamaktadır [12].

4.2.1.2 Yakıt Yoğunluğu

Emisyonların yanma sistemi tasarımı (yanma odası tasarımı, enjeksiyon sistemi-miktarı-oranı ve pūskürtme basıncı gibi) ile yakından ilişkili olmasına rağmen, yakıt enjeksiyonu ve havayakıt karışımının oluşumu yakıtın yoğunluğuna bağlıdır. Yakıt yoğunluğunu dūşürmek genel olarak eski motorlarda daha az NO_x üretimi ve PM emisyonlarında da faydalar sağlayacaktır.

Buna raėmen bu faydalar, yakıt pūskürtme işleminin elektronik olarak gerçekleřtirildiėi gūnümüz modern motorlarında elde edilmeyebilir [66].

4.2.1.3 Aromatlar

Aromatik bileşikler daha yüksek sıcaklıklarda yanmaktadır, bu nedenle aromatik içeriği azaltmak makul düzeyde NO_x'lerin azalmasını sağlamakta ancak PM emisyonlarındaki etkisi oldukça küçüktür. Buna rağmen modern, dūşük PM emisyonlu motorlarda bu durum önemsenmeyebilir [73]. Aromatik içeriği US'de hacim başına %35 ile sınırlı iken California'da %10 ile sınırlandırılmaktadır [66].

4.2.1.4 Yakıt Sülfür İçeriği

Yakıtın ihtiva etmiş olduğu kükürt miktarı emisyonlar üzerinde iki temel etkiye sahiptir. Birincisi: Yakıt kükürtünün yaklaşık %1-2'si sülfata dönüşmekte ve bu durum direkt olarak PM emisyonunu artırmaktadır [73]. İkincisi: Şuan ki kükürt seviyesi, geliştirilmekte olan egzoz kontrol sistemlerinin çalışmasını yavaşlatarak ya da kapasitesini dūşürerek olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Örnek olarak NO_x emiciler, oksidasyon katalistleri yüksek kükürt oranlarından etkilenmekte ve kükürt zehirlenmesi olarak bilinen etkiye maruz kalmaktadır [66].

4.2.2 Alternatif Yakıtlar Ve Dizelle Yapılan Karışımlar

4.2.2.1 Biodizel (BD)

Biodizel yakıtı hayvansal iç yağlardan ya da bitkisel yağlardan üretilmektedir. Soya fasulyesi Amerika'da en çok kullanılan biodizel üretim kaynağıdır ancak kanola, mum yağı ya da atık yemek yağları da bu amaçla kullanılmaktadır. Kimyasal işlem sonucu elde edilen fakir (hafif) biodizel (BD100), normal dizel yakıtı ile karıştırılabilmektedir (Genellikle karışımın %20'si biodizel iken %80 i dizel yakıtı olacak şeklindedir). Bu yakıtlar sadece yakıt sisteminde ya da motorda ufak değişimler yapmak suretiyle kullanılabilir [66]. Biodizel yakıtı normal dizel yakıtından daha fazla oksijen içermekle birlikte PM emisyonlarına neden olan aromalar ve kükürt içeriğine sahip değildir. Buna rağmen biodizelin yanması sonucu oluşan egzoz gazında birkaç sülfat çeşidi ve yüksek oranda SOF bulunmaktadır. Üretim kaynağına bağlı olarak yüksek setan sayısı (45-65) içermesine rağmen, püskürtme zamanlaması uygun ayarlanmadığı sürece NO_x emisyonlarında artış meydana gelmektedir [66].

4.2.2.2 Dimetil Eter (DME)

DME; yenilenebilir biokütle, doğal gaz, kömür gibi karbon içeren her maddeden sentezlenebilir ancak günümüzde genellikle metanolün dehidrasyonu yöntemiyle elde edilmektedir. Ürün karbon-karbon bağı, kükürt ve aromalar içermeyen, kısmen oksitlenmiş bir gazdır. Oldukça yüksek setan sayısına sahiptir [74]. Bu özellikler, PM ve NO_x emisyonlarının daha düşük değerlerde olmasını sağlamaktadır [66]. Oda sıcaklık ve basınç değerlerinde gaz halinde bulunan DME, hazır bir şekilde dizel yakıtının yerine kullanılamamaktadır. Daha çok propan gibi sıvı fazda depolanması için basınçlı tanklara ihtiyaç duyulmaktadır. Yakıt enjeksiyon sistemi, sızıntılara karşı hassas hale gelmekte ve kullanım süresi kısalmaktadır (yakıtın yüksek buharlaşma basıncına ve düşük viskoziteye sahip olmasından dolayı) ve bundan dolayı bazı modifikasyonlara gerek duyulmaktadır [75]. LPG'de olduğu gibi güvenlik endişeleri de bulunmaktadır ve kullanılmakta olan dizel altyapısı ile DME'nin kullanımı olanaksızdır. DME; emisyon bakımından avantajlara sahip olmasına rağmen yakıt depolama ve altyapı değişikliği sorunlarıyla karşı karşıyadır [66].

4.2.2.3 Dimetoksi Metan (DMM)

DME ile alakalı olan dezavantajlar DMM için de geçerlidir ve bu nedenle yapılan araştırmalar DMM'nin dizel yakıt katkısı olarak kullanılması yönündedir. Dimetoksi metan, Dimetil etana benzemektedir ancak oda şartlarında sıvı fazdadır ve dizel yakıt ile herhangi bir oranda karıştırılabilmektedir. DMM ve dizel karışımı, motorda herhangi bir değişim yapılmaksızın kullanılabilir ve NO_x emisyonlarında değişiklik olmazken PM emisyonlarında düşüş gözlemlenmektedir. Ayrıca DMM kullanımı ultrafine parçacıkların artmasına neden olmaktadır [66].

4.2.2.4 Fisher-Tropsch Dizel (F-T)

Fisher-Tropsch işlemi hidrojen ve karbondioksit gibi sentetik gazları syncrude olarak adlandırılan sentetik, kaba yağlara dönüştürmektedir. Sentetik gazlar genel olarak doğalgazlardan kendi kendine meydana gelmektedir. Sentetik yağdan daha sonra geleneksel yöntemle F-T üretilmektedir ve kullanılmakta olan dizel altyapısına da uygundur [66]. Fisher-Tropsch dizel yüksek setan sayısı, düşük kükürt ve aromatik oranı gibi birçok olumlu özelliğe sahip sıvı bir yakıttır. Bu özellikler NO_x ve PM emisyonlarında fayda sağlamanın yanında F-T yakıtına motorlarda bir değişiklik yapılmadan kullanıma olanağı sunmaktadır [66].

4.2.3 Suyun yakıtta ilave edilmesi

4.2.3.1 Fümigasyon

Fümigasyon yönteminde su, emme manifoldunun içine püskürtülür. Fümigasyon tekniği ile dizel motorlarında NO_x emisyonlarının azaldığı görülmüştür fakat bu yöntemde, yanma odası içindeki sıvı haldeki suyun emisyonları azaltmaya yönelik olumsuz etkileri olduğu için olumsuzluklar vardır. Bu yüzden, fümigasyon, direkt su püskürtme yöntemiyle aynı NO_x emisyonlarının azalması durumu karşılaştırıldığında, fümigasyonun iki kat daha fazla sıvı hacmi püskürtülmesi gerektiği görülmektedir. Yöntemin dezavantaj olarak ifade edilebilecek tarafı, yanma sonunda sıvı haldeki su, yağlama yağının kirlenmesine ve motor aşınmalarının artmasına neden olmaktadır [76].

4.2.3.2 Direkt püskürtme

Bu metod iki şekilde uygulanabilir. Birincisi ayırma nozuluyla direkt olarak silindir kafası içine suyun püskürtülmesiyle, ikinci olarak da özel olarak tasarlanmış nozul içinden su ve yakıtı birbiri ardına göndermektir. Bu iki sistemin de ana teması yanmanın olduğu silindir içindeki maksimum sıcaklığı düşürerek NOx emisyonlarını azaltmaktır. Ayırma nozuluyla silindir içine direkt olarak suyun enjekte edilmesinin avantajı su miktarının ve suyun enjekte edildiği zamanın değişken olduğu ve yakıttan ayrı ayrı kontrol edilebilirliğidir. Yakıtle birlikte tek nozuldan sırayla enjekte edilen su miktarı değişken olabilir bununla birlikte enjeksiyon zamanı su/yakıt oranına bağlıdır. Bu yöntemlerle silindir içine önemli miktarda su enjeksiyonu gerçekleştirilebilir ve bununla ciddi değerde NOx emisyonu azalması sağlanabilir. Direkt olarak püskürtmenin diğer bir avantajı ise suyun direkt olarak aleve (yanma bölgesine) daha verimli şekilde püskürtülmesidir. Su püskürtme ile buharlaşır ve daha homojen bir karışım sağlar [77].

4.2.3.3 Yakıt-Su emülsiyonu

Hidrokarbon bazlı yakıt ve su emülsiyonlarını iki tipe ayrılmaktadır.Su-Yağ ve Yağ-Su bazlı emülsiyonlar.Su yağ bazlı emülsiyonlarda,yakıt içeriği fazla su içeriği az ,yağ su bazlı emülsiyonlarda da su içeriği fazla yakıt içeriği azdır.

Bu deney çalışmasında da kullanılan su/yağ emülsiyonunda da olduğu gibi,emülsiyonun stabilitesi yani faz ayrışması gerçekleşmeden karışımın motora gönderilebilmesi,ve yakıt içerisinde su partiküllerinin mümkün olduğunca homojen dağılması,emülsiyonlu yakıtlarla çalışmada karşılaşılan problemlerdir [78].

4.2.3.4 Emülsiyon tekniği

Emülsiyon tekniği de NOx emisyonunu azaltmak ve yanma verimliliğini arttırmak için uygulanan yöntemlerden biridir.Bu yüzden biodizellerin emülsiyonunda NOx emisyonlarının azalacağı öngörülmektedir [78].

1960 lı yıllardan beri kullanılan emülsiyonlu yakıtlar dizel,mazot gibi petrol türevli yakıtların su gibi karbon içermeyen bileşiklerle karışımından meydana gelir.Karbonlu yakıt,büyük miktardaki su ile karıştığında su bazlı emülsiyon,eğer su büyük miktardak,

karbonlu yakıtlarla karışır iseyakit bazlı emülsiyon meydana gelir. Emülsiyonları kirliliğinin kontrolü için çalışmalarında kullanana birçok araştırmacı,su bazlı emülsiyonların uygulanmasının yakıt bazlı emülsiyonlardan daha zor olduğunu görmüştür.Bu da bu tarz bir emülsiyonu kullanabilmek için içten yanmalı motorların yeniden konstrüktif olarak çalışması zorunluluğunda kaynaklanmaktadır. Su bazlı emülsiyonlar motorun iç parçalarına korozif bir etki yaptığından dolayı bu gibi emülsiyonlar yağlayıcılığı arttırtmak ve güç düşüşünün yaşanmadan çalışılması için etken maddeler gerektirmektedir. Bu yüzden su bazlı emülsiyonlar çalışıldığı zaman motorların modifiye edilmesi gerekmektedir.Yağ bazlı emülsiyonlar ise herhangi bir modifiye gerektirmez. Çünkü bu emülsiyonlar motor parçaları üzerinde diğer yakıtlara göre fazla bir korozif etkiye sahip değildir. Ayrıca yanma prosesi sırasında suyun varlığından dolayı,emülsiyonlu yakıtlardaki emisyonlar daha azdır.Emülsiyonlu yakıtlar emisyonu azaltmasına rağmen birçok daha önceki ilgili araştırmalar dizel emisyonlu yakıtlar olarak sınırlandırılmıştır [78].

4.2.3.5 Biyodizelde emisyonların azaltılması

Biyodizelin NOx emisyonundaki olumsuz artışını azaltmak için bir takım çalışmalar yapılmıştır. Szybist et al tutuşma gecikmesini modifiye etmek için setan iyileştiriciler ve yakıt enjeksiyon modifiyesi için farklı hacimlerde biyodizel kullanmıştır.Bu da NOx emisyonunu azalmıştır [79]. Leung et al bireysel motor işletme parametrelerini kontrol ederek biyodizel motor emisyonlarının optimize edilmesinde olumlu sonuçlar alınmadığını HC,NOx ve PM emisyonları için daha çok parametrelerin kontrol edilmesi gerektiğini savunmuştur [80]. Fernando et al termal NOx mekanizmasının NOx emisyonu oluşmasında temel etken olduğunu yani NOx su püskürtme uygulaması, tutuşma zamanı gecikmesi ve egzoz gazı resirkülasyonu gibi alev sıcaklığı azalmasına neden olan yöntemlerle azalacağını ortaya koymuştur. Fakat bu metodlardan birçoğu motor performansında kötüleşmelere yol açmaktadır [81].

Dizel motorlar yüksek sıcaklık ve basınç yanmasından dolayı NOx ve PM emisyon oluşumuna neden olmaktadır. Sağlığı tehdit eden NOx in kontrolünde,suyun eklenmesi önemli stratejilerden bir tanesidir. NOx insan sağlığına zarar vermesinin dışında

bitkilere zarar veren O_3 ozon oluşumuna da öncü olmaktadır. Sonuç olarak NO_x bitkilere ve su sistemine zarar veren asit oluşumuna neden olmaktadır.

Yapılan deney sonuçlarına göre emülsifikasyonlar hem dizel yakıtlarda hemde CPO larda azot oksit ve parçacıkların azalmasında etkilidir [12], [80].

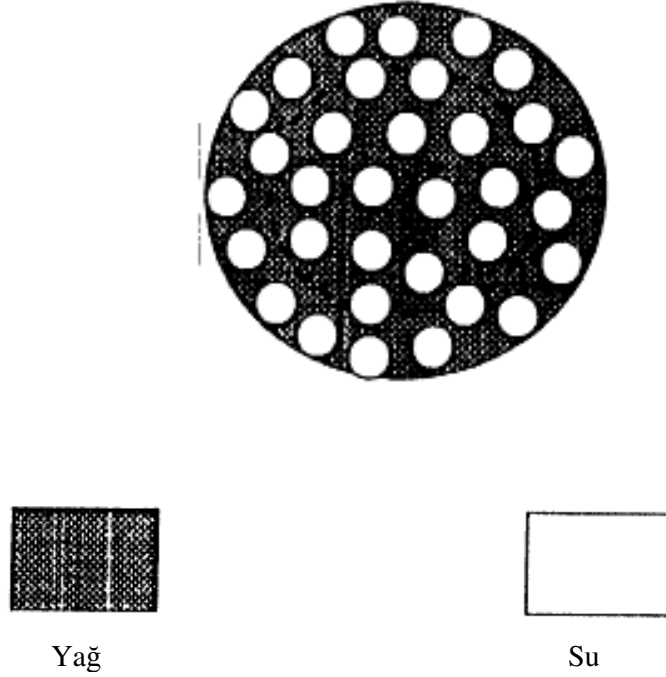
4.2.3.6 Yakıtta su eklenmesinin emisyonlara ve yanmaya katkısı

Suyun dizel motora eklenmesinin birçok yararı olduğu birtakım çalışmalarla ispat edilmiştir. Ana olgu yanma bölgesindeki pik sıcaklığın azalmasıdır. Suyun buharlaşmayla birlikte gazın sıcaklığını düşürme etkisi vardır bu da Zeldovich mekanizma reaksiyonundaki termal NO oluşumundaki azalmayı meydana getirmektedir [82]. Ayrıca bu damlacık mikroparçalanmaya katkıda bulunan atomizasyon ve karışıma da yardımcı olmaktadır. Bu ikincil atomizasyon bir yakıt damlasındaki su damlacıklarının buharlaşması sonucu ortaya çıkmaktadır. Su buharı partiküllerle oksijenin olmadığı bölgede CO ve H_2 üretmek için reaksiyona girer ve böylece ortaya çıkan parçacık emisyonunda azalmış olur [83]. Yanma odasındaki NO_x in temel kaynağı termal mekanizmadır ve alev sıcaklığının azalmasıyla NO_x emisyonunda azalmaktadır. Suyun yakıtta eklenmesi difüzyon yanma sırasında tamamlayan yanmaya neden olabilir. CO artması OH radikalleriyle is oksidasyonlarının azalmasından kaynaklanmaktadır [82].

4.2.3.7 Mikroparçalanmalar ve oluşum mekanizması

Yakıt emülsiyonlarının alev sıcaklığının düşmesindeki temel neden mikroparçalanmalara dayanmaktadır. Mikroparçalanmalar emülsiyon içerisindeki yakıtın daha hızlı buharlaşmasını, ve daha küçük zerreciklere ayrılan yakıtın yüksek hızlarda püskürtme sınırından daha uzaklara dağılmasını böylelikle de yakıt hava karışımının daha iyi gerçekleşmesini sağlamaktadır. Mikroparçalanmaların temeli suyun ve yakıtın buharlaşma noktalarının birbirinden farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Buharlaşma noktası daha küçük olan su damlacıkları 212 F gibi yüksek sıcaklıkta hızlı ve ani bir şekilde buharlaşmakta ve kendisini saran yağ tabakasında hızlı bir şekilde genişleyip daha küçük zerreciklere ayrılmasını sağlamaktadır. Bu reaksiyonun adı ikincil atomizasyon olarak adlandırılmaktadır [83].

Mikroparçalanmalar, emülsiyonların su bazlı ya da yağ bazlı olmasına göre değişmektedir ve aslında nasıl meydana geldiği ve hangi koşullarda oluştuğu oldukça karmaşıktır. Daha önce mikroparçalanmaların oluşum mekanizmasına ait çalışmalar yapılmış olup, bunlardan bir tanesi yağ ve su emülsiyonlarının mikroparçalanmalarının tek boyutlu modellenmesi deneyidir. Yapılan çalışmada mikroparçalanmaların oluşması için, Şekil 4.1 deki gibi su moleküllerinin etrafında bir yağ tabakasının oluşması gereklidir.



Şekil 4.1 Su damlacıkları etrafında oluşan yağ membranı [84].

Sıcaklığın, mikroparçalanmaların oluşmasında ve etkili olmasında büyük önemi vardır. Optimum sıcaklıkta su damlacıkları aşırı ısıtılmış duruma geçer ve aynı anda buharlaşmaya başlar, eğer sıcaklık yeterince yüksek olmazsa suyun iç molekül kuvvetlerinin yüksek olmasından dolayı, ısıtmaya başlamadan buharlaşacak ve patlamalar meydana gelmeyecektir tam tersi eğer sıcaklık çok yüksek olursa, bazı moleküller aniden buharlaşacak ve aynı anda bir patlama gerçekleşmeyecektir.

Damlacık boyutunda mikroparçalanmada çok önemlidir. Eğer parçacık boyutu çok küçük olursa yakıt içerisindeki su molekülü kızgın duruma geçmeden buharlaşacak ya da patlamalar çok küçük düzeyde gerçekleşecektir [78].

4.2.3.8 Su gaz reaksiyonları

NO_x emisyonları ile birlikte is emisyonlarının da azalması emülsiyonlu yakıt kullanmanın getirdiği olumlu özelliklerden birisidir. İkincil atomizasyonun neden olduğu daha iyi yakıt-hava karışımı, beraberinde karbon moleküllerinin denklem 4.2 deki gibi O₂ molekülleriyle egzotermik reaksiyona girip okside olmasını ve CO ve CO₂ dönüşmesini sağlamaktadır. 1000 ve 1800 derecede yanma odasında gerçekleşen temel reaksiyonlar aşağıda gösterilmiştir.



Yanma odasındaki O₂ molekülleri hidrokarbonlu yakıtların yanması için yeterli miktarda değilse, tam olarak gerçekleşmeyen yanmadan dolayı is emisyonları oluşacaktır. Fakat emülsiyonlu yakıtların içerisindeki H₂O molekülleri ile denklem 4.4 deki endotermik su-gaz reaksiyonu gerçekleştiğinde is oluşumunda azalacak CO emisyonu oluşacaktır. Bu reaksiyon endotermik olduğu için yanma odasının sıcaklığının artmasıyla oluşumu da artacaktır.



Bu reaksiyondaki CO molekülleri yeterli miktarda O₂ molekülleri varsa denklem 4.5 deki gibi CO₂ molekülüne dönüşür.



Denklem 4.6 da belirtilen bir diğer su gaz reaksiyonu ise reaksiyon 4.4 de meydana gelen CO moleküllerinin yine H₂O molekülleri ile reaksiyona girerek CO₂ e dönüşmesini sağlamıştır.



Bütün bu reaksiyonlar dizel yakıtta göre kütlece fazla oksijen içeren biyodizel ve su emülsiyonlarında NO_x in yanında, is emisyonlarının da azalma sebebi olarak bir çok çalışmada gösterilmiştir [85].

4.2.4 Su eklenmesiyle motorda karşılaşılan problemler

4.2.4.1 Motor korozyonu

Emülsiyonlu yakıtlarda, su ve yakıtın katmanlaşmadan daha doğrusu faz ayrışması gerçekleşmeden muhafaza edilmeye çalışılması her zaman problem olmuştur. Bu da su parçacıkları motorun komponentleri ile temasa geçtikçe korozyona neden olmaktadır. Karışımın emülsiyon kararlılığı arttıkça korozyon problemide aza indirilmiş olur [78].

4.2.4.2 Yakıtın stabilitesi

Emülsiyonlar su ve yakıt çözeltisi olarak değil, su damlacıklarının yakıt içerisindeki süspansiyonu olarak tanımlanmaktadır. Suyun yoğunluğu yakıt olarak kullanılan biyodizelin yoğunluğundan daha fazla olduğu için, eğer karışım periyodik olarak karıştırılmıyorsa su damlacıklarının karışım içerisinde dibe çökme eğilimi vardır. Bu da yakıtın zamanla katmanlaşması, yani tankın dibinde yukarıdan daha fazla konsantrasyona sahip su moleküllerinin bulunması demektir. Emülsiyonların dayanıklı olmamalarının nedeni, bunların geniş bir yüzeylerarası alan göstermeleri ve bu alanla orantılı bir iç yüzey enerjisine sahip bulunmalarındadır. Birbiri ile karışmayan iki sıvı birlikte karıştırıldığı zaman, sıvılar birbiri içinde artan toplam yüzey alanı ile küçük damlalar halinde dağılırlar. Sıvıların karışmaması, ayrılan her sıvı molekülü arasındaki kohesif kuvvetin, iki sıvı arasındaki adezif kuvvetten daha büyük olmasından kaynaklanmaktadır. Karışmamanın derecesi arttıkça, arayüzey gerilimi de artar. Bu proses tamamıyla engellenemesede, bir takım önlemler alınarak yavaşlatılabilmektedir. Emülsiyon stabilitesi yüzey aktif maddesi artırılarak iyileştirilebilir. Bu madde damlacıkların biraraya gelme eğilimine karşı direnç gösterir. Damlacıkların büyüklüğü de en önemli parametrelerden biridir. Parçacık boyutu azaldıkça, birleşip çökme prosesinde yavaşlamaktadır. Daha küçük damlacıklar elde edebilmek için yakıtın devamlı karıştırılması gerekir [85].

DENEYDE KULLANILAN YÖNTEM VE MATERYALLER

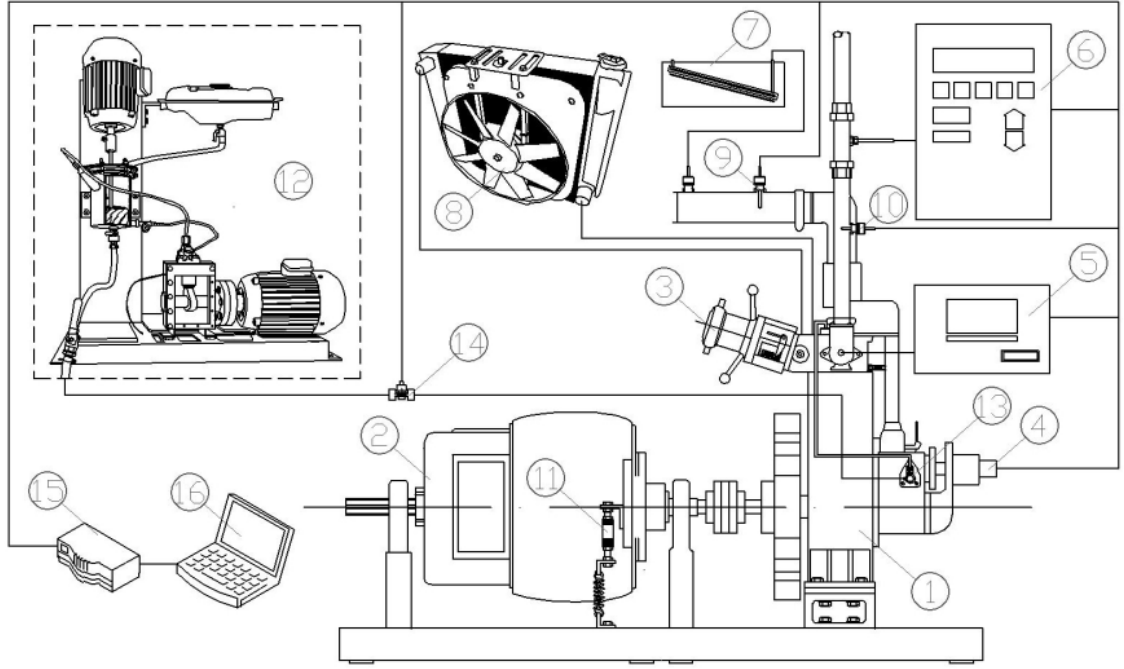
5.1 Deneyin amacı

Bu çalışmada saf biyodizel, %3.5, %5, %10 ve %12 su içeren biyodizel emülsiyonlarının bir karıştırıcıda makro - emülsiyon oluşturularak tek silindirli bir CFR motorundaki yapılan deneylerinden motor performansları, emisyon ölçüm değerleri ve silindir içi basınç değişimleri elde edilmesi amaçlanmıştır.

5.2 Deney yöntemi

Deney düzeneği bünyesinde içten yanmalı tek silindirli CFR dizel motoru, motor test düzeneği, emülsiyonlu yakıtı oluşturan dönel karıştırıcı, emisyon analiz cihazı, is ölçüm cihazı, yük hücresi, optik enkoder, basınç sensörü, sinyal yüksetici osiloskop ve termokupllar bulunmaktadır. Deney setinin şematik şekli Şekil 5.1'deki gibidir ve teknik özellikleri maddeler halinde verilmiştir. Deneyler saf biodizel, hacimce %3,5, %5,%10 ve %12 su ile hazırlanan biyodizel/su emülsiyonları olmak üzere 5 tip yakıt ile yapılmıştır. Motor rejim sıcaklığına ulaşana kadar motorin ile çalıştırıldıktan sonra tam gaz konumunda yüklenerek, 15 farklı noktada ürettiği tork, tükettiği yakıt miktarı ve emisyon değerleri test karışımları için ölçülmüştür. Ölçülen 15 noktadan uygun olan 10 adedi seçilip gerekli formüllerde kullanılarak motorun performans karakteristikleri elde edilmiştir. Kısaca deneyler sırasında ölçülen dizel motor hızı, DC motor hızı, tork, ilgili devirdeki yakıt tüketim süresi değerleri ile motorun gücü ve özgül yakıt sarfiyatı hesaplanmıştır. Ayrıca deney sırasında her devir için egzoz sıcaklığı silindir içi basınç

ölçümü ve emisyon değerleri ölçümü de yapılmıştır. Bütün deneyler, değişik motor yüklerinde ve üst ölü noktadan 22° önce olan sabit püskürtme avansı ile yapılmıştır.



Şekil 5.1 Deney düzeneğinin şematik resmi

1. CFR Motor, 2. DC Dinamometre, 3. Sıkıştırma oranı ayarlama ekipmanı, 4. Shaft Enkoder, 5. Emisyon analiz cihazı, 6. İS emisyonu ölçümü, 7. Manometre, 8. Soğutma sistemi, 9. Emme havası sıcaklık ölçümü için Termokupl, 10. Egzos gazı ölçümü için termokupl, 11. Yük hücresi, 12. Yakıt karışım ünitesi, 13. Dizel yakıt pompası, 14. Debimetre, 15. Veri toplama kartı, 16. Bilgisayar



Şekil 5.2 Deney düzeneğinin resmi

5.2.1 Deney motoru

Bu çalışmada Ferrymann marka tek silindirli bir dizel motoru kullanılmıştır. Deney motorunun genel görünümü Şekil 5.3 de ve teknik özellikleri Çizelge 5.1 de verilmiştir.



Şekil 5.3 Deney motorunun görüntüsü

Çizelge 5.1 Deney motorunun teknik özellikleri

Markası	Ferryman Engine-1977
Silindir sayısı (adet)	1
Silindir çapı (mm)	90
Stroku (mm)	120
Toplam silindir hacmi (cc)	799
Süpürme hacmi (cc)	765
Sıkıştırma oranı	19
Supap sistemi:	Külbütör mekanizması
Emme supap adedi:	1
Egzoz supap adedi:	1
Emme supabı açılma avansı:	0° KMA
Emme supabı kapanma gecikmesi:	60° KMA AÖN'dan sonra
Egzoz supabı açılma avansı:	25° KMA AÖN'dan önce
Egzoz supabı kapanma gecikmesi:	0° KMA

5.2.2 Biyodizel ve su emülsiyonlarının hazırlanması

Deneylerde kullanılan emülsiyonlu yakıtlar makroemülsiyon olarak hazırlanmış olup herhangi bir yüzey aktif maddesi içermemektedir. Bu yüzden emülsiyon stabilitesini arttırmada karıştırıcının hızı ve karıştırma süresi önemli bir rol oynamıştır. Yıldız teknik üniversitesi laboratuvarında, 25 ml lik test tüplerine 5, 7,5 ve 10 dk süre boyunca karıştırılmış olan emülsiyonlu yakıtlar koyularak, 3 gün süreyle gözlemlenmiştir. Birer dk arayla deney tüplerinin fotoğrafları çekilmiş ve Şekil 5.4 de gösterilmiştir. Burada geçen süreyle beraber emülsiyon içerisindeki nem miktarı ppm olarak Şekil 5.5 de gösterilen Mettler Toledo DL39 model Karl Fisher su tayin cihazında volümetrik titrasyon metoduyla belirlenmiş ve instabilite bozukluklarının meydana geldiği süreler kaydedilmiştir. Bu da bize motora yakıtı göndermeden önce karıştırma ünitesini ne kadar çalıştırmamız gerektiği ve ne kadar süre sonra faz ayrışmasının gerçekleşmeye başladığı konusunda bilgi vermiştir. Şekil 5.6 da belirli miktarda su içeren emülsiyonların karıştırılma süresine göre ayrışma zamanlarını veren grafik verilmiştir.



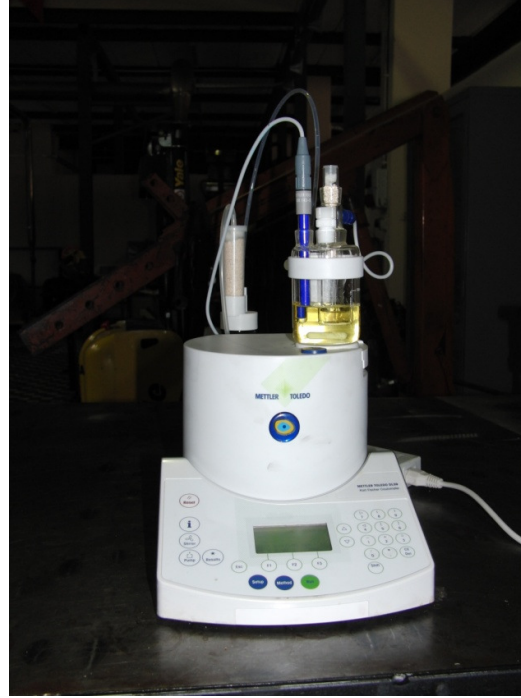
%5 hacimsel su/biodizel karışım – B95



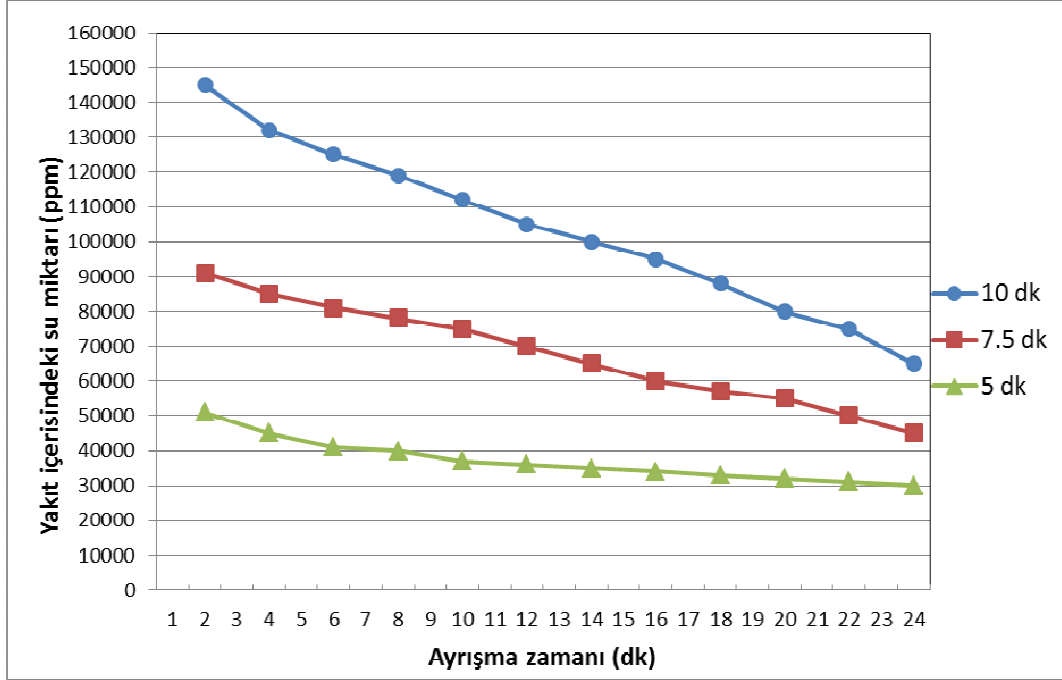
%12 hacimsel su/biodizel karışımı – B88

Şekil 5.4 Su / biodizel emisyonları

B95 ve B88 yakıtlarına ait resimlerde de görüleceği üzere 6 dk boyunca karışımlarda herhangi bir instabilite görülmemektedir.



Şekil 5.5 Karl Fisher su tayini cihazı



Şekil 5.6 Farklı oranda su içeren emülsiyonların karıştırma sürelerine göre ayırma zamanlarının değişimi

5.2.2.1 Yakıt testleri ve özellikleri

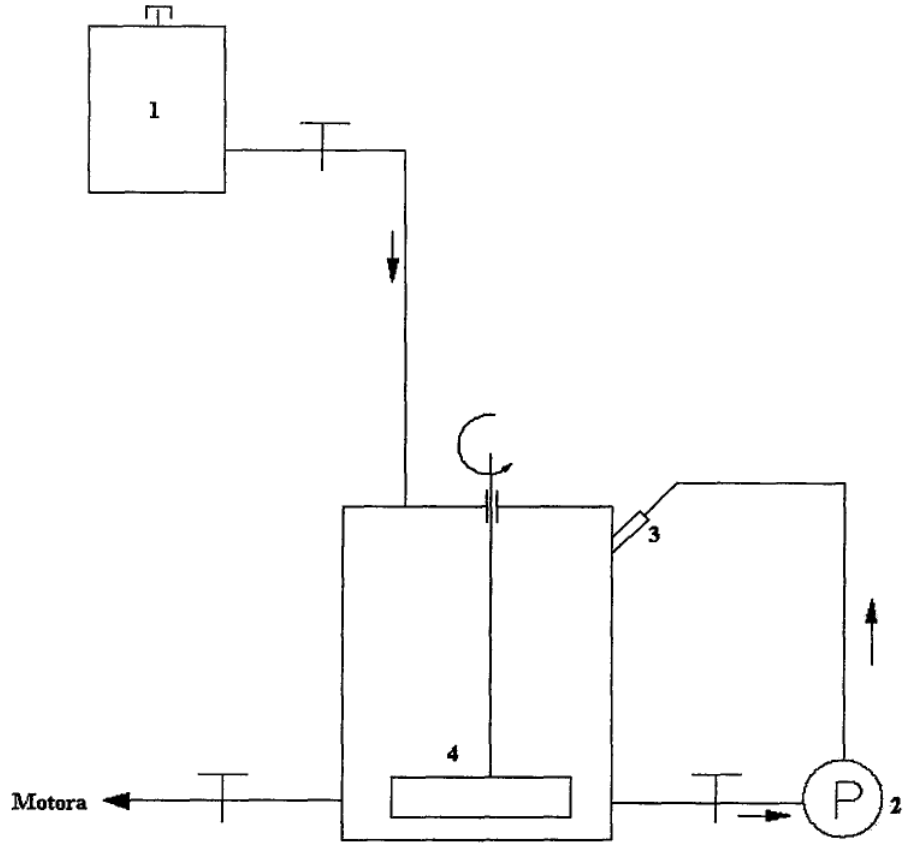
Çalışmada kullanılan yakıt, Doç. Dr. Nalan AKGÜN tarafından laboratuvar ortamında baziktransesterifikasyon yöntemi uygulanarak üretilmiştir. Katalizör olarak NaOH kullanılmış olup metanol ile reaksiyon gerçekleştirilmiştir. Çalışmada yaklaşık 60 litre biyodizel kullanılmıştır. TS EN 14214 normuna uygun olarak üretilen yakıtın fiziksel özelliklerinin belirlenmesi amacıyla ester içeriği Kimya Metalürji fakültesi laboratuvarlarında, yoğunluk, setan sayısı, su içeriği, parlama noktası, oksidasyon kararlılığı, net yanma ısı ve asit sayısı gibi yakıtın yanma kabiliyetini ve verimini etkileyen temel kimyasal ve fiziksel özellikleri TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsünde tayin edilmiş olup, EN 14214 standardına göre izin verilen max.ve min.sınırlar ile Çizelge 5.2 de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Deney yakıtının fiziksel ve kimyasal özellikleri

Yakıt özellikleri	Biyodizel	En az	En çok	Analiz metodu
Yoğunluk (15 ⁰ C) (kg/m ³)	893,2	860	900	EN ISO 12185
Setan Sayısı	51,2	51	-	EN ISO 5165
Su tayini (mg/kg)	327	-	500	EN ISO 12937
Parlama noktası (⁰ C)	156	120	-	EN ISO 3679
Oksidasyon Kararlılığı (110 ⁰ C)	7,14	6	-	EN 14112
Net yanma ısı (Mj/kg)	39,51	-	-	
Asit sayısı mg (KOH/g)	0,05	-	0,5	EN 14104
Ester muhtevası % (kütle)	97,5	96,5	98,5	EN 14103

5.2.2.2 Emülsiyon ünitesi

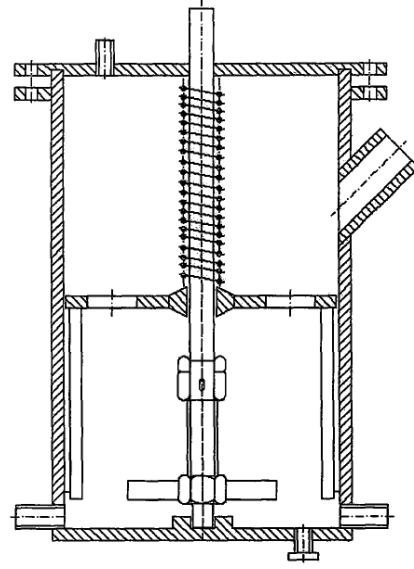
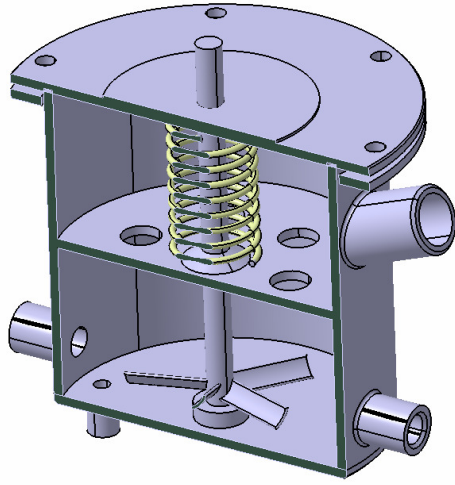
Deneylerde kullanılan makroemülsiyonlar, özel olarak dizayn edilmiş bir karıştırıcıda sürekli karıştırmaya tabi tutularak motora gönderilmiştir. Karıştırma ünitesi, dönel karıştırıcı ve püskürtme devresi olmak üzere iki ana devreden oluşmaktadır. Ayrıca istenilen oranda ki karışımların karıştırma öncesi depolanabileceği bir depo da bu ünite üzerinde yer almaktadır. Ancak karışımlar 1000 ml lik ölçekli kapta hazırlanmış olup dönel karıştırıcının içerisine direkt konulduğu için deney sırasında bu depoya ihtiyaç duyulmamıştır. Şekil 5.7 de ünitenin şematik resmi gösterilmektedir.



Şekil 5.7 Karıştırma düzeneğinin şematik resmi

5.2.2.2.1 Dönel karıştırıcı

Dönel karıştırıcı içerisinde yer alan pervane 0,75 Kw ve 1490 d/d hızında olan bir elektrik motoru ile tahrik edilmekte olup çapı 50 mm'dir. Dönme hareketi pervaneye doğrudan aktarılmaktadır. Dönel karıştırıcı haznesinin iç yüzeyinde sürtünme dirençlerini artırmak için kanatçıklar bulunur. Dönel karıştırıcıda ki pervanenin, karışımı dönmeye zorlamasıyla birlikte cidarlardaki kanatçıklarda meydana gelen sürtünme direnci sayesinde oluşan kesme kuvvetleri karışımı parçalayarak küçük damlacıklar halinde kendi içinde dağılmasını sağlar. Şekil 5.8 de dönel karıştırıcının kesit resimleri verilmiştir.



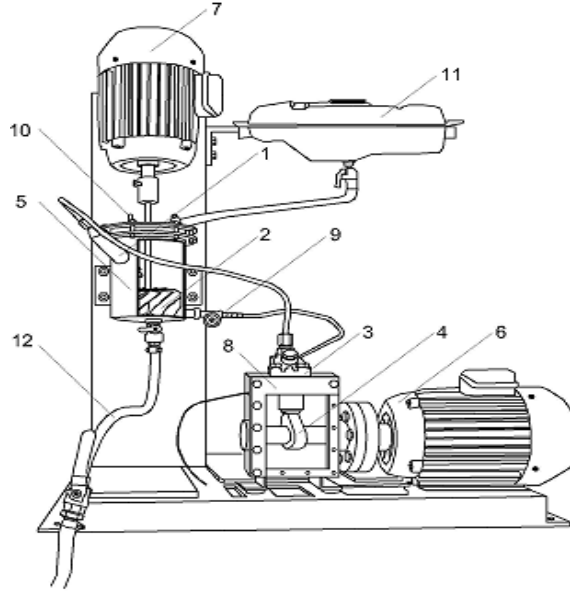
Şekil 5.8 Dönel karıştırıcının kesiti

5.2.2.2.2 Püskürtme evresi

Püskürtme devresinde; yüksek basınç pompası olarak özel bir kaide üzerine yerleştirilmiş dizel motor püskürtme pompası kullanılmıştır. Pompanın kam mili yine 0,75 Kw gücünde ve 1490 d/d hızındaki ayrı bir elektrik motoru ile doğrudan tahrik edilmektedir. Pompa kramayer dişlisi elle hareket ettirilerek yakıt debisinin kontrolü yapılabilir. Dönel karıştırıcı haznesinden yüksek basınç pompasına gelen karışım, pompadan püskürtme basıncı 100 kp/cm^2 olan dizel motor enjektörüne gönderilmektedir. Enjektör karışımı pülverize bir şekilde yeniden dönel karıştırıcı haznesine püskürtür. Karışım burada bir kez daha parçalandıktan sonra alttan motora verilmektedir. Karıştırma ünitesinin görüntüsü Şekil 5.9 da detay görüntüsü ise Şekil 5.10 da verilmiştir.



Şekil 5.9 Emülsiyon ünitesinin resmi



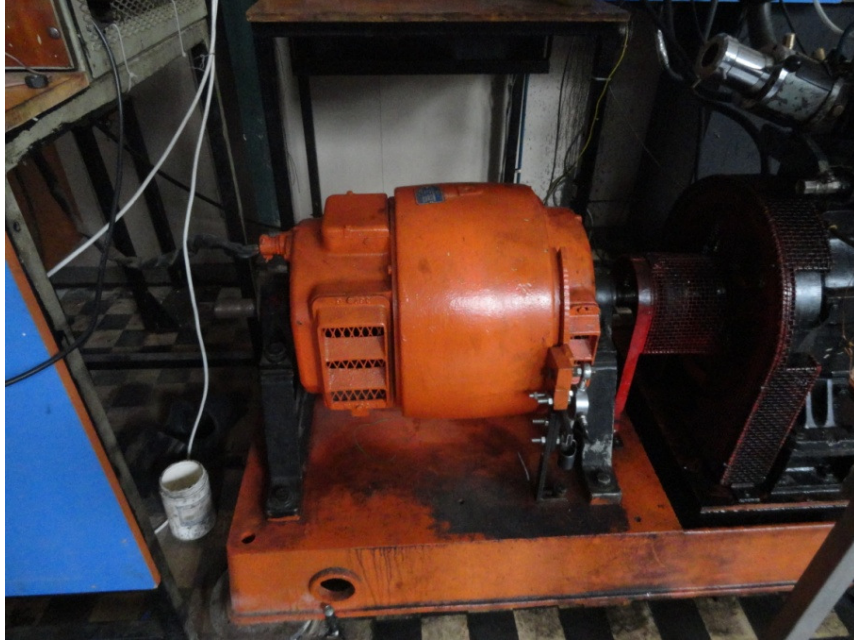
Şekil 5.10 Karıştırma ünitesinin parçaları

1-Enjektör, 2-Karıştırıcı, 3-Dizel Pompası, 4-Kam Profili, 5-Karıştırıcı Odası, 6-Elektrik Motoru, 7-Karıştırıcı için Elektrik Motoru, 8-Kam Pompası Yuvası, 9-İğne Vana, 10-Aşırı Akış Hattı, 11-Yakıt Tankı

5.3 Donanımlar

5.3.1 DC Motor

DC Motor bu sistemde dinamometre olarak görev yapmıştır. Bu sistemle motorun belli devir ve yük şartlarında yüklenmesi sağlanarak rotora karşı bir direnç oluşturulup motorun gucu ölçülmektedir. Deneyde dinamo govdesi ve ona bağlı olan stator sarkaç sehpa da olduğu gibi iki yatak üzerinde sallandırılır. Dinamonun üzerinde bir kol mevcut olup, ucunda yükü tespit etmemizi sağlayan 300 kg kapasiteli load cell bulunmaktadır. Statorun doğurduğu manyetik alanda dönen rotor statoru ve gövdeyi yatırır. Gövdenin dönmesine karşı koymak ve kolu yatay durumda tutmak için gerekli ağırlık load cell vasıtasıyla kontrol panelindeki yük göstergesinden okunur. Dirençler yüklenerek rotor ile stator arasında oluşan manyetik alanın değişmesiyle motordan alınan yük, dolayısıyla moment ve tork ile olan bağlantısı kurulur. DC motor, dizel motoruna kayış – kasnak sistemiyle bağlanmış olup, yük miktarı kontrol panelindeki kumanda kolu vasıtasıyla ayarlanmaktadır. Şekil 5.11 da DC motor görülmektedir.



Şekil 5.11 Frenleme kuvvet ölçüm sistemi

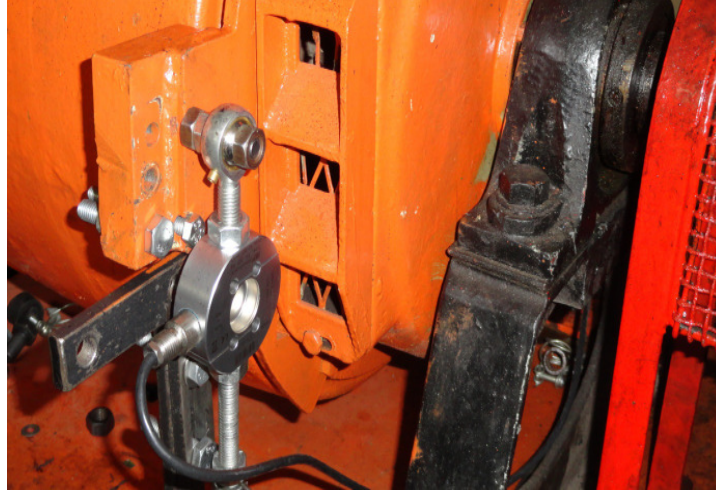
5.3.2 Load cell

DC motora gelen dinamik yüklerin değerinin belirlenmesi amacıyla kullanılan elemandır. Esas olarak çalışma prensibi, içinde bulunan “Strain Gauge” isimli elemanın üzerindeki yük sebebi ile şekil değiştirmesidir. Bu şekil değiştirme üzerinden sürekli sabit akım geçirilen Strain Gauge elemanının boyut değiştirmesinden dolayı direncinin de değişmesiyle oluşan voltaj farklarından yararlanılarak üzerine uygulanan yük ölçülebilir. Bu elemandan gelen sinyal milivolt mertebesindedir.

DC motor üzerine bağlanmış uzunluğu belli olan bir kuvvet kolunun uç kısmından Şekil 5.12’ de görülen REP Transducers marka TS 300 model 300 kg kapasiteli bir bası/çeki çalışabilen S tipi yük hücresi bağlanarak ölçülen kuvvet değerleri kullanılarak moment değeri elde edilmiştir. Yük hücresinin teknik özellikleri Çizelge 5.3 de verilmiştir.

Çizelge 5.3 Yük hücresinin teknik özellikleri

Doğruluk Sınıfı	D
Kapasite	0,3 T - 0,5 T - 1 T - 2 T - 5 T
En Düşük Yük	0 %R.O
Çıkış Sinyali	2,0 mV/V
En Yüksek Bölüntü Sayısı	1000
En Küçük Ölçüm Sayısı	Emax/5000
Y Değeri	5000
Toplam hata	0,030 %R.O
Sıfır değerine dönüş hatası	<0,0500 %R.O
Sıfır değeri	1 %R.O
Sıfır değerine sıcaklığın etkisi	< 0,014 %R.O/5°C
Yükte çıkış değerine sıcaklığın etkisi	< 0,010 %R.O/5°C
Düzeltilmiş sıcaklık aralığı	-10 /+40 °C
Çalışma sıcaklık aralığı	-30 /+70 °C
En yüksek güvenli yük miktarı	150 %R.O
Kırılma yükü miktarı	300 %R.O
Besleme gerilimi	5 V
Giriş direnci	395±20 Ω
Çıkış direnci	350±3 Ω
İzolasyon direnci	>1000 MΩ
Yük hücresi malzemesi	nikel kaplanmış özel alaşım çelik
Koruma sınıfı	IP65
Kablo tipi	4x0,22 mm



Şekil 5.12 Yük hücresi

Sistemde kullanılan loadcell'in genel özellikleri;

ST-5C load cell (yük hücresi) S tipi, özel alaşım çelikten imal edilerek korozyona ve endüstriyel şartlara dayanımını artırmak amacı ile nikel kaplanmış kesme (shear beam) prensibi ile basma, çekme yada hem basma hem de çekme yönünde çalışan bir load cell dir. IP 68 kablo rakoru ve paslanmaz çelik kapakları ile IP 67 koruma sınıfındadır. Exproof versiyon opsiyonu mevcuttur. St Serisi Yük Hücresi Standart 3 m kablo uzunluğu ile 300, 500, 1000, 2000, 5000 kg kapasitelerde imal edilmektedir. Dozajlama sistemi silo ve tank tartımı, paketleme makinesi (gravimetrik dolum makinesi), bant tartımı, malzeme test makinesi ve kuvvet ölçme gibi uygulamalarda kullanılır. ST Serisi Load Cell in Ex-proof versiyonu da mevcuttur.

5.3.3 Gösterge

Loadcell'den gelen verileri kendi ekranında gösterirken aynı zamanda üzerinde bulunan RS232 portunda veya analog çıkışı kullanılarak bu verileri bilgisayara da gönderir. Şekil 5.13 de ağırlık indikatörünün şekli görülmektedir.



Şekil 5.13 Gösterge

Özellikler;

- Pano tipi plastik kutu
- 6 dijital kırmızı LED ağırlık göstergesi
- Toz ve su geçirmez plastik membran kaplı taktik tuş takımı
- Dara, sıfırlama, fonksiyon ve ayarlama tuşları
- Tüm ölçme aralığında sıfırlama
- Yük hücresi çıkışına uygun kazanç ayarı
- Yük hücresinin besleme ve çıkış gerilimini gösterme
- Elektrik kesilmelerinden etkilenmeyen kalıcı bellek
- Kopma testi programı
- 6 Mal dozajlama programı
- Torbalama programı
- Haberleşme parametreleri ayarlanabilir RS232 seri çıkış

5.3.4 Devir sensörü

Şekil 5.12 de görülen kam miline bağlı olan kasnak üzerindeki civatalara karşılık gelecek şekilde bulunan indüktif sensör, önünden geçen her ferromanyetik eleman ile karşılaştığında düşük miktarda akım indüklemektedir. Oluşan 0,07 ile 10000 Hz aralığındaki giriş sinyalleri sayılmaktadır ve elde edilen bu sinyal, amaca özel üretilmiş olan indikatöre bağlanarak, devir görsel olarak kolaylıkla okunabilir hale getirilmiştir.



Şekil 5.14 Devir sensörü

5.3.5 Artımsal kodlayıcı özellikleri

Şekil 5.13 de görülen G1355 model IVO marka enkoderin miline akuple olan optik sensörden her ışık gelişinde, sinyal çıkışı 5V genliğinde kare dalgalar oluşturur. Bu kare dalgaların sayılmasıyla devir sayısı ve üst ölü nokta sinyali ile piston konumu belirlenmiştir.



Şekil 5.15 G1355 model IVO marka encoder

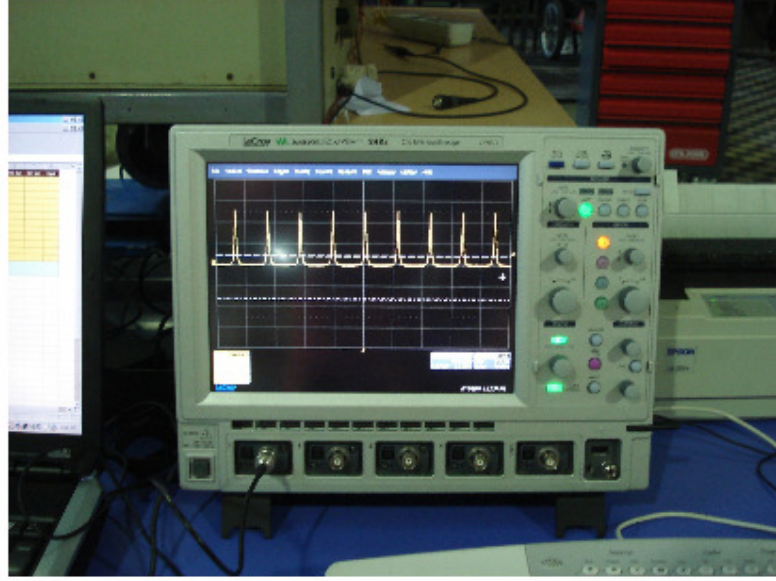
5.3.6 Basınç Sensörü

İçten yanmalı motorlarda amaç, kimyasal enerjiyi mekanik işe çevirmektir. Mekanik iş, gaz basıncının piston üzerindeki etkisiyle gerçekleştirilir. Bu yüzden silindir gaz basıncı doğrudan motorun performansı ve çıkış gücünü etkilemektedir.

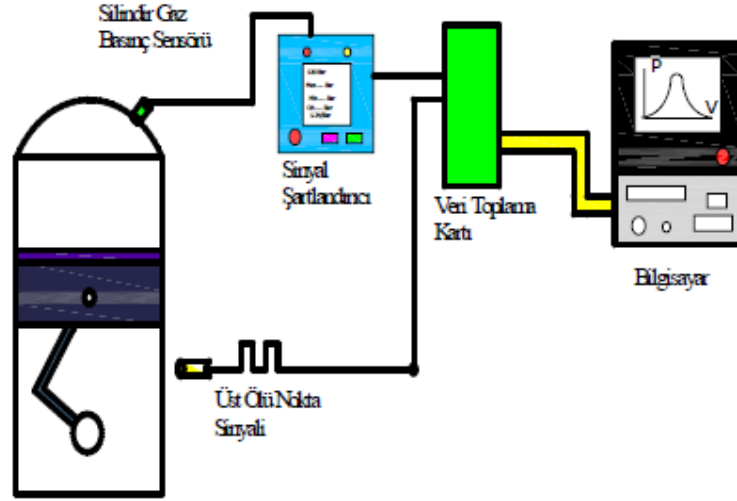
Silindir içi basınç değişikliklerinin gözlemlenebilmesi amacıyla Şekil 5.16'deki AVL marka piezoelektrik basınç sensörü kullanılmıştır. Gelen basınç değişikliklerine hızlı tepki verebilmesinden dolayı, ani basınç değişikliklerini izlemede piezoelektrik basınç sensörleri etkili şekilde kullanılabilir. Kullanılan piezoelektrik basınç sensörü, içinde bulundurduğu piezokristal üzerine etkiyen basınçla doğru orantılı elektriksel potansiyel üretir. Silindir basıncı arttığı zaman kuvars kristal, yanma odasındaki metal diyafram tarafından sıkıştırılmaktadır. Bu sıkıştırmadan dolayı silindirin iç ve dış yüzeyleri arasında gerilim oluşur. Oluşan bu gerilim, kristalin üzerindeki kuvvetle orantılı olarak piko kulomp (pC) olarak ölçülür. Bu özellik, piezo-elektrik olarak adlandırılır. Basınç sensöründen gelen çok düşük seviyedeki gerilim, Kistler marka 5011 tipi amplifikatör ile yükseltilmiştir. Şekil 5.17 de gösterilen LeCroy marka Wavesurfer 424 model Osiloskop üzerinden, anlık basınç eğrileri, artımsal kodlayıcı gelen üst ölü nokta sinyali görüntülenmiş ve kaydedilmiştir. Şekil 5.18 modern laboratuarlarda kullanılan tipik bir silindir basınç ölçüm düzeneğini göstermektedir.



Şekil 5.16 Basınç sensörü



Şekil 5.17 Lecroy marka Osiloskop



Şekil 5.18 Silindir basınç ölçüm düzeneği

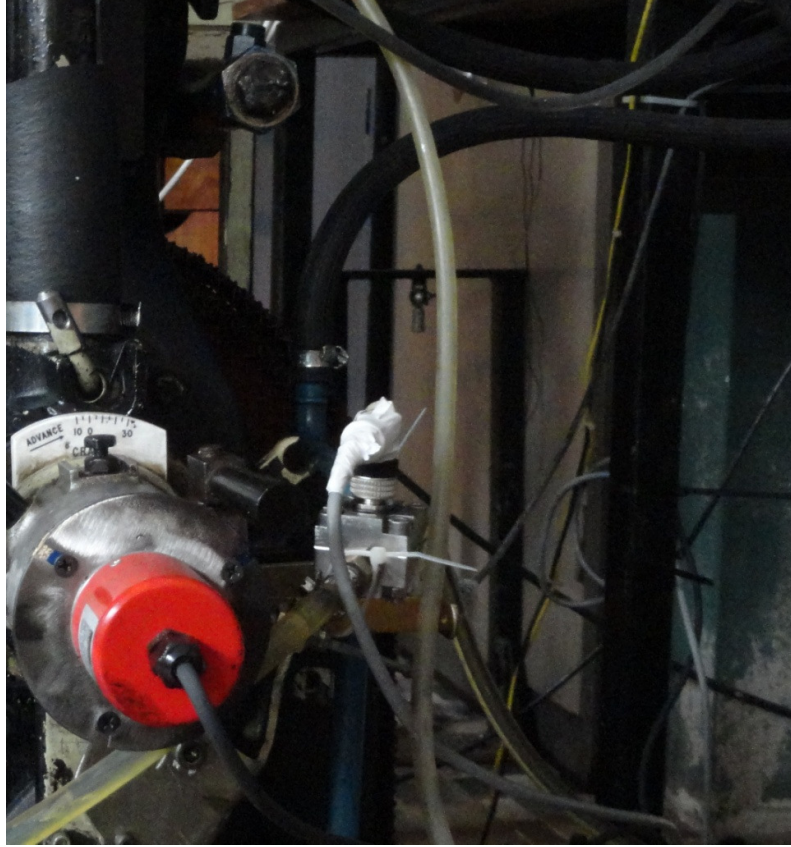
5.3.7 Yakıt debisi ölçümü

Yakıt deposunun iki plaka arasına yerleştirilmiş Şekil 5.10'de görülen REP Transducers marka TS 300 model 300 kg kapasiteli bir bası/çeki çalışabilen S tipi yük hücresi üzerine yerleştirilmesiyle yakıt sarfiyatı gravimetrik olarak hassas bir şekilde okunmuştur. 10 gr yakıtın tüketilme süresinin hesaplanmasıyla, motorun o anki çalışma şartındaki yakıt

sarfiyatı değerlerine ulaşılmıştır. Ayrıca yakıt sarfiyatı özellikle yüksek viskoziteli akışkanların ölçümünde kullanılan Titan marka oval dişli bir debimetreyle de ölçölüp gravimetrik ölçüm yapılan değerlerle karşılaştırılmıştır. Oval dip dişli debimetreler pozitif yer değiştirmeli debimetreler sınıfında olup, belirli hacimde bir akışkanı tekrarlı olarak bir odacığa (flowchamber) hapsedme ve serbest bırakma prensibi ile direkt olarak volümetrik ölçüm yaparlar. Toplam akış, belirli bir zamanda odacığa hapsedilen örnek hacim sayısının sayılması ile hesaplanır. Bu tip cihazlarda genellikle akış, cihazın üzerindeki bir sayaç yardımı ile toplanır. Bunun yanında lokal bir indikatörde veya bir kontrol sisteminde kullanılmak üzere pulse çıkış veren tipleri de bulunmaktadır. Her puls münferit hacimde bir akışı temsil eder, bu nedenle bu cihazlar otomatik batch kontrol ve hesaplama için çok uygundur. Deneyde kullanılan debimetrede bulunan hall effect detektör sayesinde dönme hareketi algılanmaktadır ve debimetre dişlilerin arasından geçen her bir litre için yaklaşık 2050 Puls çıkışı vermektedir. Labaratuarda kullanılan National Instruments marka USB-6215 model veri toplama kartı ve Lab-View programı ile bu pulsların sayısı belirli süre için sayılıp, debimetrenin litre başına verdiği 2050 değerine bölünmesiyle yakıt sarfiyatı hesaplanmıştır. Deneyde, karışırıcıdan çıkan yakıtın girdiği deponun çıkışına bağlı debimetrenin resmi Şekil 5.19 de verilmiş olup deneydeki bağlantısı Şekil 5.20 de gösterilmiştir.



Şekil 5.19 Titan marka oval dişli debimetre



Şekil 5.20 Debimetrenin deneydeki kullanımı

5.3.8 Sıcaklık ölçümü

Soğutma suyu giriş ve soğutma suyu çıkış sıcaklıklarının ölçülebilmesi amacıyla Şekil 5.21 de görülen $-200\div 300$ °C aralığında ölçüm yapabilen T tipi termokupllar seçilerek kullanılmıştır. Soğutma suyu çıkış sıcaklığı, silindir kafasından soğutma suyu çıkış noktasının 60 cm sonrasında, soğutma suyu giriş sıcaklığı ise, motor su pompası girişinden 70 cm öncesinden ölçülmüştür. Egzos gazlarının sıcaklığının ölçülebilmesi amacıyla Şekil 5.18’te görülen $-200\div 1200$ °C aralığında ölçüm yapabilen K tipi termokupl egzoz supaplarının olabildiğince yakınında konumlandırılacak şekilde egzoz manifoldu üzerine yerleştirilmiştir. Emme havası sıcaklığının ölçülebilmesi amacıyla $-200\div 300$ °C aralığında ölçüm yapabilen T tipi termokupl seçilerek kullanılmıştır.



Şekil 5.21 Soğutma suyu giriş ve çıkışlarında konumlandırılmış termokupullar

5.3.9 Emisyon ölçümü

Bu çalışmada gaz emisyonlarını ölçmek için AVL DICOM 4000 marka gaz analiz cihazı kullanılmıştır. Gaz analiz cihazı, CO, HC, CO₂ gazlarını kızıl ötesi yöntemle, NO_x gazlarını ise elektrokimyasal yöntemle ölçebilmektedir, ölçüm hassasiyetine ait teknik değerler Çizelge 5.4’de görüntüsü ise Şekil 5.22 de gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 AVL DICOM 4000 teknik özellikleri

AVL DICOM 4000	Ölçüm aralığı	Hassasiyet
CO	0-10 %hacim	0.01 % hacim
CO ₂	0-20 %hacim	0.1 %hacim
HC	0-20000 ppm hacim	1 ppm
NO _x	0-5000 ppm hacim	1 ppm
O ₂	0-20 %hacim	0,01 %hacim
Λ -Sensör Voltaj	0-5.0 V	0.04 V
Motor hızı	250-9960 rpm	10 rpm



Şekil 5.22 AVL DICOM 4000 emisyon cihazı

İçten yanmalı motorun ürettiği is ise, Şekil 5.23’de gösterilen AVL marka 415 S model filtre tipi is ölçüm cihazıyla ölçülmüştür. Esas olarak Şekil 5.24’de gösterilen bağlantı noktasından bağlandığı egzoz hattından Şekil 5.25’ de gösterilen prop ile belirli miktarlarda aldığı egzoz gazını, kağıttan bir filtreden geçirmektedir ve bir optik sensör bu filtrenin üzerindeki lekeyi ölçerek sonuçları FSN (Filter smoke number) ya da mg/m³ cinsinden vermektedir.



Şekil 5.23 415 S Filtre tipi is ölçüm cihazı



Şekil 5.24 İS ölçüm cihazı egzoz

Teknik özellikler;

- FSN ve mg/m³ olarak çıkış verir
- Ölçüm aralığı 0-10 FSN
- Hassasiyet 0.001 FSN
- Maksimum egzoz sıcaklığı 600 °C(340mm prob ile), 800 °C(780 mm prob ile)
- 2 adet RS232 ve 1 adet Ethernet bağlantı arayüzü (AK protokol destekli)



Şekil 5.25 İS ölçüm cihazı probu

5.4 Motor ve yakıt performansı ölçümleri

5.4.1 Moment ve güç

Moment ve güç değerleri, deney sisteminde yer alan dinamometreye etki eden kuvvetin (N) ölçülmesi ile, bu kuvvetten hareket edilerek hesaplanmıştır. Dinamometre kuvvet sensörü, motor miline 0,275 m uzunluğunda kuvvet kolu uzaklığındadır.

Dolayısıyla moment (Md);

$$Md = F \cdot L \text{ (Nm)}$$

$$F : \text{Kuvvet} = mg = \text{Yük} \cdot 9,81$$

L : Kuvvet kolu

$$\text{Guc (P)} = [Md \cdot n] / 9555,2 \text{ (kW)}$$

n : Motor devri

9555,2 : katsayı

5.4.2 Özgül yakıt tüketimi

Yakıt tüketimi, deney düzeneğinde bulunan 50 ve 100 ml lik ölçme büretleri ile hacimsel debi (Q) olarak ölçülmüştür. Aşağıda gösterildiği üzere, ölçülen hacimsel debi

değerleri, yakıtların yoğunlukları (ρ) ile çarpılarak kütleli debiye (m) dönüştürülüp, 10 s için tüketilen yakıt miktarı hesaplanmıştır. Daha sonra bu değerler güç değerlerine oranlanarak özgül yakıt tüketimi (ÖYT) değerleri elde edilmiştir.

$$\text{Özgül Yakıt Tüketimi (be)} = [V \cdot \rho \cdot 3600] / [P] \text{ (g/kWh)}$$

$$\text{ÖYT} = 3600 \cdot m \text{ (g/s)} / P \text{ (kW)}$$

V : Hacim

ρ : Özgül Ağırlık

5.4.3 Termik verim

$$P/H_u \cdot m = 1/ \text{be} \cdot H_u$$

H_u = Yakıtın alt ısı değeri (kcal/kg)

5.4.4 Alt ısı değeri hesabı

Yakıtın alt ısı değeri Mendeleev formülü ile aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

Biyodizelin kütleli elementar analiz değerleri;

C:0.75, H:0.13, O:0.11 ve S:0.01 kg dır.

Mendeleev formülü;

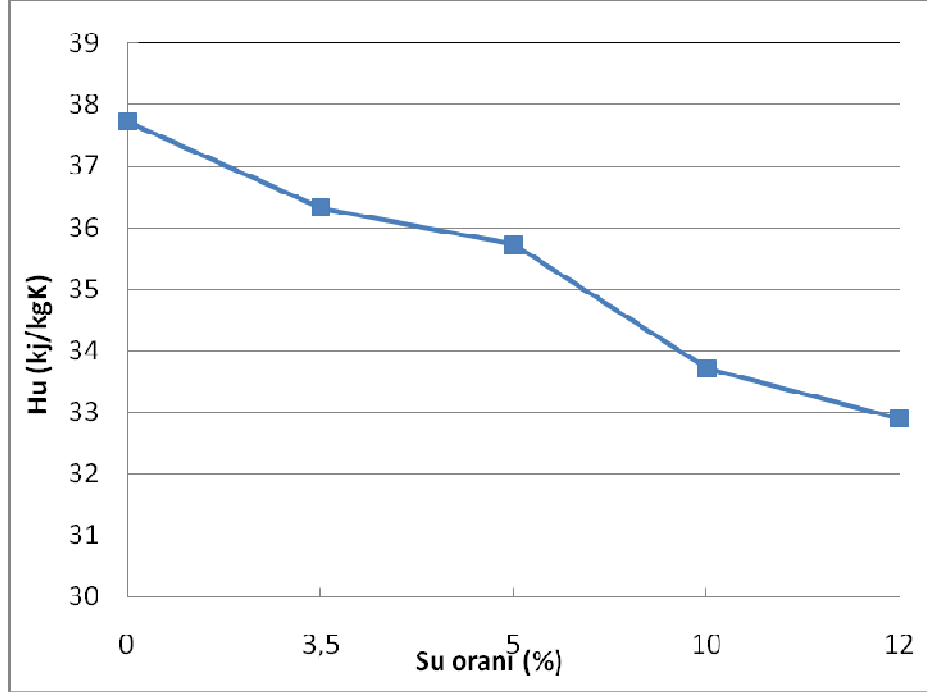
$$H_u = 33,91xC + 125,6xH - 10,89x(O-S) - 2,51x(9xH) \text{ (kj/kg)}$$

B100 yakıtı için alt ısı değeri aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$H_u = 33,91x0,75 + 125,6x1 - 10,89x(0,11 - 0,01)x(9x0,13)$$

$H_u = 37,73$ hesaplanır.

B96.5, B95, B90 ve B88 emülsiyonları için de alt ısı değerleri hesaplanır ve su oranı yüzdesine göre ısı değeri veren grafik, Şekil 5.26 de gösterilmiştir.



Şekil 5.26 Su oranına bağlı alt ısı değer değişimi

5.4.5 Strok hacmi hesabı

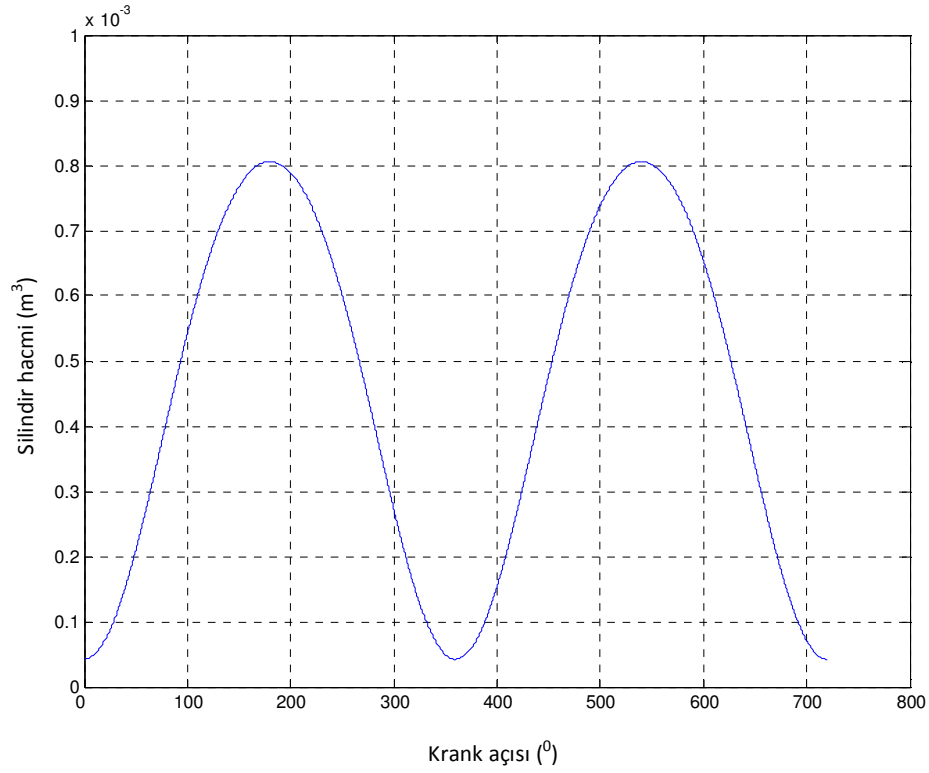
Silindir içindeli ısı dağılım analizihesaplanmadan önce,krank açısına göre bir çevrimde silindir değişen silindir hacminin hesaplanması gerekmektedir.Çizelge 5.5 de verilen motor katalog değerleri kullanılarak,ve denklem 5.1 kullanılarak Şekil 5.27 de görüldüğü gibi silindir hacmi grafiği elde edilmiştir.

$$V_{\theta} = [(V_s / (r_c - 1)) + [(V_s / 2) \times (1 + R - \cos \theta - (R^2 - \sin^2 \theta)^{1/2})]] \quad (5.1)$$

Çizelge 5.5 Motor katalog değerleri

Strok boyu, S (mm)	120
Silindir çapı, B (mm)	90
Biyel kolu uzunluğu, r (mm)	220
Silindir sayısı, nc	1
Strok hacmi, Vs (cc)	758
Sıkıştırma oranı, rc	20
Yanma odası hacmi, Vc (cc)	42,4
Krank yarıçapı, a (mm)	60
Katsayı, R (r/a)	3,67

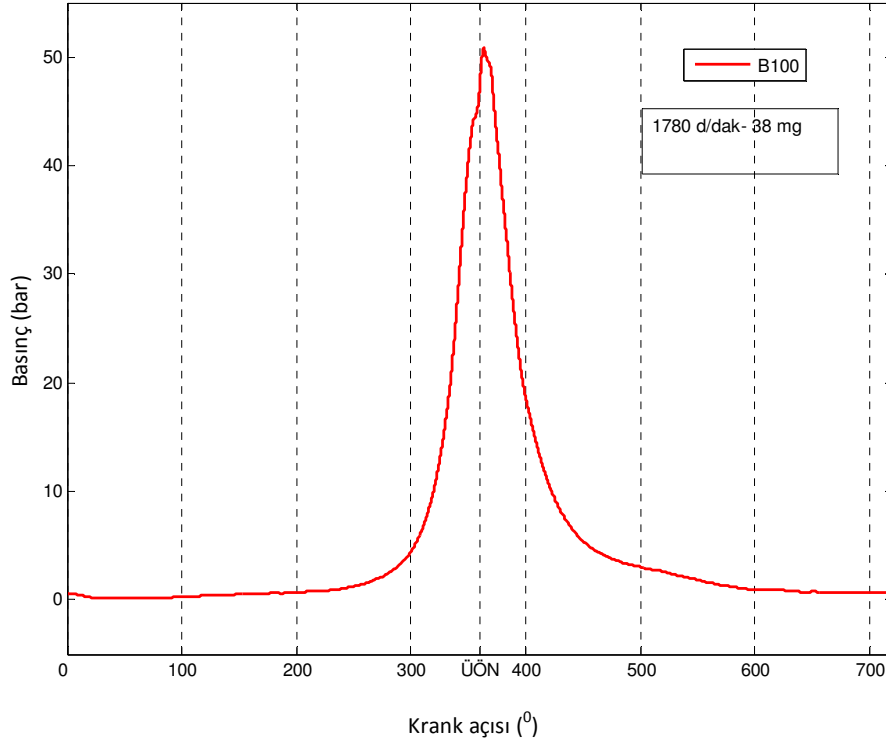
V_{θ} , herhangi bir krank açısındaki silindir hacmini vermektedir.



Şekil 5.27 Motor hacminin krank açısına bağlı değişimi

5.4.6 Silindir gaz basıncı ölçümü

Veri toplama sisteminden elde edilen ham verilerin işlenebilmesi için Matlab 7.0'da analiz programı yazılmıştır. Birinci program ile ham verilerin istenilen aralıkta basınç ve üst ölü nokta grafikleri çizilmiş ve yine bu aralıkta üst ölü nokta sinyalinin tepe değerleri buldurularak her bir çevrim arasındaki veri sayıları hesaplanmıştır. Bu program ile hem saf biyodizel, hemde %10 su içeren biyodizel-su emülsiyonuna ait toplam 26 adet çevrimin ortalaması alınıp, krank açısına bağlı basınç grafikleri elde edilmiştir. Şekil 5.28 de saf biyodizel-su emülsiyonu için alınan silindir içi basınç grafiği örneği gösterilmiştir.



Şekil 5.28 Saf biyodizelin,krank açısına göre silindir basınç grafiği

5.4.7 Isı dağılımının analizi

Bir çevrim sırasında, sıkıştırma ve genişleme zamanında her bir KA'ya karşı gelen silindir basıncı, yanma işleminin niceliğine ait bilgiler vermektedir. Bu bilgiler, yakıtın kimyasal enerjisinin ısı enerjisine dönüşmesi sonucu açığa çıkan enerjidir. Bu enerji dönüşümüne termodinamiğin birinci kanunu uygulanarak ısı dağılımı grafiği oluşturulmaktadır. Deneysel ölçüm sırasında silindir basınç algılayıcısından gelen veriler, silindir hacminin anlık değişimi, yanma, silindir duvarına ısı transferi, çatlak (segman kanalları gibi) ve sızıntı bölgelerine enerji akışı gibi faktörler etkilenecek sürekli bir değişim göstermektedir. Bunlar arasında, silindir hacminin değişimi ve yanma, grafik üzerine etki eden en önemli faktörlerdir. Bu yüzden ısı dağılımı, silindir gaz basıncı ve hacim verileri kullanılarak elde edilir. Isı dağılımının karakteristiği, motor performansının, çalışma şartlarının motor performansı üzerindeki etkilerinin ve aynı şartlarda farklı motorların performanslarının belirlenmesinde referanstır.

Termodinamiğin I. Kanununa göre;

$$\frac{dU}{dt} = Q - W \quad (5.2)$$

Bu eşitlikte U sistemdeki iç enerjiyi ifade eder.Q, net ısı dağılım oranıdır ve yanma enerjisi dağılım oranı ile silindir duvarlar ısıtransferi arasındaki farktır.

$$Q = m \times c_v \times \frac{dT}{dt} \text{ denklemiyle elde edilir.} \quad (5.3)$$

W, ise pistonun yer değiştirmesine karşılık yapılan işi ifade eder.

$$W = P \times \frac{dV}{dt} \text{ eşitliği ile elde edilir.} \quad (5.4)$$

Denklem 5.3 ve 5.4 denklem 5.2'de yerine yazılırsa,

$$m \times c_v \times \frac{dT}{dt} = Q - P \times \frac{dV}{dt} \text{ denklemini elde edilir.} \quad (5.5)$$

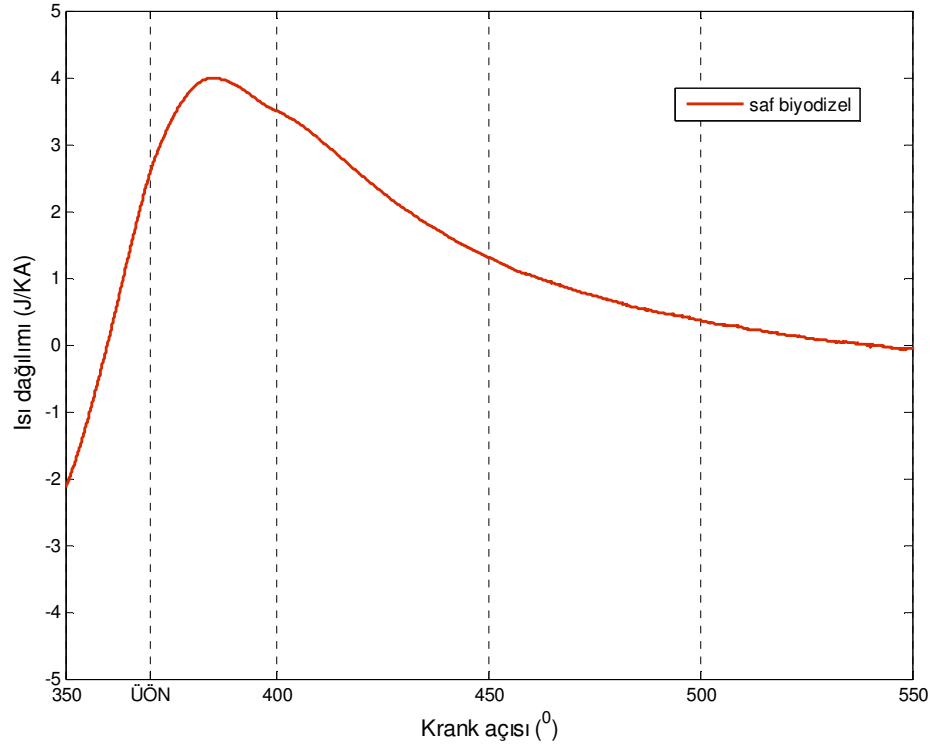
İdeal gaz denklemini $PV = mRT$ kullanılarak sıcaklık (T) eşitliği elde edilir ve zamana göre türevi alınırsa;

$$\frac{dT}{dt} - \frac{1}{mR} \left[P \frac{dV}{dt} + V \frac{dP}{dt} \right] \text{ olur.} \quad (5.6)$$

Denklem 5.6 denklem 5.3' de yerine konularak özgül ısıların oranı ve $k=c_p/c_v$ ve t yerine krank açısı (θ) denkleme uygulandığında Q ısı dağılımı;

$$Q = \left[\frac{k}{k-1} \right] P \frac{dV}{d\theta} + \left[\frac{1}{k-1} \right] V \frac{dP}{d\theta} \text{ olarak elde edilir.} \quad (5.7)$$

Şekil 5.29 de saf biyodizele ait ısı dağılım oranı verilmiştir.



Şekil 5.29 Saf biyodizele ait ısı dağılım grafiği

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çizelge 6.1 Saf biyodizelin ölçülen bazı motor performans ve emisyon değerleri

Motor devri dev/dak	Yük (kg)	Güç(kW)	Tork(Nm)	t(sn)Yakıt tüketim süresi
785	11,3	2,5	30,5	43
920	10,6	2,8	28,6	38
1155	10,2	3,3	27,5	32,8
1365	9,7	3,7	26,2	29,4
1700	9,5	4,6	25,6	22
2000	8,9	5,0	24,0	18,48

be (kg/kWh)	η_{th} (%)	λ	CO ₂ (g/kWh)	O ₂ (g/kWh)	HC (g/kWh)	NO _x (g/kWh)	Smoke (g/kWh)	Egzoz sıcaklığı	Deney Sıcaklığı ©
0,3341	28,6	1,8	784,9	778,2	0,0161	5,54	8,57	301,6	24
0,3439	27,7	2,0	645,5	1.001,4	0,0271	4,72	4,33	295,5	24
0,3298	28,9	2,8	633,8	1.119,2	0,0214	3,64	1,47	297,8	24
0,3274	29,1	2,8	634,2	1.214,8	0,0192	3,31	0,56	312,2	24
0,3587	26,6	2,3	782,8	1.004,5	0,0254	2,59	0,38	385,4	24
0,3874	24,6	2,2	917,0	987,1	0,0263	2,80	0,19	422	24

Çizelge 6.2 %3,5 su konsantrasyonlu emülsiyon yakıtının ölçülen motor performans ve emisyon değerleri

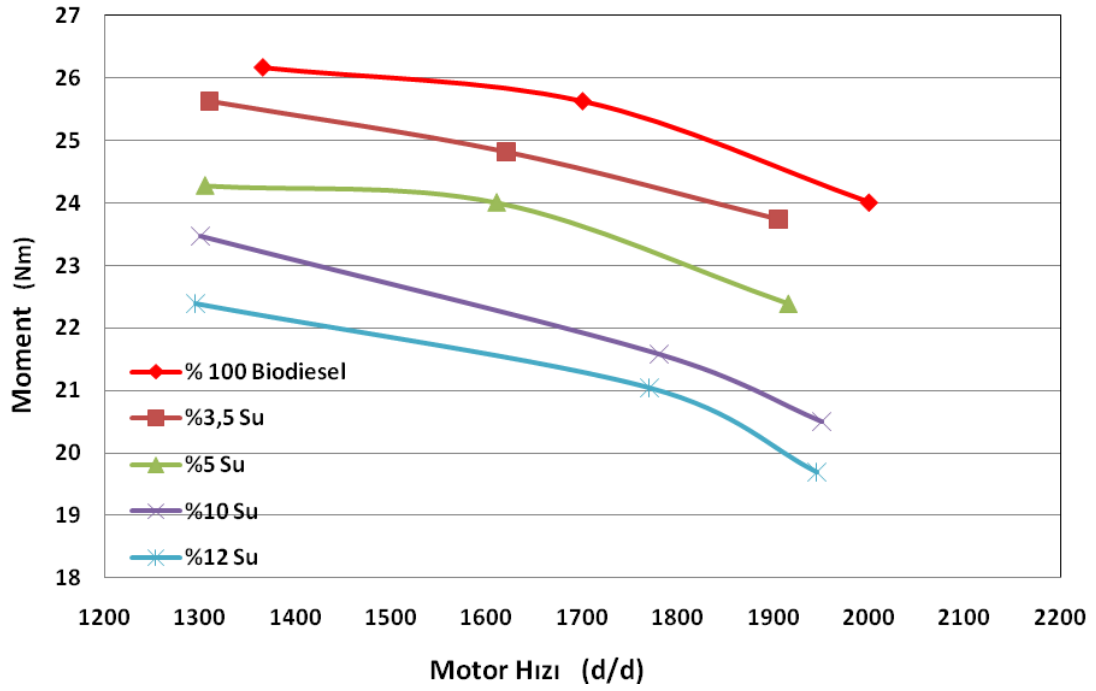
Motor devri dev/dak	Yük (kg)	Güç(kW)	Tork(Nm)	t/(sn)Yakıt tüketim süresi
755	11	2,3	29,7	41,4
925	10,1	2,6	27,2	36,4
1145	9,7	3,1	26,2	34
1310	9,5	3,5	25,6	27,6
1620	9,2	4,2	24,8	20,09
1905	8,6	4,6	23,2	16,49

be (kg/kWh)	η_{th} (%)	λ	CO2 (g/kWh)	O2 (g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	Smoke (g/kWh)	Egzoz sıcaklığı	Deney Sıcaklığı ©
0,3706	26,8	1,8	828,3	756,5	0,0637	5,14	8,08	289,1	24
0,3747	26,5	2,1	755,7	913,2	0,0906	4,51	2,36	286,2	24
0,3375	29,4	2,2	782,5	1103,4	0,0822	3,10	1,32	288,9	24
0,3710	26,8	2,2	858,2	1064,5	0,0796	3,87	0,64	300,2	24
0,4256	23,4	2,2	813,2	1008,6	0,0679	2,34	0,36	376,7	24
0,4717	21,1	2,3	880,9	1135,5	0,0757	2,51	0,19	412	24

Çizelge 6.3 %10 su konsantrasyonlu emülsiyon yakıtının ölçülen motor performans ve emisyon değerleri

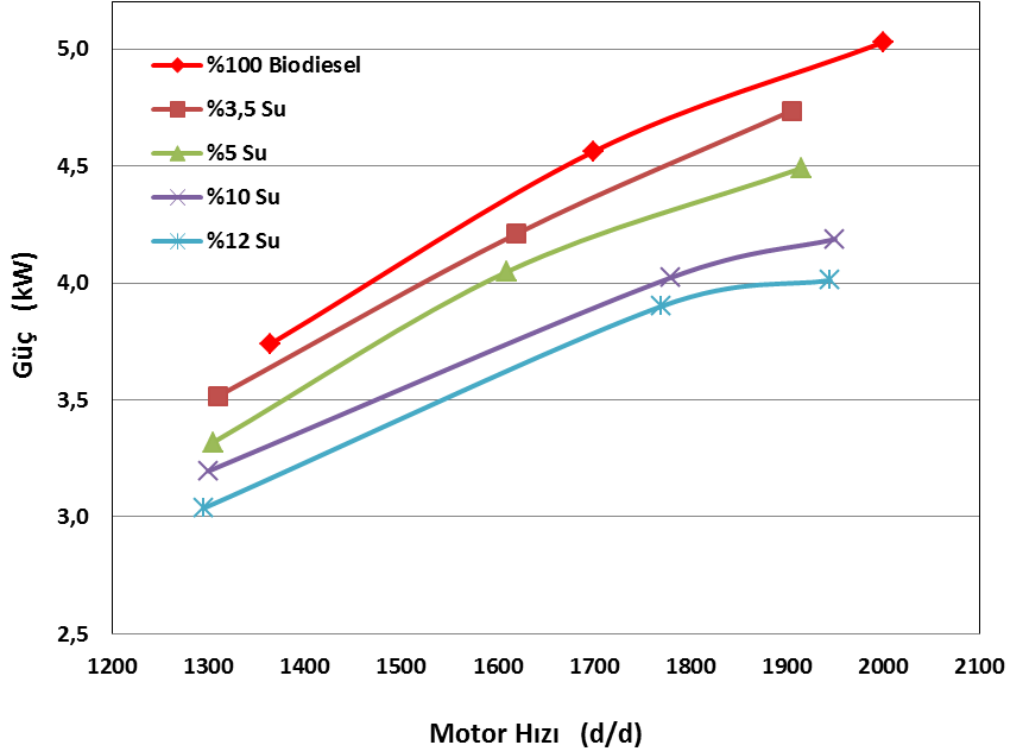
Motor devri dev/dak	Yük (kg)	Güç(kW)	Tork(Nm)	t/(sn)Yakıt tüketim süresi
755	10,9	2,3	29,4	43,4
900	10	2,5	27,0	38
1150	9,4	3,1	25,4	31
1300	9	3,3	24,3	25,4
1780	8,4	4,2	22,7	19,8
1950	8,2	4,5	22,1	18

be (kg/kWh)	η_{th} (%)	λ	CO2 (g/kWh)	O2 (g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	Smoke (g/kWh)	Egzoz sıcaklığı	Deney Sıcaklığı ©
0,3568	29,9	1,7	864,3	754,1	0,0160	4,58	9,01	285,2	24
0,3726	28,7	2,1	741,2	906,0	0,0169	3,20	3,87	282,5	24
0,3803	28,1	2,8	651,0	1205,7	0,0194	2,18	0,80	284,7	24
0,4288	24,9	2,7	735,8	1284,0	0,0211	2,59	0,30	295,3	24
0,4304	24,8	2,3	821,7	1147,5	0,0288	1,75	0,12	371,6	24
0,4427	24,1	1,9	1.099,6	1163,9	0,0307	1,82	0,12	409	24



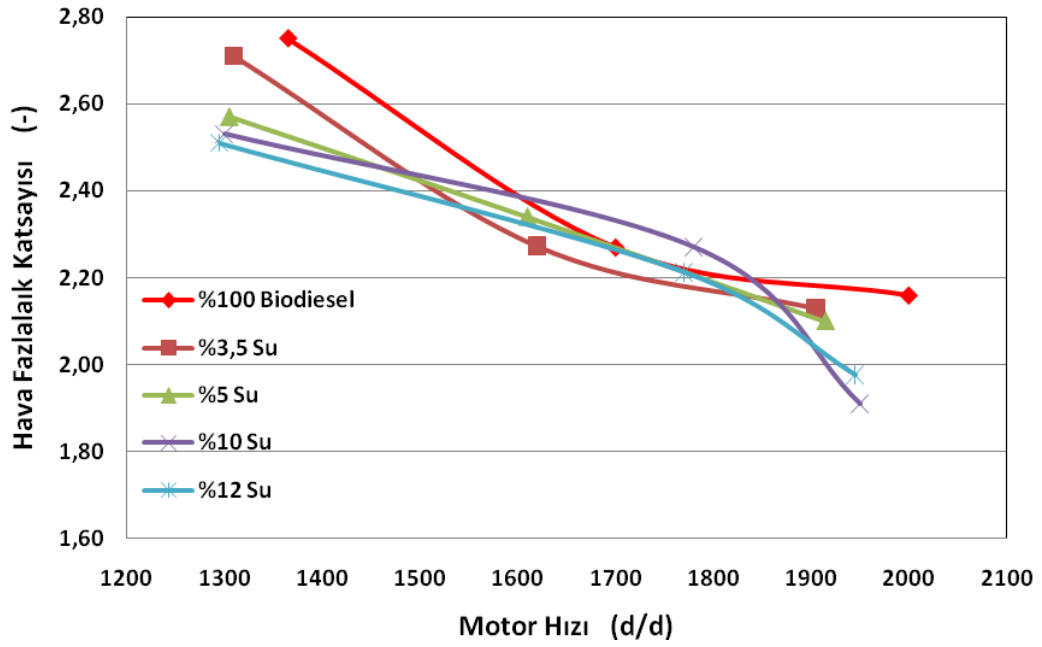
Şekil 6.1 Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların moment eğrilerinin karşılaştırılması

Karışıma su eklenmesinin değişik yüklemelerde motor momentine olan etkisi Şekil 6.1'de gösterilmiştir. Grafikte motor momenti, motor yükünün bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, motor momenti, motor devri arttıkça azalmaktadır ayrıca karışım içindeki su oranı arttıkça da motor momenti azalmaktadır. Bunun sebebi, karışım içerisindeki su miktarı arttıkça yakıt karışımının ısıl değerinin azalması ve toplam enerjinin düşmesidir.

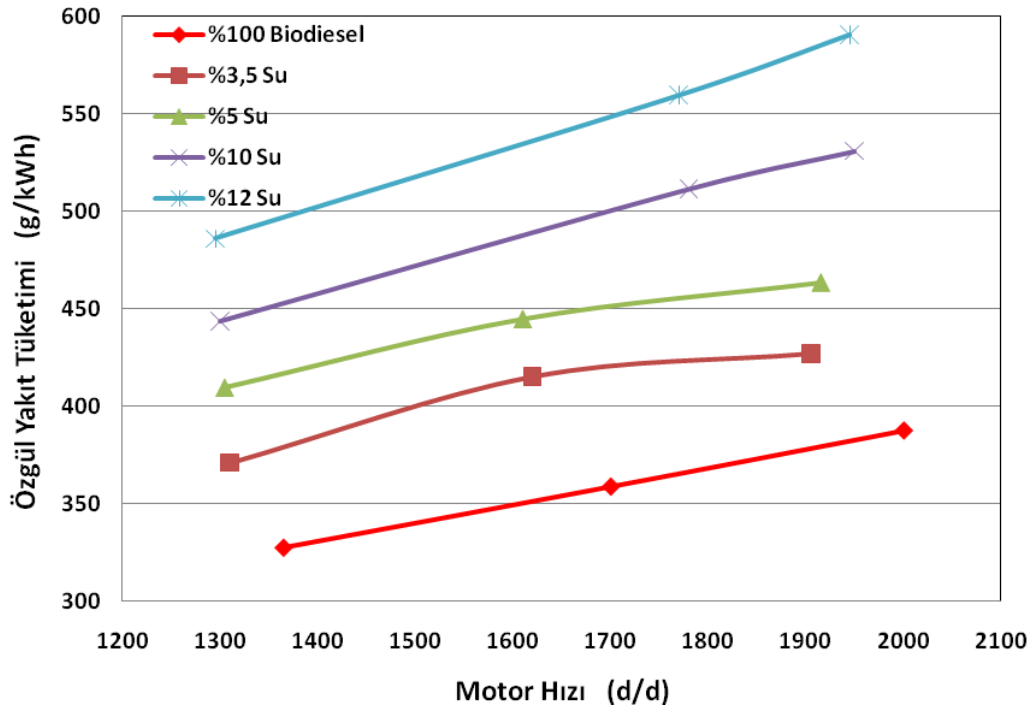


Şekil 6.2 Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların güç eğrilerinin karşılaştırılması

Su/biyodizel karışımlarının motor gücüne olan etkisi Şekil 6.2’de gösterilmiştir. Motor yükü arttıkça motor gücü de artmaktadır. Ayrıca şekilde görüldüğü üzere karışımda ki su oranı arttıkça, motor gücünde az miktarda azalma görülmektedir. Lue [87], biodizelin ısı değeri az olmasından dolayı, karışımlarda ki su oranının artmasıyla motor gücünün azaldığını söylemiştir.

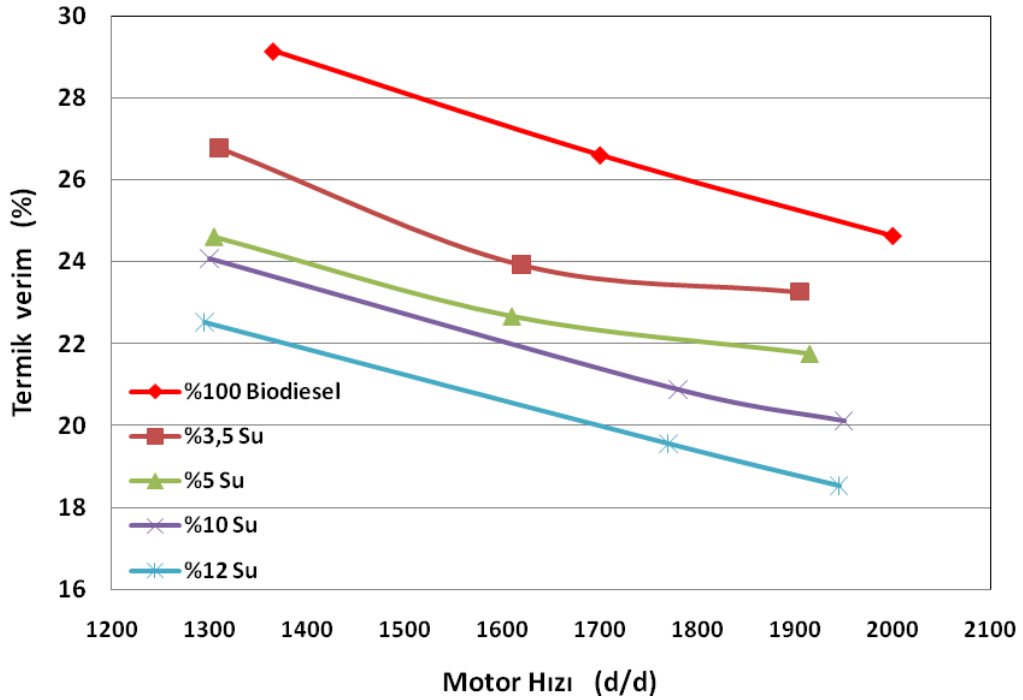


Şekil 6.3 Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların hava fazlalık katsayıları eğrilerinin karşılaştırılması

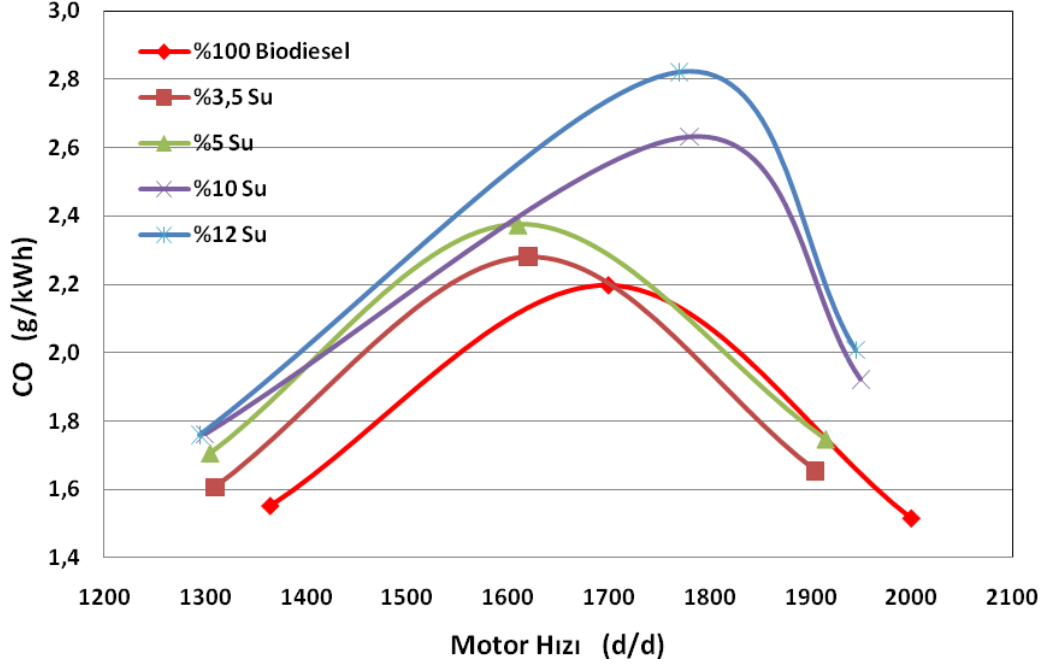


Şekil 6.4 Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların özgül yakıt sarfiyatlarının karşılaştırılması

Özgül yakıt sarfiyatı bütün yakıtlar için döndürme momentinin maksimum olduğu değerlerde düşük çıkmıştır. Devir arttıkça özgül yakıt tüketimi de artmıştır. B96,5 ve B90 ve B88 yakıtlarının özgül yakıt sarfiyatı genel olarak tüm devirlerde saf biyodizele göre daha yüksek değerdedir. Bunun sebebi emülsiyonlu yakıtların ısı veriminin saf biyodizelin ısı veriminden daha az olmasıdır. Cherng-Yuan Lin, Hsiu-An Lin emülsiyondaki su miktarı arttıkça özgül yakıt tüketiminin arttığını söylemiştir [5]. Ayrıca karışıma su eklenmesi sonucunda hacim olarak biyodizelin hacmi azalmakta ve su hacmi artmaktadır, sonuç olarak karışımların içinde daha az biyodizel olacaktır. Düşük çalışma yüklerinde, yanma odası duvarlarındaki ısı kaybı çok büyük olacaktır dolayısıyla da yanma verimi düşecektir, bunun sonucunda da daha fazla yakıt tüketiminin olmasına neden olacaktır [88].

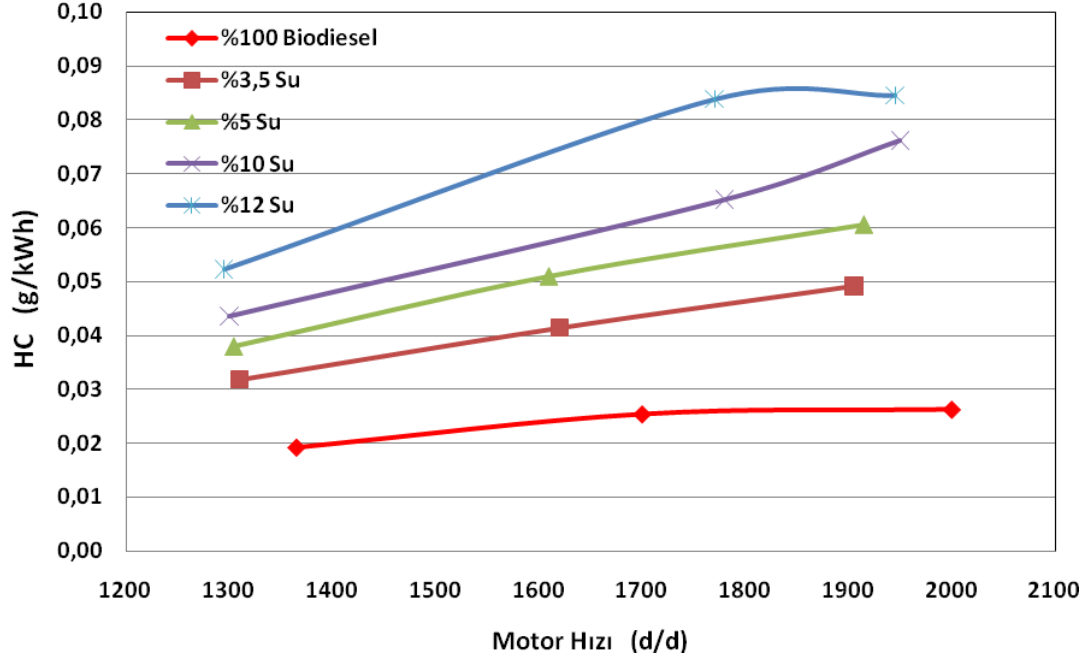


Şekil 6.5 Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların termal verimlerinin karşılaştırılması

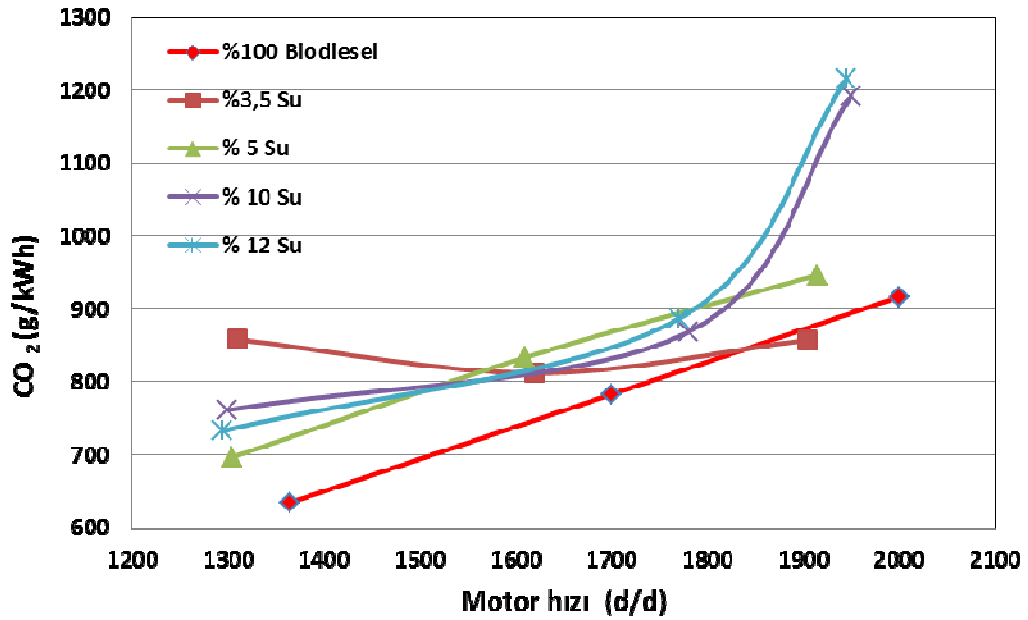


Şekil 6.6 Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların CO oluşum eğrilerinin g/kWh cinsinden karşılaştırılması

CO emisyonlarının değişik motor yüklerinde ve farklı karışımlarla yapılan deneylerinin ölçümleri Şekil 6.6 da gösterilmiştir. Karışımda ki su oranı arttıkça özellikle %10 ve % 12 su içeren emülsiyonlarda CO emisyonunda artış görülmektedir. Cherng-Yuan Lin, Hsiu-An Lin [5] emülsiyonlar içerisindeki suyun, yanma odasındaki sıcaklığın düşmesi sebebiyle daha az CO ın CO₂ ne dönüştüğünü ve bu yüzden CO emisyonunun arttığını belirtmiştir.



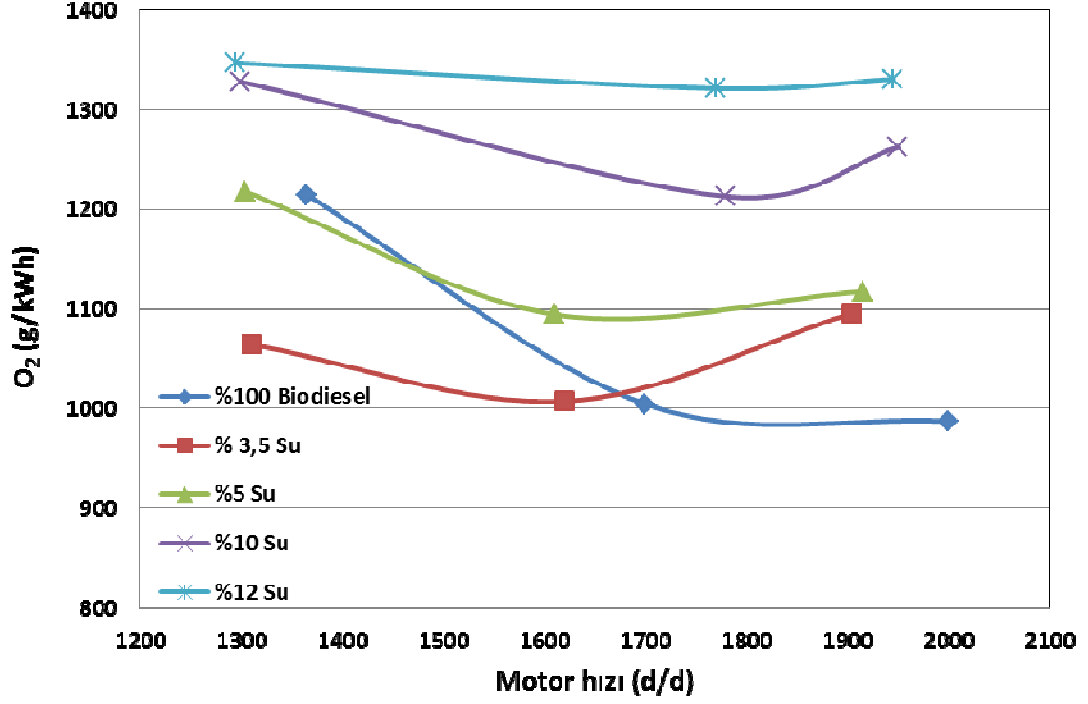
Şekil 6.7 Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların HC oluşum eğrilerinin g/kWh cinsinden karşılaştırılması



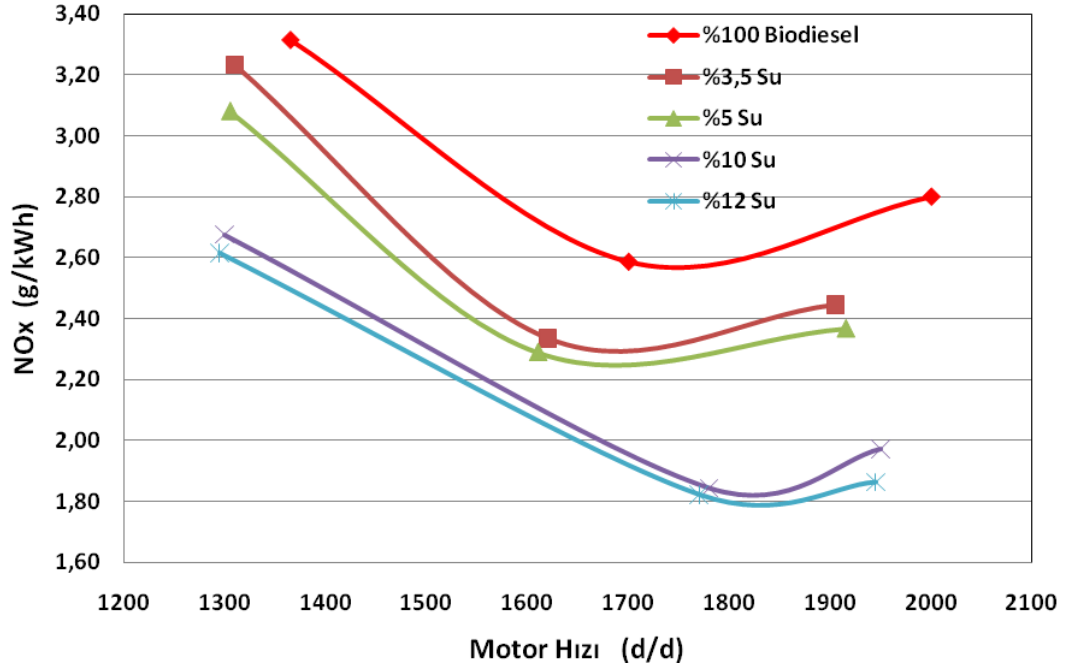
Şekil 6.8 Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların CO₂ oluşum eğrilerinin g/kWh cinsinden karşılaştırılması

Şekil 6.8 de değişik motor yüklerinde, beş farklı yakıt yakılmasıyla CO₂ emisyonlarındaki değişimi göstermektedir. Şekilde görüldüğü gibi karışımdaki su miktarı arttıkça, CO₂

emisyonunda az miktarda da olsa bir artış olmaktadır. İkincil atomizasyon sebebiyle hava yakıt karışımının iyi olması ve bundan dolayı özellikle yüksek devirlerde %12 su içeren yakıtta CO₂'nin artması beklenmiştir.

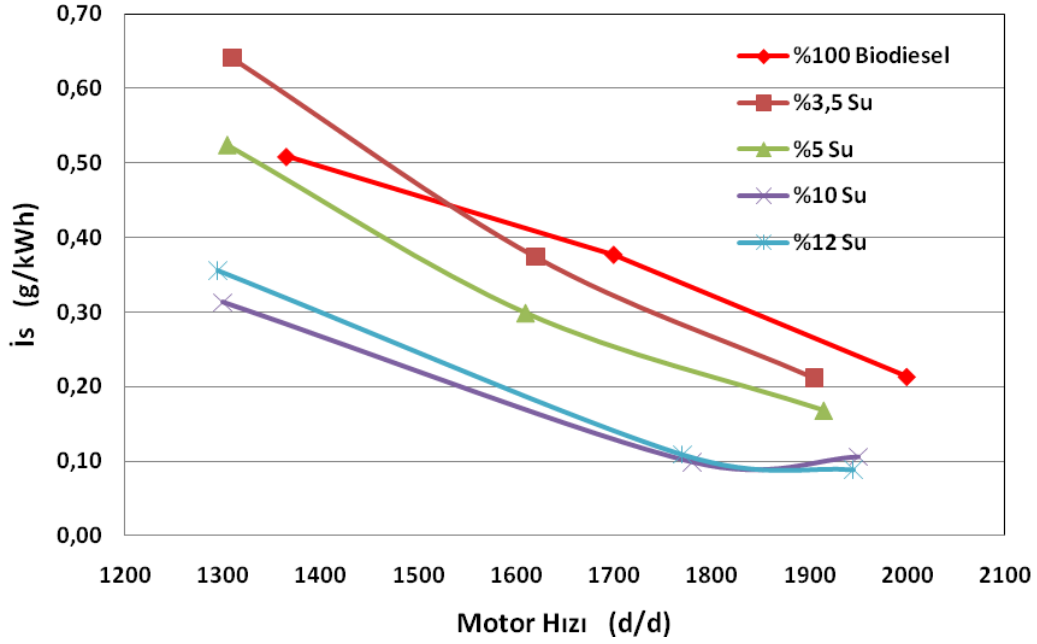


Şekil 6.9 Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların O₂ oluşum eğrilerinin g/kWh cinsinden karşılaştırılması



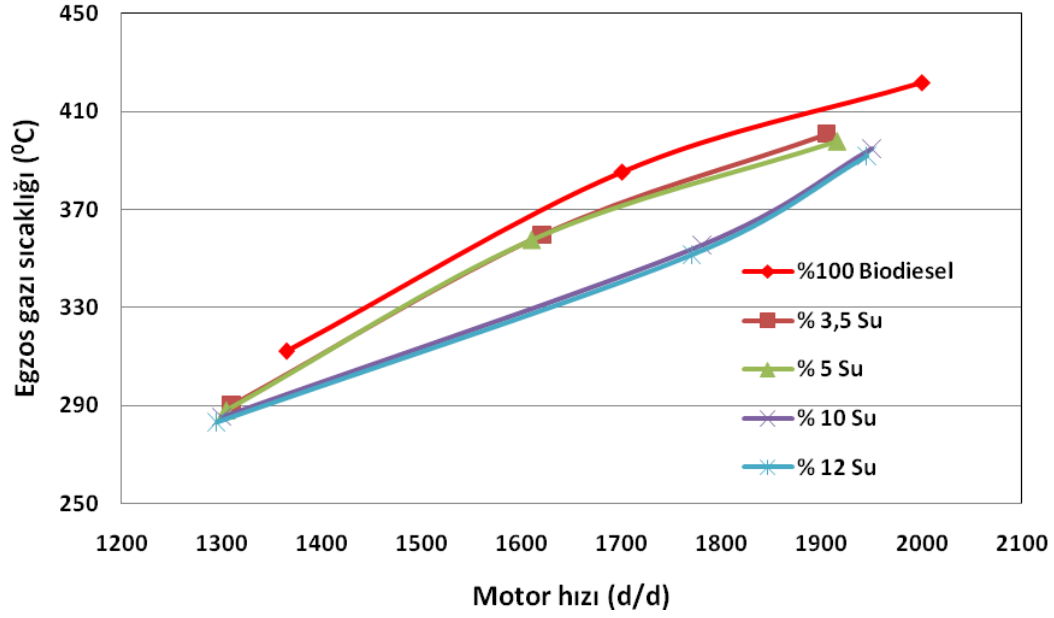
Şekil 6.10 Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların NO_x oluşum eğrilerinin g/kWh cinsinden karşılaştırılması

Şekil 6.10 değişik motor yüklerinde su/biyodizel karışımlarının kullanılmasıyla NO_x emisyonundaki değişimi göstermektedir. Şekilde görüldüğü üzere, karışımda su miktarı arttıkça, NO_x emisyonu azalmaktadır. Ayrıca Şekil 6.12’de gösterildiği gibi, karışımdaki su miktarı arttıkça, egzoz gaz sıcaklığı azalmaktadır. Mark [47], suyun buharlaşmasından dolayı olan ısı emiliminin adyabatik alev sıcaklığının azalmasına neden olacağını ve bu yüzdende NO oluşması için gerekli olan gaz fazındaki kimyasal reaksiyonlarının azalacağını söylemiştir. Hsu ise [89], normal motor yüklerinde suyun silindir içi ortalama sıcaklığını düşürdüğünü söylemiştir.



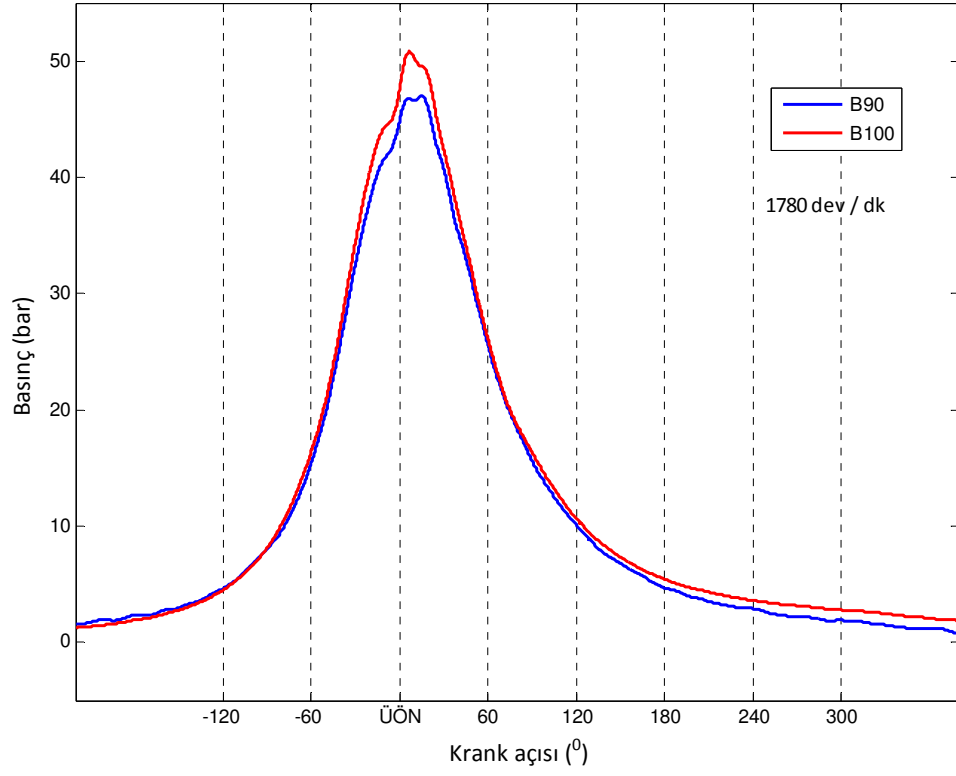
Şekil 6.11 Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların İs oluşum eğrilerinin g/kWh cinsinden karşılaştırılması

Su/biyodizel karışımlarının İs oluşumuna olan etkisi Şekil 6.11 de gösterilmiştir. Şekilde gösterildiği üzere, karışımdaki su oranı arttıkça, İs oluşumunda da bir azalış olmaktadır. Bunun sebebi karbon moleküllerinin emülsiyonlu yakıtlarda hava yakıt karışımının iyi olmasından dolayı O₂ molekülleri ile okside olmasına dayandırılmaktadır. Ayrıca su gaz reaksiyonlarının da İs partiküllerinin azalmasında etkisinin olabileceği literatürde incelenmiştir. Lee C. F. F., Wang K. T., Cheng W. L. [88] mikroparçalanmalardan dolayı emülsiyonlu yakıtlarda İs partiküllerinin okside olduğunu ve bu yüzden daha az oranda gerçekleştiğini belirtmiştir.



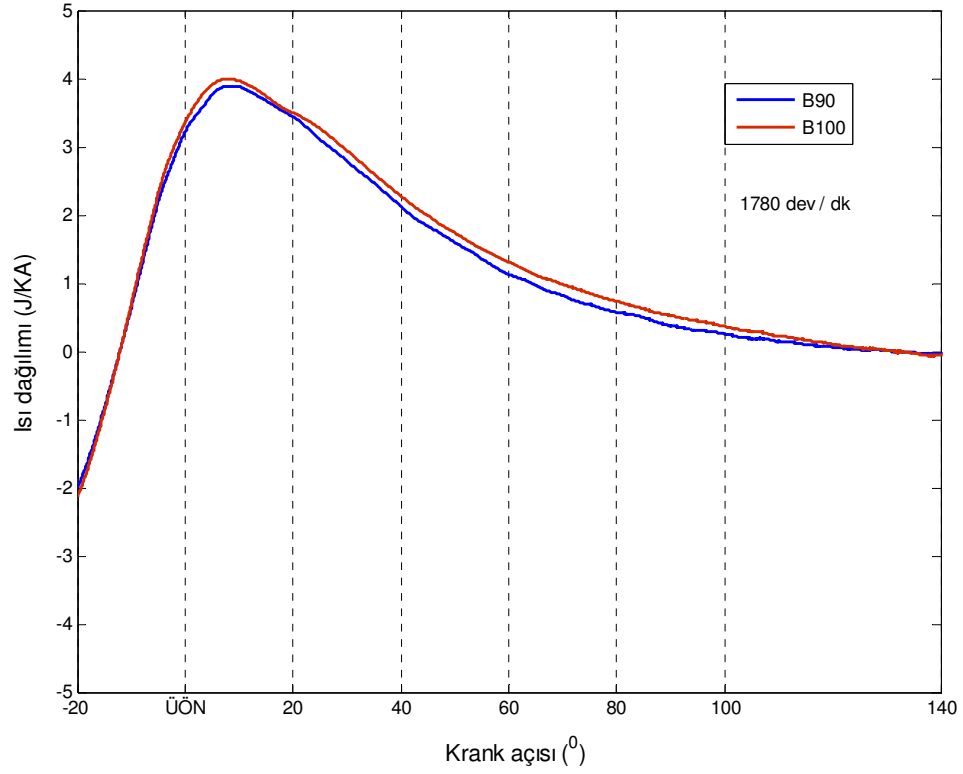
Şekil 6.12 Devre göre farklı oranda su içeren emülsiyonlu yakıtların egzoz gazı sıcaklıklarının karşılaştırılması

Değişik motor yüklerinde ve farklı karışımlarla yapılan deneylerde egzoz gaz sıcaklığında meydana gelen değişimler Şekil 6.12 'de gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere, karışımdaki su miktarı arttıkça, egzoz gaz sıcaklığı değeri de azalmaktadır. M.Abu-Zaid [76], karışımdaki su miktarının artmasıyla egzoz gaz sıcaklığının azaldığını söylemiştir. Egzoz sıcaklığındaki azalmayı karışıma ilave edilen suyun ısıyı absorbe etmesiyle açıklamıştır. Suyun buharlaşması nedeniyle gizli (latent) ısı hava+yakıt karışımını soğutacaktır ve karışım içindeki su miktarı arttıkça, püskürtme ve püskürtme öncesi silindirin ortalama sıcaklık değeri daha düşük olacaktır.



Şekil 6.13 Silindir gaz basıncının krank açısına göre değişimi

Şekil 6.13 de görüldüğü gibi, silindire gönderilen yakıt içerisindeki suyun oranı arttıkça max.silindir basıncıda düşmektedir. Şekil 6.14 de ısı dağılımının KA ya göre değişimi verilmiştir ve saf biyodizele göre ,%10 su içeren emülsiyonlu karışımın ısı dağılımında azalma görülmüştür. Bunun sebebi, emülsiyonlu yakıtta bulunan suyun, biyodizel yakıtından daha önce buharlaşıp ortamdan ısı çekmesi ve soğumaya neden olmasıdır.



Şekil 6.14 Isı dağılımının krank açısına bağlı değişimi

SONUÇLAR

NOx emisyonu

Deney yapılmadan önce yapılan literatür araştırmalarında ,biyozele su eklenmesiyle NOx emisyonunun azalması öngörülmüştür. Yapılan çalışmada çıkan sonuçlar bunu destekler nitelikte olup suyun konsantrasyonunun artmasıyla NOx emisyonu azalmıştır. Özellikle orta devirlerde B10 emülsiyonunda saf biyodizele göre NOx emisyonu %47 oranında azalma göstermiştir. Bunun en önemli sebebi, NOx oluşumunu yüksek adyabatik alev sıcaklığının tetiklemesidir. Y akıt içerisindeki suyun varlığı soğutucu bir etki yaparak yani buharlaşp ortamdan ısıyı absorbe ederek adyabatik alev sıcaklığını düşürmekte ve böylece NO oluşumuda sıcaklıkla beraber azalmaktadır.

Özgül yakıt tüketimi

Özgül yakıt tüketimleri karşılaştırıldığı zaman, yaklaşık olarak aynı olan motor torklarında emülsiyonlu yakıt içerisindeki su oranı arttıkça, özgül yakıt tüketimide artış göstermiştir çünkü saf biyodizelin ısıl verimi, emülsiyonlu karışımların alt ısıl

değerlerinden daha fazladır ve aynı motor torkunu elde edebilmek emülsiyonlu yakıtlar uygulandığı zaman motora alınan yakıt tüketiminde artmıştır.

Termal verim

Yapılan çalışmada, B100 B3,5, B5, B10 ve B12 emülsiyonları ile dizel motorun termik verimleri ölçülmüştür ve saf biyodizelin ısı verimi su emülsiyonlu biyodizel yakıtlarından daha fazla olduğu için termal verimi emülsiyonlu yakıtlara göre daha fazladır.

Egzos Gazı sıcaklığı

Egzos gazı sıcaklıklarının devir arttıkça arttığı ve genel olarak saf biyodizele göre su emülsiyonlu yakıtların egzos gazı sıcaklığının daha düşük olduğu görülmektedir, çünkü emülsiyonlu yakıt içerisindeki su yanma sırasında buharlaşarak soğutucu bir etki yapıp ısıyı absorbe etmekte ve adyabatik alev sıcaklığının daha düşük olmasına neden olmaktadır.

Diğer Emisyonlar

Su emülsiyonlu yakıtlarla yapılan çalışmalarda sadece NO_x emisyonunda değil aynı zamanda karbon molekülleri içeren is emisyonunda da bir azalma gözlemlenmiştir. Bizim çalışmamızda da saf biyodizele göre emülsiyonlu yakıtların is emisyonlarında az da olsa bir iyileşme gözlemlenmiştir. Daha önce bahseldiği gibi bunun sebebi suyun yakıttan daha hızlı bir şekilde buharlaşması ve mikro parçalanmalara sebep olup çevresini saran yağ katmanını da zerreciklere ayırması ve yanma odası içerisinde daha iyi bir hava yakıt karışımına olanak vermesidir. Bu da is oluşumunu azaltır ayrıca, suyun parçalanması ile ortaya çıkan OH molekülleride is oluşumunu azaltmaktadır çünkü, OH molekülleri karbon moleküllerinin CO ya da CO₂ ye dönüşmesini sağlar bu da is oluşumuna neden olan karbon moleküllerinin azalması demektir.

CO₂ emisyonu, emülsiyonlu yakıtlarda saf biyodizele göre bir artış göstermiştir. Bunun sebebi yakıt hava karışımının mikroparçalanmalar nedeniyle yüksek olması ve karbon moleküllerinin O₂ ile reaksiyona girmesi sonucu CO₂ emisyonunun artmasıdır. Ayrıca artan CO molekülleride daha önce anlatılan su - gaz reaksiyonu sebebiyle H₂O molekülleriyle egzotermik reaksiyona girip CO₂ oluşumunun artmasına neden olmuştur.

Saf biyodizele göre emülsiyonlu yakıtlarda az da olsa bir güç ve moment kaybı meydana gelmiştir. B10 emülsiyonlu yakıtta saf biyodizele göre özellikle yüksek devirde yaklaşık %10 luk bir güç kaybı gözlemlenmiştir.

Dizel motorların, NO_x, is ve partikül madde emisyonunun fazla olması ve alternatif enerji kaynaklarından biyodizelin dizel motorda modifikasyon gerektirmeden kullanılabilme avantajı, günümüzde biyodizeli daha popüler hale getirmiştir. Çevreye ve insan sağlığına ciddi zararları olan NO_x ve islerin eş zamanlı olarak azaltılma çalışması, biyodizeli su ile emülsiyon oluşturarak kullanmaya yönlendirmiştir. Yapılan çalışmada, literatürde daha önce yapılan deneysel uygulamalarda olduğu gibi NO_x ve is partiküllerinde azalma görülmüş olup, motor momentinde ve gücünde azalma aynı zamanda CO ve HC emisyonlarında bir artış gözlemlenmiştir.

ÖNERİLER

Biyodizelin yüksek oranda O₂ içermesi ve buna bağlı olarak alt ısı enerjisinin az olması, emülsiyonun stabilitesini uzun süre sağlamaya çalışmak ve depolamak karşılaşılan önemli problemlerdendir. Burada bir optimizasyon yapılmalı ve özellikle emülsiyonu deneysel çalışmadan çıkarıp, uygulamaya geçirebilmek için faz ayrışmasının mümkün olduğunca geciktirilmesi gerekmektedir. Ayrıca yakıtta katılan su miktarının da, yanmayı soğutma özelliğinden dolayı daha kötüleştirilmesi fazla bir güç kaybına neden olacaktır. Bu yüzden yakıtta katılacak su miktarının sadece faz ayrışması için değil, verim açısından ve korozyona neden olup uzun süreli çalışmada motor elemanlarının da aşınmasına izin vermemesi için optimum düzeyde olmasına dikkat edilmelidir. Yapılan çalışmada saf biyodizele göre emülsiyonlu yakıtlarda özgül yakıt tüketiminin de artması karşımıza depolama ve ekonomi problemlerini ortaya çıkarmaktadır.

Deneyde kullanılan emülsiyon ünitesinin boyutlarından dolayı uygulanması zor olduğu için daha küçük karıştırıcılar özellikle ultrasonik karıştırıcılar kullanılabilir.

Sonuç olarak bu deney çalışmasının amacına bağlı olarak, biyodizel su emülsiyonlu yakıtlar, saf biyodizele göre emisyon gazlarının azaltılmasında olumlu sonuçlar vermiş olup, uygulanabilirliği deneysel sonuçlarla test edilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Srivastava, A. ve Prasad, R., (2000), "Triglycerides-based Diesel Fuels", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4 : 111-133.
- [2] Masjuki H, Abdulmuin MZ ve Sii HS. (1997), "Indirect injection diesel engine operation on palm oil methyl esters and its emulsions" 291-9.
- [3] D.H. Qi, H. Chen, R.D. Matthews ve Y.ZH. (2009), "Combustion and emission characteristics of ethanol-biodieselwater micro-emulsions used in a direct injection compression ignition engine" *FUEL* 89 : 958-964.
- [4] H.H Masjuki ve M.D Irfan (2003), "Comparative analysis of CPO/Water Emulsion fuel for direct injection diesel engine" Department of Mechanical Engineering, University of Malaya Sayfa No:24
- [5] Cherng-Yuan Lin ve Hsiu-An Lin (2006), " Engine performance and emission characteristics of a three-phase emulsion of biodiesel produced by peroxidation", *Fuel Processing Technology* 88 : 35-41.
- [6] Samec N., Kegl B. ve Dibble W. (2002), " Dibble Numerical and experimental study of water/oil emulsified fuel combustion in a diesel engine" *FUEL* 81 : 2035-2044.
- [7] Armas O. ,Ballesteros R. ,Martos F.J.,Agudelo ve J.R. (2004), " Characterization of light duty Diesel engine pollutant emissions using water-emulsified fuel " *FUEL* 84 : 1011-1018.
- [8] Awang R., ve Yuen May C. (2008), "Water in Oil Emulsion of palm biodiesel" *Journal of Oil Palm Research*, 20 : 571-576.
- [9] Lif A.ve Holmberg K. (2006), "Water-in-diesel emulsions and related systems" *Advances in Colloid and Interface Science* 123-126 ,231-239.
- [10] Safgönül,B., Ergeneman,M., Arslan, E. ve Soruşbay, C. (1999), İçten Yanmalı Motorlar, Birsen Yayınevi, İstanbul, 29.
- [11] Prior A., Jääskeläinen H. ve Walsh J. (2005), *NOx Emission Study: An Investigation of Water-Based Emission Control Technologies*, Fleetway Inc.

- [12] Heywood J. B., (1988), Internal Combustion Engine Fundamentals. Mc Graw-Hill Book Company, Singapore, 930s.
- [13] Ban-Weiss G. A., Chen J. Y., Buchholz B. A. ve Dibble R. W. (2007), A Numerical Investigation into The Anomalous Slight NO_x Increase When Burning Biodiesel; A New (Old) Theory. Fuel Processing Technology, 88: 659-667.
- [14] Challen B. ve Baranescu R. (1999), Diesel Engine Reference Book Second Edition. Butterworth-Heinemann, Oxford, 686s.
- [15] Mark J., ve Morey C., (1999), Diesel Passenger Vehicles and the Environment, Union of Concerned Scientists.
- [16] Işıksoluğu, M. A.,(1997), "Dizel Motorlu Taşıtların Egzoz Gazındaki Duman Koyuluğu ve Ölçümde Karşılaşılan Sorunlar",Mühendis ve Makine Dergisi, 38 (453) : 22-25.
- [17] Soruşbay, C., (1989), İçten Yanmalı Motorlarda Egzoz Gazları Emisyonu ,İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- [18] De Neuers, N.,(1995), Air Pollution Control Engineering, McGraw-Hill International Editions, Singapur.
- [19] Demirsoy, M., (2003), "Benzin ve Dizel Motorları Egzoz Gazlarının Temizlenmesi İçin Alınan Tedbirler" Dokuz Eylül Üniversitesi Denizli Mühendislik Fakültesi, Denizli.
- [20] Leuckel, W., (1985),"Schadstoffbildung bei industriellen Verbrennungsanlagen und primäre Minderungsmaßnahmen", 1. Tecflam Seminer,. Heidelberg.
- [21] Khan, I.M., ve Wang, C.H.T., (1973), "Factors Affecting Emissions of Smoke and Gaseous Pollutants from Direct Injection Diesel Engines, Lucas Engineering Review", 6 : 2, Kasım.
- [22] Chan, M., Das, S., ve Reitz, R.D.,(1997), "Modelling Multiple Injection and EGR Effects on Diesel Engine Emissions", SAE Paper No: 972864.
- [23] Kohketsu, S., Mori, K., Sakai, K., ve Hakozaiki, T., (1997), "EGR Technologies for a Turbocharged and Intercooled Heavy-Duty Diesel Engine", SAE Paper, No: 970340.
- [24] Narusawa, K., Odaka, M., Koike, N., Tsukamat, Y., ve Yoshida, K., (1990), "An EGR Method for Heavy-Duty Diesel Engines Under Transient Operations", SAE Paper, No: 900444.
- [25] Olcay, T., ve Alp, K.,(1996), "Hava Kirlenmesi Kontrolü", Ticaret Odası, 1996-36, İstanbul
- [26] Samec N. , Dibble R., ve Chen Y V, "Reduction of NO_x and Soot Emission by Water Injection During Combustion in a Diesel Engine", F20001075
- [27] Fukuda H., Kondo A., ve Noda H., (2001), "Biodiesel Fuel Production by transesterification of Oils", Journal Of Bioscience And Bioengineering, 92, ,405-416.

- [28] Yucesu H.S., Altın R., ve Cetinkaya S., (2001), "Dizel Motorlarında alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının deneysel incelenmesi", Turk J. Engin. Environ. Sci., 25, 39-49.
- [29] Kaplan C., Arslan R. ve Surmen A., (2006), "Performance Characteristics of Sunflower MethylEsters as Biodiesel", Energy Sources, Part A, 28:751–755.
- [30] Rakopoulos C.D., Rakopoulos D.C., Hountalas D.T., Giakoumis E.G., ve Andritsakis E.C., (2008), "Performance and emissions of bus engine using blends of diesel fuel with bio-diesel of sunflower or cottonseed oils derived from Greek feedstock", Fuel 87, 147–157.
- [31] Sugözü, İ., Aksoy, F., ve Baydır, Ş.,(2009), "Bir dizel ayçiçeği metil esteri kullanımının motor performans ve emisyonlarına etkisi",Makine teknolojileri elektronik dergisi 6: 49-56.
- [32] Ulusoy, Y. ve Alibaş, K. (2002) Dizel Motorlarda biodizel kullanımının teknik ve ekonomik olarak incelenmesi. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16, 37-50.
- [33] Oğut, H., ve Oğuz, H., (2005) Üçüncü Milenyum Yakıtı Biyodizel, Nobel Yayınevi Ltd. Şti.
- [34] Marchetti J.M., Miguel V. U. ve Errazu A. F. (2007) Possible Methods For Biodiesel Production. Renewable&Sustainable Energy Reviews, 11:1300-1311.
- [35] Kolsarıcı, Ö., Bayraktar, N., İslar, N., Mert, M., ve Arslan, B., (1995) "Yağlı tohumlu bitkilerin tüketim projeksiyonları ve üretim hedefleri", 4: Teknik Tarım Kongresi, 26: 467-483.
- [36] Nas, S., Gökalp ve H.Y., Ünsal, M. (2001). Bitkisel Yağ Teknolojisi, Mühendislik Fakültesi Matbaası, Denizli, s. 43-58.
- [37] Van Gerpen, J., Shanks, B., Pruszko, R., Clements, D. ve Knothe, G., (2004). "Biodiesel production technology", NREL Subcontractor Report, July.
- [38] Ma, F., Hanna ve M., A., (1999) "Biodiesel production: a review", Biosource Technology, 70:1-15.
- [39] Lue Y.-F., Yeh Y.-Y. ve Wu C.H., (2001) "The emission characteristics of a small D.I. Diesel engine using biodiesel blended fuels", J. Environ. Sci. Health, 36(5), 845–859.
- [40] Biyodizelin özellikleri www.biodiesel.org/pdf_files/fuelfactsheets/BDSpec.pdf 12.06.2008
- [41] Tate R. E., Watss K. C., Allen C.A.W. ve Wilkie K.I. (2006) The Densities of Three Biodiesel Fuels at Temperatures Up To 300 oC. Fuel, 85: 1004–1009.
- [42] Graboski, M.S, McCormick, R.L, Alleman, T.L., ve Herring, A.M., (2003) "The effect of biodiesel composition on engine emissions from A DDC Series 60 diesel engine", NREL Final Report 2, February.
- [43] Biyodizel üretimi <http://biyokure.org/biyodizelin-yakit-ozellikleri>, 20 Ağustos 2012

- [44] Knothe, G., Dunn, R., ve Bagby, M., (1997) "Biodiesel: The Use of Vegetable Oils and Their Derivatives as Alternative Diesel Fuels", In ACS Symp. Ser. No. 666: Fuels and Chemicals from Biomass, 172-208.
- [45] Shaid E. M. ve Jamal Y., (2008) A Review of Biodiesel as Vehicular Fuel. Renewable&Sustainable Energy Reviews.
- [46] http://www.asabe.org/awards/competitions/2005_Graduate_Winners/Research_Paper.pdf (16.06.2008)
- [47] Mark P. B., Musculus ve John E. D., (2002), "The effects of water-fuel emulsions on spray and combustion processes in a heavy-duty DI diesel engine". SAE paper 2002-01-2892.
- [48] Biyodizel yakıt bilgileri <http://www.textara.com/biodizel-biyodizel-yakit-nasil-yapilir-uretilir-teknik> , 10 Temmuz 2013
- [49] Monyem, A., ve Van Gerpen J.,H., (2001) "The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emmissions", Biomass and Bioenergy, 20:317- 325.
- [50] Wyatt. V. T., Hess, M. A., Dunn, R. O., Foglia, T. A., Haas, M. J. ve Marmer, V. N. (2005) Fuel Properties and Nitrogen Oxide Emission Levels of Biodiesel Produced from Animal Fats. JAOCS, 82: 585-592.
- [51] Prankl H. ve Wörgetter M. (1996) Influence of The Iodine Number of Biodiesel To The Engine Performance. Third Liquid Fuel Conference, "Liquid Fuels and Industrial Products from Renewable Resources" September 15-17,Nashville, Tennessee.
- [52] Joshi R. M. ve Pegg M. (2007), "Flow Propeties of Biodiesel Fuel Blends at Low Temperature ",Fuel, 86: 143– 151.
- [53] Fernando, S., Kara, P., Hernandez, R. ve Jha, S. K. (2006) "Effect of Incompletely Converted Soybean Oil on Biodiesel Quality " Energy, 32: 844-851.
- [54] Barsic NJ ve Humke AL. (2002) "Performance and Emissions Characteristics of a naturally aspirated diesel engine with vegetable oil fuels " SAE paper 810262.
- [55] Tadashi Murayama,Young-taig Oh, Noboru Miyamoto, Takemi Chikahisa, Nobukazu Takagi veKoichiro Itow. "Low carbon flower buildup, low smoke and efficient diesel operation with vegetable oils by conversion to monoesters and blending with diesel oil or alcohols " SAE paper 841161.
- [56] Scholl KW ve Sorenson SC. (1993), "Combustion of soybean oil methyl ester in a direct injection diesel engine " SAE paper 930934.
- [57] Ali Yusuf, Hanna Milford A ve Borg Joseph E. (1995) Optimization of diesel. Methyl tallowate and ethanol blend for reducing emissions from diesel engine. Bioresource Technology 52:237–43.
- [58] Dorado MP, Ballesteros E, Arnal JM, Go´mez J ve Lo´pez FJ., (2003) "Exhaust emissions from a diesel engine fueled with transesterified waste olive oil " Fuel 82:1311–5.

- [59] Labeckas G, ve Slavinskas S. (2006) "The effect of rapeseed oil methyl ester on direct injection diesel engine performance and exhaust emissions " *Energy Conversion and Management* ,47:1954–67.
- [60] Yarbrough CM, LePori WA ve Engler CR., (1981), "Compression ignition performance using sunflower seed oil " ASAE paper number 81-3576.
- [61] Strayer RC, Blake JA ve Craig WK., (1983) "Canola and high erucic rape seed oil as substitutes for diesel fuel " : preliminary tests. *JAOCS*,60:1587–96.
- [62] Pryor RW, Hanna MA, Schinstock, ve Bashford LL. (1983) Soybean oil fuel in a small diesel engine. *Transactions of the ASAE* 26:333–7.
- [63] Altun Ş. ve Gür A. (2005), " Bitkisel yağların alternatif yakıt olarak dizel motorlarında kullanılması ".
- [64] Yücel, H.L., (2002), Pamuk yağı – motorin karışımlarının alternatif dizel yakıtı olarak kullanılması. IV. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 16-18 Ekim, İstanbul, 945- 952.
- [65] İlkılıç, C. ve Öner, C. (2003), "Bir dizel motorunda ayçiçek yağı metil esterleri ile motorin karışı kullanarak egzoz emisyonlarının incelenmesi " *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(4), 579-588.
- [66] Mark J., ve Morey C., (1999), "Diesel Passenger Vehicles and the Environment", Union of Concerned Scientists.
- [67] Hoelzer, J., Zhu J., Savonen C.L., Kharas K.C.C., Bailey O.H., Miller M., ve Vuichard J., (1997), "Proceedings of the 1997 Diesel Engine Emissions Reduction Workshop", Temmuz 28-31, Washington : DC: DOE,.
- [68] Demirsoy, M., (2003), "Benzin ve Dizel Motorları Egzoz Gazlarının Temizlenmesi için Alınan Tedbirler" *Dokuz Eylül Üniversitesi Denizli Mühendislik Fakültesi*, Denizli.
- [69] De Soete, G., (1981), "Physikalisch-Chemische Mechanismen beider Stickoxidbildung in industriellen Flammen Gas Wärme international", Bond.
- [70] Saraçoğlu, S., Borat, O.ve Gönülata, B., (1977), "İstanbul Ticaret Odası Seminerler Dizisi No:1",Hava Kirlenmesi ve Kontrol Tekniği, Marmara Bölgesinde Çevre Kirlenmesi Semineri, : Ağaoğlu Kitabevi, 27-30 Eylül 1977, İstanbul.
- [71] Ramavajjala, M., Palekar V., Slone R., ve Yowell G., (1997), "Fuel Additives for In-Cylinder NOX Reduction from Diesel Engines, Proceedings of the 1997 Diesel Engine Emissions Reduction Workshop", La Jolla, CA, Temmuz 28-31,1997, DC: DOE Washington,.
- [72] Dickey, D.W., T.W. Ryan, ve A.C. Matheaus., (1998), "NOX Control in Heavy-Duty Diesel Engines-What is the Limit", SAE, No. 980174.
- [73] Lee, R., Pedley J. ve Hobbs C., (1998), "Fuel Quality Impact on Heavy Duty Diesel Emissions: - A Literature Review", SAE Papers, No. 982649.

- [74] Fleisch, T., McCarthy C., Basu A., Udovich C., Charbonneau P., Slodowske W., Mikkelsen S., ve McCandless J.M., (1995), "A New Clean Diesel Technology: Demonstration of ULEV Emissions on a Navistar Diesel Engine Fueled with Dimethyl Ether", SAE Papers, No. 95006.
- [75] Kapus, P., ve Ofner H., "Development of a Fuel Injection Equipment and Combustion System for DI Diesels Operated on Dimethyl Ether", SAE Papers. No. 950062.
- [76] Abu-Zaid M., (2004), "Performance of single cylinder, direct injection Diesel engine using water fuel emulsions". *Energy Conversion and Management* 45: 697-705.
- [77] F. Bedford, Rutland, C.,(2000), "Effects of Direct Water Injection on DI Diesel Engine Combustion", SAE International, 2000. 2000-01-2938.
- [78] Barnes, A., D. Duncan, J Marshall, A. Psaila, J. Chadderton, ve A. Eastlake,(2000), "Evaluation of Ester- Blended Fuels in a City Bus and an Assessment of Performance with Emission Control Devices", SAE Paper No. 2000-01-1915.
- [79] Szybist J, Simmons J, Druckenmiller M, Al-Qurashi K ve Boehman Scaroni, (2003) "Potential methods for NOx reduction from biodiesel " SAE paper 2003-01-3205.
- [80] Leung DYC, Luo Y ve Chan TL., (2006), "Optimization of exhaust emissions of a diesel engine fuelled with biodiesel " *Energy Fuel* 20(3):1015–23.
- [81] Fernando S, Hall C ve Jha S. (2006), "NOx reduction from biodiesel fuels" *Energy Fuel* 20(1):376–82.
- [82] Mark PB, Musculus ve John ED. "Effects of water–fuel emulsions on spray and combustion processes in a heavy-duty DI diesel engine. " SAE paper 2002-01 2892; 2002.
- [83] Cheng CH, Cheung CS, Chan TL, Lee SC, Yao CD ve Tsang KS., (2008) "Comparison of emissions of a direct injection diesel engine operating on biodiesel with emulsified and fumigated methanol " *Fuel* 87(10–11):1870–9.
- [84] Fu WB, Hou LY, Wang L ve Ma FH. *Fuel Process Technology* ,(2002),79:107.
- [85] Ishida H.(2005), "Emulsion Fuel Technology in Combustion Furnaces "
- [86] Acartürk F., Ağabeyoğlu İ., Çelebi N., Değim T., Değim Z., Doğanay T., Takka S., ve Tırnaksız F., *Modern Farmasötik Teknoloji*, TEB Eczacılık Akademisi, ISBN 975-507-146-6.
- [87] Lue Y.-F., Yeh Y.-Y. ve Wu C.H., (2001), "The emission characteristics of a small D.I. Diesel engine using biodiesel blended fuels", *J. Environ. Sci. Health*, 36(5), 845–859.
- [88] Lee C. F. F., Wang K. T., ve Cheng W. L., (2008), "Atomization characteristics of multi-component biofuelsystems under micro-explosion conditions", SAE paper no. 2008-01-0937

- [89] Hsu B. D., (1987), "Combustion of water-in-Diesel emulsion in an experimental medium speed Diesel engine". SAE paper 860300 ,2.285–96.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ceylan DAĞ
Doğum Tarihi ve Yeri : 16.08.1985 / Yozgat
Yabancı Dili : İngilizce, Almanca
E-posta : caylandag@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2009
Lise	Fen-Matematik	Adnan Menderes Anadolu Lisesi	2003

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2009-...	Mercedes-Benz Türk A.Ş.	Makine Mühendisi

