

**TEK SİLİNDİRLİ BİR DİZEL MOTORUNDA
ATIK KIZARTMA YAĞI METİL ESTERİNİN, PETROL DİZELİ İLE
KARIŞIMININ VE ÖN ISITMALI MISIR YAĞI KULLANIMININ
ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Kerem ÇEVİK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2012

ANKARA

Kerem ÇEVİK tarafından hazırlanan “TEK SİLİNDİRLİ BİR DİZEL MOTORUNDA ATIK KIZARTMA YAĞI METİL ESTERİNİN, PETROL DİZELİ İLE KARIŞIMININ VE ÖN ISITMALI MISIR YAĞI KULLANIMININ ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Nuri YÜCEL

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İrfan AR

.....

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Nuri YÜCEL

.....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Nureddin DİNLER

.....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 18/09/2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Kerem ÇEVİK

**TEK SİLİNDİRLİ BİR DİZEL MOTORUNDA
ATIK KIZARTMA YAĞI METİL ESTERİNİN, PETROL DİZELİ İLE
KARIŞIMININ VE ÖN ISITMALI MISIR YAĞI KULLANIMININ
ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Kerem ÇEVİK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Eylül 2012

ÖZET

Taşıt sayısındaki artışla birlikte yakıt ihtiyacı da artmış, yakıt rezervleri tükenmeye başlamış ve alternatif yakıt arayışları başlamıştır. Bu alternatif yakıtların başında maliyetinin düşük olması ve çevreye zararının yok deneyecek kadar az olması sebebiyle biyoyakıtlar gelmektedir. Buna rağmen bazı olumsuz yanları da vardır ve bunların başında yüksek viskozitesi sebebiyle soğuk günlerde ilk çalıştırmalarda problem çıkartması, atomizasyonun iyi olmaması sonucu performansta azalmalara sebep olması gelmektedir. Bu çalışmada tek silindirli dizel motoru, hidrolik dinamometre, dinamometre kontrol ünitesi, yakıt tankları, sıcaklık ölçüm cihazı ve ısı değiştiricisinden oluşan deney seti kullanılmıştır. Isı değiştiricisi yakıtı istenilen sıcaklığa getirecek şekilde tasarlanmış, tasarımın ardından imal edilmiş ve deney setine dâhil edilmiştir. Deneylerin ilk kısmında atık kızartma yağı metil esteri, petrol dizeli ve petrol dizeli ile karışımları kullanılmıştır. Farklı motor devirlerinde, motor performans ve egzoz emisyon deneyleri yapılmıştır. Deneyin ikinci kısmında mısır yağı ve petrol dizeli ile karışımları kullanılmıştır. Yakıt enjektörlere gitmeden önce imal edilen ısı değiştiricisinden geçirilerek, egzoz gazından atmosfere atılan yanmış gazın sahip olduğu ısı ile farklı sıcaklıklara ısıtılmış ve egzoz emisyon testleri yapılmıştır.

Yapılan deneyler sonucunda atık kızartma yağı metil esteri kullanımı ile emisyonlarda azalma olurken, motor performansının da azaldığı görülmüştür. Mısır yağının kullanıldığı deneylerde, mısır yağının yüksek viskozitesi sebebiyle emisyonların artmasına sebep olduğu, ön ısıtma ile emisyonların bir miktar azalmasına rağmen petrol dizeline kıyasla yüksek olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 914.1.038
Anahtar Kelimeler : Biyodizel, bitkisel yağ, ön ısıtma, performans, emisyon
Sayfa Adedi : 93
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Nuri YÜCEL

**EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF
WASTE FRYING OIL METHYL ESTER, BLENDS WITH
PETROLEUM DIESEL AND PREHEATED CORN OIL USAGE
IN A SINGLE CYLINDER DIESEL ENGINE
(M. Sc. Thesis)**

Kerem ÇEVİK

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
September 2012**

ABSTRACT

As fuel demand increases, fuel reserves have started to deplete and alternative fuel researches have begun with the increase in amount of vehicles. Biofuels take a place on the top among these alternative fuels due to harming the environment as little as possible and their low-cost. On the other hand, these fuels have some negative effects. In cold days, these fuels may have starting problem because of their high viscosity and may cause a decrease on engine performance that is effected by poor atomization.

In this study, a single cylinder diesel engine, hydraulic dynamometer, dynamometer control unit, fuel tanks, temperature measurement devices and a heat exchanger was used as the experimental setup. The heat exchanger was designed to obtain desired fuel temperatures, after the design studies, it was produced and was assembled to the experimental setup. In the first stage of experiments, waste frying oil methyl ester, petroleum diesel and their blends were used as fuel. Engine performance and emission tests were performed at different engine speeds. In the second stage of the experiments, the corn oil and its blends with petroleum diesel were used and sent to the heat exchanger just before the injector. Hence, the corn oil was heated to different temperatures by

the waste heat of exhaust gas. The effects of different temperatures to the exhaust emissions were investigated.

In conclusion, the usage of waste frying oil methyl ester caused a decrease on both exhaust emissions and engine performance. In the corn oil experiments, it was observed that exhaust emissions increased due to high viscosity of corn oil and by the preheating process, the exhaust emissions decreased in comparison with non-preheated corn oil. However, it was seen that exhaust emissions of preheated corn oil remain higher than petroleum diesel.

Science Code : 914.1.038

Key Words : Biodiesel, vegetable oil, pre-heating, performance, emission

Page Number: 93

Adviser : Prof. Dr. Nuri YÜCEL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Nuri YÜCEL'e, yardımlarını esirgemeyen, görüşleriyle çalışmalarına yön veren Yrd. Doç. Dr. Nureddin DİNLER'e, çalışmamın başından sonuna kadar bana destek ve yardımcı olan Araştırma Görevlisi Salih KARAASLAN'a, deney çalışmalarını birlikte yürüttüğümüz değerli arkadaşlarım Makina Yüksek Mühendisi Caner ERMAN ve Makina Mühendisi Ender HEPKAYA'ya, bana her zaman destek olan ve anlayış gösteren değerli hocam ve işverenim Yrd. Doç. Dr. Fazıl Serdar GÜREL'e, yakıt temininde bana yardımcı olan Biyoner Yağ ve Kimya Ürünleri Limited Şirketi'ne ve öğrenim hayatım boyunca hem manevi hem maddi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme, teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. DİZEL MOTORLARINDA KİRLETİCİ EMİSYONLAR VE PETROL DİZELİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ.....	11
2.1. Dizel Motorlarında Kirletici Emisyonlar	11
2.1.1. Karbonmonoksit (CO).....	12
2.1.2. Hidrokarbonlar (HC)	14
2.1.3. Azotoksitler (NO _x)	16
2.1.4. Partikül maddeler (PM).....	18
2.2. Petrol Dizelinin Genel Özellikleri.....	19
2.2.1. Setan sayısı.....	20
2.2.2. Viskozite.....	22
2.2.3. Isıl değer.....	23
2.2.4. Parlama ve yanma noktası.....	23
2.2.5. Yoğunluk	24
3. DİZEL MOTOR YAKITI OLARAK BİYORYAKIT	25

Sayfa

3.1. Biyoyakıt Hava Kirletici Emisyonları.....	26
3.1.1. Karbonmonoksit (CO) ve karbondioksit (CO ₂)	27
3.1.2. Hidrokarbonlar (HC)	29
3.1.3. Azotoksitler (NO _x)	30
3.1.4. Partikül madde (PM) ve is.....	32
3.2. Biyoyakıtların Özellikleri.....	33
3.2.1. Setan sayısı	34
3.2.2. Viskozite.....	35
3.2.3. Isıl değer	38
3.2.4. Parlama ve yanma noktası.....	39
3.2.5. Yoğunluk	40
4. DENEY SETİ VE DENEYİN YAPILIŞI.....	43
4.1. Deneyde Kullanılan Yakıtlar	43
4.1.1. Petrol dizeli	44
4.1.2. Mısır yağı	44
4.1.3. Atık kızartma yağı metil esteri	44
4.2. Deney Seti	47
4.2.1. Deney motoru	50
4.2.2. Dinamometre ve kontrol ünitesi	51
4.2.3. Isı değiştiricisi	54
4.2.4. Yakıt deposu ve debi ölçer	59
4.2.5. Egzoz gazı analiz cihazı	61

Sayfa

4.2.6. Sıcaklık ölçüm cihazı	62
4.3. Deneyin Yapılışı.....	63
5. DENEY SONUÇLARI VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	65
5.1. CO Emisyonu	65
5.2. CO ₂ Emisyonu.....	67
5.3. HC Emisyonları.....	70
5.4. NO _x Emisyonları	72
5.5. Motor Torku	75
5.6. Mil Gücü.....	76
5.7. Mil Özgül Yakıt Tüketimi.....	78
5.8. Mil Verimi.....	80
6. SONUÇ	82
KAYNAKLAR	86
ÖZGEÇMİŞ	93

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Binek otomobiller için Euro emisyon limitleri	12
Çizelge 2.2. Petrol dizelinin özellikleri.....	20
Çizelge 3.1. Biyodizel, petrol dizeli ve karışımlarının özellikleri	34
Çizelge 3.2. Yakıtlara göre viskozite değerleri.....	35
Çizelge 3.3. Bazı bitkisel yağların alt ısıt değerleri	39
Çizelge 3.4. Yakıt cinsine ve karışım oranına göre parlama ve yanma noktası.....	39
Çizelge 3.5. Yakıt cinsine göre yoğunluk değerleri.....	40
Çizelge 4.1. Deneyde kullanılan petrol dizelinin özellikleri.....	44
Çizelge 4.2. Deneyde kullanılan mısır yağının özellikleri.....	44
Çizelge 4.3. Deneyde kullanılan atık kızartma yağı metil esterinin özellikleri	47
Çizelge 4.4. Deney motorunun özellikleri	50
Çizelge 4.5. Egzoz gazı analiz cihazı ölçüm parametreleri ve aralığı	61

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Motor devrinin CO emisyonuna etkisi	13
Şekil 2.2. Tam gaz, değişik motor hızı ve enjeksiyon basınçlarında NO _x emisyonlarının değişimi	17
Şekil 2.3. NO _x emisyonlarının, biyodizel-petrol dizeli karışım oranına ve farklı EGR oranlarına göre değişimi	18
Şekil 2.4. Dizel partikül madde kompozisyonu.....	19
Şekil 2.5. Setan cetveli	21
Şekil 3.1. CO emisyonunun motor devrine göre değişimi	28
Şekil 3.2. Yakıt karışımındaki biyoyakıt oranının CO ₂ emisyonuna etkisi.....	28
Şekil 3.3. HC emisyonlarının motor devrine göre değişimi.....	29
Şekil 3.4. Biyodizel-petrol dizeli karışımındaki biyodizel oranının emisyonlara etkisi.....	31
Şekil 3.5. NO _x emisyonlarının motor devrine göre değişimi.....	31
Şekil 3.6. İS emisyonlarının yakıt türüne ve yakıta eklenen etanol miktarına göre değişimi	33
Şekil 3.7. Viskozitenin sıcaklık ve yakıt karışım oranına göre değişimi	36
Şekil 3.8. Bitkisel yağlar için viskozite ve yoğunluk arasındaki bağıntı.....	42
Şekil 3.9. Biyodizel için viskozite ve yoğunluk arasındaki bağıntı	42
Şekil 3.10. Biyodizel için üst ısı değer ve yoğunluk arasındaki bağıntı	42
Şekil 4.1. Deney setinin şematik görünümü	48
Şekil 4.2. Deney setinin şematik perspektif görünümü	49
Şekil 5.1. Oda sıcaklığındaki AKYME'nin, petrol dizelinin ve karışımlarının CO emisyonu.....	66
Şekil 5.2. Ön ısıtma uygulanmış mısır yağının ve petrol dizeli ile karışımlarının CO emisyonu	67

Şekil	Sayfa
Şekil 5.3. Oda sıcaklığındaki AKYME'nin, petrol dizelinin ve karışımlarının CO ₂ emisyonu	68
Şekil 5.4. Ön ısıtma uygulanmış mısır yağının ve petrol dizeli ile karışımlarının CO ₂ emisyonu	69
Şekil 5.5. Oda sıcaklığındaki AKYME'nin, petrol dizelinin ve karışımlarının HC emisyonları	70
Şekil 5.6. Ön ısıtma uygulanmış mısır yağının ve petrol dizeli ile karışımlarının HC emisyonları	71
Şekil 5.7. Oda sıcaklığındaki AKYME'nin, petrol dizelinin ve karışımlarının NO _x emisyonları	73
Şekil 5.8. Ön ısıtma uygulanmış mısır yağının ve petrol dizeli ile karışımlarının NO _x emisyonları	74
Şekil 5.9. Oda sıcaklığındaki AKYME'nin, petrol dizelinin ve karışımlarının motor torku.....	76
Şekil 5.10. Oda sıcaklığındaki AKYME'nin, petrol dizelinin ve karışımlarının mil gücü.....	78
Şekil 5.11. Oda sıcaklığındaki AKYME'nin, petrol dizelinin ve karışımlarının mil özgül yakıt tüketimi	79
Şekil 5.12. Oda sıcaklığındaki AKYME'nin, petrol dizelinin ve karışımlarının mil verimi	81

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Bitkisel yağ ve petrol dizeli kullanılan motorlarda yakıt filtrelerinin karşılaştırılması	38
Resim 4.1. Biyoner Yağ ve Kimya Ürünleri Ltd. Şti. üretim tesisi	45
Resim 4.2. Deney motoru Antor 3LD510	50
Resim 4.3. Dinamometre	51
Resim 4.4. Dinamometre kontrol ünitesi	51
Resim 4.5. Dinamometre yük kontrol mekanizması	52
Resim 4.6. Dinamometrenin yük hücresi.....	52
Resim 4.7. Dinamometre devir ölçüm sensörü	53
Resim 4.8. Dinamometre kontrol yazılımı arayüzü	54
Resim 4.9. Isı değıştiricisinin, giriş ve çıkışlarının görünümü	58
Resim 4.10. Yakıt depolarının genel görünümü	59
Resim 4.11. Kontrol ünitesine bağlı çalışan, yük hücreli yakıt deposu	60
Resim 4.12. Büret ile ölçüm yapılan ikinci depo	61
Resim 4.13. Egzoz gazı analiz cihazı	62
Resim 4.14. Sıcaklık ölçüm cihazı	62
Resim 4.15. Isıl çift bağlantı noktası	63

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A	Isı transfer yüzey alanı
A_c	Ara bölgenin serbest akış alanı
AKYME	%100 Atık kızartma yağı metil esteri
AKYME30	%30 AKYME %70 petrol dizeli karışımı
AKYME50	%50 AKYME %50 petrol dizeli karışımı
B100	%100 Biyodizel
B20	%20 Biyodizel %80 petrol dizeli karışımı
B3	%3 Biyodizel %97 petrol dizeli karışımı
B40	%40 Biyodizel %60 petrol dizeli karışımı
B5	%5 Biyodizel %95 petrol dizeli karışımı
B50	%50 Biyodizel %50 petrol dizeli karışımı
B60	%60 Biyodizel %40 petrol dizeli karışımı
B80	%70 Biyodizel %30 petrol dizeli karışımı
b_e	Mil özgül yakıt tüketimi
c_p	Özgül ısı
cSt	Centistokes
D_e	Eşdeğer çap
d_o	Yakıt borusunu dış çapı
D_o	Isı değiştiricisinin dış çapı
d_i	Yakıt borusunun iç çapı
D_i	Isı değiştiricisinin iç çapı
f	Sürtünme faktörü
F	Kuvvet
g	Gram
h	Saat

Simgeler	Açıklama
h_i	İç film katsayısı
h_o	Dış film katsayısı
H_u	Yakıtın alt ısı değeri
kg	Kilogram
kJ	Kilojul
kW	Kilovat
kWh	Kilovatsaat
l	Litre
L	Yakıt borusunun uzunluğu
l_{kk}	Kuvvet kolu uzunluğu
m	Metre
$\dot{m}_c$	Soğuk akışkanın debisi
M_d	Motor torku
$\dot{m}_h$	Sıcak akışkanın debisi
$\dot{m}_y$	Yakıt tüketimi
MME	%100 Mahua metil esteri
MY	%100 Mısır yağı
MY60	%60 Mısır yağı %40 petrol dizeli karışımı
MY70	%70 Mısır yağı %30 petrol dizeli karışımı
N	Newton
Nu	Nusselt sayısı
PD	%100 Petrol dizeli
P_e	Mil gücü
P_h	Isı transferinin gerçekleştiği çevre
Pr	Prandtl sayısı
Q	Isı
Q_c	Soğuk akışkana verilen ısı
Q_h	Sıcak akışkandan alınan ısı
Re	Reynolds sayısı

Simgeler**Açıklama**

r_i	Yakıt borusunun iç yarıçapı
r_o	Yakıt borusunu dış yarıçapı
rpm	Motorun dakikadaki devir sayısı
s	Saniye
T_{c1}	Soğuk akışkanın ilk sıcaklığı
T_{c2}	Soğuk akışkanın son sıcaklığı
T_{h1}	Sıcak akışkanın ilk sıcaklığı
T_{h2}	Sıcak akışkanın son sıcaklığı
U	Isı transfer katsayısı
V	Akışkanın hızı
μ	Dinamik viskozite
η_m	Mil verimi
ρ	Yoğunluk
ΔT_{LMTD}	Logaritmik sıcaklık farkı

Kısaltmalar**Açıklama**

HFK	Hava fazlalık katsayısı
KV	Kinematik viskozite
LMTD	Logaritmik ortalama sıcaklık farkı
Min	Minumum
PM	Partikül madde

1. GİRİŞ

Hızlı bir şekilde kirlenen temiz hava, tükenen yakıt rezervleri ve içinden çıkılamayan trafik sıkışıklığı problemlerine rağmen hayatımızın vazgeçilmezi haline gelen motorlu taşıtlar, her yıl hızlı bir şekilde artmaktadır. Türkiye'deki motorlu taşıt sayısı 2010 yılı ile 15 095 603'e ulaşmıştır. Taşıt sayısı 2007 yılında %6,5, 2008 yılında %5,7, 2009 yılında %4, 2010 yılında ise %5,4 artmıştır [1].

Motorlu taşıt sayısındaki hızlı artış sebebiyle çevre hızla kirlenmekte ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilenmektedir. Motorlu taşıtlar, kent merkezlerinde karbonmonoksit (CO), azotoksit (NO) ve yanmamış hidrokarbon (HC) emisyonlarının artmasında büyük etkindir. Kurşunlu benzin kullanımının yasak olmadığı ülkelerde, kurşun emisyonlarının hemen hemen hepsi motorlu taşıtlardan kaynaklanmaktadır. Taşıt sayısındaki artışa bağlı olarak bu oranlarda hızla artmaktadır. Motorlu taşıtlardan kaynaklanan hava kirliliğini engellemek için birçok önlem alınmış, birçok düzenleme yapılmıştır. Kurşunun ağır bir metal olması ve insan sağlığı açısından çok tehlikeli olması sebebiyle birçok ülkede kurşunlu benzin kullanımı yasaklanmıştır. Hava kirliliğinin azaltılması için Avrupa'da Euro emisyon standartları getirilmiştir. Bu standarttaki değerlere ulaşabilmek için EGR (egzoz gazı geri dönüşümü), SCR (seçici katalitik indirgeme), elektronik kontrol üniteleri, elektronik kontrollü enjektörler, dizel partikül filtreleri gibi motor içi ve motor dışı önlemler alınmıştır. Tüm bu önlemler sayesinde taşıt kaynaklı emisyonlarda azalma gözlenmiştir.

Motorlu taşıt sayısındaki artışa bağlı olarak ortaya çıkan diğer bir problem ise yakıt ihtiyacının artması ve fosil kökenli yakıt rezervlerinin hızla tükeniyor olmasıdır. Dünyadaki bilinen toplam petrol rezervi 2011 sonu verilerine göre 1652,6 milyar varildir. 1991 yılında 1032,7 milyar varil, 2001 yılında 1267,4 milyar varil, 2010 yılında ise 1622,1 milyar varil olan petrol rezervi, her ne kadar yeni rezervlerin bulunması ile artıyormuş gibi gözükse de bu rezervlerin tükenmeyeceği anlamına gelmemektedir [2].

Gerek petrol rezervlerinin tükeniyor olması, gerekse motorlu taşıtların yaydığı emisyonların, çevreye verdiği zararın büyük olması sebebiyle alternatif yakıt arayışları hız kazanmıştır. Alternatif yakıtların başında ise üretim maliyetinin düşük olması, yenilenebilir bir kaynak olması ve dizel motorlarda doğrudan kullanılabilir olması sebebiyle biyoyakıtlar gelmektedir. Aslında dizel motorlarda biyoyakıt kullanılması yeni bir fikir değildir. 1900 yılında, Rudolph Diesel Paris’te geliştirdiği yeni motorunun tanıtımını yaparken, motorlarından birini fıstık yağıyla çalıştırmıştır. 2. Dünya Savaşı’nda Güney Fransa’da birçok araçta bitkisel yağ kullanılmıştır. Fakat konuyla ilgili en yoğun çalışmalar 1970’li yıllarda petrol krizi sonrasında başlamıştır [3].

Petrol dizeli yerine biyoyakıt kullanımı çevre kirliliğinin önlenmesine ve ekonomiye büyük fayda sağlamaktadır. Tarımsal ürünlerden ve atık yağlardan üretiliyor olması ve üretiminin de kolaylığı sayesinde, dış ülkelere bağlı olmadan biyoyakıt üretilmektedir. Biyoyakıtlar zehirli atık içermez, yakılması sonucu açığa çıkan zararlı gaz miktarı düşüktür ve yandığında kötü koku yaymaz. Parlama noktaları 120 °C ile 220 °C arasında olduğundan taşınmaları ve depolanmaları güvenlidir, bakterilere ayrılarak doğada kolayca bozunabildiklerinden toksik değildir. Biyoyakıt imalatında bitkisel yağlardan faydalanılmaktadır ve bitkilerin büyürken kullandıkları CO₂ miktarı ile biyoyakıt yandığında atmosfere salınan CO₂ miktarı hemen hemen eşit olduğundan, biyoyakıt atmosferdeki CO₂ emisyonunu arttırmamakta ve küresel ısınmaya yol açmamaktadır. Fosil kökenli yakıtlara nazaran daha iyi bir yağlayıcı olduğundan ve motoru tortulardan temizlediği için motorun ömrünü uzatırken sessiz çalışmasını sağlar. Kullanılmış atık yağlardan da biyoyakıt üretilabiliyor olması, atık yağlardan ikinci bir kez faydalanmamızı sağlarken, kullanılmış bu yağların kanalizasyonları tıkaması gibi olumsuz etkilerini ortadan kaldırır. Biyoyakıtlar yapısında O₂ bulundurduğu için yanma odasındaki O₂ miktarını arttırmakta ve petrol dizeline nazaran daha iyi bir yanma sağlamaktadır. Setan sayısının petrol dizeline nazaran daha yüksek olması sebebiyle tutuşma gecikmesi daha kısadır ve motor daha az vuruntulu çalışır.

Tüm bu avantajlarının yanında biyoyakıtın bazı dezavantajları da vardır. Bu dezavantajlardan en önemlisi viskozitesinin yüksek olmasıdır. Viskozitesi yüksek olduğu için yeterince akışkan değildir ve düşük sıcaklıklarda bulutlanma görülür. Bu durum biyoyakıtın soğuk iklim bölgelerinde kullanılmasını engeller. Yüksek viskozite aynı zamanda kötü yanmaya, yakıtın fakir atomizasyonuna, enjektörlerin tıkanmasına, segmanlarda karbon birikmesine, yağlama yağının bozulmasına, filtrelerin tıkanmasına ve performansta azalmalara sebep olabilmektedir [4].

Biyoyakıtın bu olumsuz özelliklerini ortadan kaldırmak ve performans açısından petrol dizeli kullanımına yakın değerler elde etmek için biyoyakıtlarla ilgili birçok çalışma yapılmıştır [5-19]. Bu çalışmalarda ağırlıklı olarak petrol dizeli ile biyoyakıt karıştırılarak kullanılmasının incelendiği görülmektedir [5-13]. Biyoyakıt ve petrol dizeli farklı oranlarda karıştırılarak, biyoyakıtın olumsuz özellikleri en aza indirgenmeye çalışılsa da petrol dizeli içerisine düşük oranlarda biyoyakıt katıldığında petrol dizeline olan bağımlılık azalmamakta, yüksek oranda biyoyakıt katıldığında ise biyoyakıtın olumsuz özellikleri tamamen yok edilememekte ve performansta azalmalar gözlenmektedir.

Biyoyakıtın istenmeyen özelliklerini ortadan kaldırmak için yapılan bazı çalışmalarda, yakıt enjektörlere gitmeden önce belirlenen sıcaklık değerlerine kadar ısıtılmakta, viskozitesi düşürülmekte ve daha sonra enjektörlere gönderilmektedir [14-19]. Biyoyakıtta ön ısıtma yapılırken iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan birincisi yakıtı elektrikli, harici bir ısıtıcı ile ısıtmak iken, ikinci yöntem egzoz gazlarının sahip olduğu ısı ile ısıtmaktır. Deney ortamında biyoyakıtı harici bir ısıtıcı ile ısıtmak, istenilen sıcaklıkların ayarlanmasında kolaylık sağlarken, gerçek hayatta dışarıdan ekstradan bir enerjiye ihtiyaç duymadan, yakıtın atmosfere atılan atık enerji ile ısıtılması tercih sebebidir.

Yücesu ve ark. yaptıkları çalışmada tek silindirli bir dizel motoru kullanılmışlardır [5]. Bu motorda petrol dizeli ve ham ayçiçeği yağı, ham pamuk yağı, rafine haşhaş yağı, rafine kanola yağı, rafine mısır yağı, ham soya yağı, ayçiçeği metil esteri, pamuk yağı metil esteri ve soya yağı metil esteri olmak üzere toplamda dokuz farklı

bitkisel yağ kullanılmış, motor performansı ve egzoz emisyonlarındaki değişimler deneysel olarak incelenmiştir. Performans ve egzoz emisyonlarının karakteristiklerini belirlemek için motor tam gaz değişik devir ve sabit devir değişik yükler altında test edilmiştir. Testler sonucunda metil esterleştirme ile elde edilen yakıtların performansının bitkisel yağlara göre daha iyi olduğu ve petrol dizeli performans değerlerine daha yakın olduğu görülmüş, bitkisel yağların ve metil esterin alternatif yakıt olarak dizel motorlarda kullanılabileceği belirlenmiştir [5].

Başka bir çalışmada ise biyodizelin düşük sıcaklıklardaki olumsuz özellikleri iyileştirilmeye çalışılmıştır. Bhale ve ark. yaptıkları çalışmada [6] mahua metil esterine etanol ve gazyağı ekleyerek soğuktaki akışkanlık ve egzoz emisyonlarını incelemişlerdir. Kullanılan motor tek silindirli, dört zamanlı, 5,15 kW gücündeki bir dizel motordur. Mahua metil esterinin soğuk ortamlardaki değerleri, petrol dizeli ile karşılaştırılamayacak seviyelerdedir. Mahua metil esterine %20 oranında etanol katıldığında bulutlanma noktası 18 °C'den 8 °C'ye akma noktası ise 7 °C'den -4 °C'ye düşmektedir. %20 gazyağı ile karıştırıldığında ise bulutlanma noktası 5 °C'ye, akma noktası -8 °C'ye düşmektedir. Bulutlanma ve akma noktası sıcaklığındaki düşümlere bağlı olarak emisyonlarda da iyileşmeler gözlenmiştir. %20 etanol eklenmiş mahua metil esterinde CO emisyonu bakımında %50'lik bir azalma olurken, ısı veriminde bir azalma olmamıştır. Mahua metil esterine etanol katıldığında parlama noktasında düşüş olmakta, bu sebeple NO_x emisyonları da azalmaktadır. Bu çalışmanın sonucunda mahua metil esterine etanol eklendiğinde yakıtın soğuk ortamdaki özelliklerinin iyileştiği ve motor performansına olumsuz bir etkisinin olmadığı gözlemlenmiştir [6].

Usta ve ark. tarafından yapılan bir çalışmada [7] ise atık ayçiçeği yağından metil esterleştirme yöntemiyle biyodizel üretilmiştir. Bu biyodizel petrol dizeli ile farklı oranlarda karıştırılmış ve dört silindirli, dört zamanlı indirekt püskürtmeli bir dizel motorda güç, özgül yakıt tüketimi, ısı verim, yağlama yağı sıcaklığı, egzoz gazı sıcaklığı ve emisyonlar bakımından incelenmiştir. Çalışmalar sonucunda biyodizelin parlama noktasının yüksek olması sebebiyle silindir içi sıcaklıkta artış olduğu ve

NO_x emisyonlarının arttığı, CO, SO₂ ve duman emisyonlarının azaldığı görülmüştür. Motor gücünde ise kayda değer bir değişiklik görülmemiştir [7].

Randazzo ve Sodre [8] tarafından yapılan çalışmada petrol dizeline, soya fasulyesinden üretilen biyodizel ve etanol farklı oranlarda karıştırılmış ve bu yakıt dört zamanlı dört silindirli, on altı supaplı, aşırı doldurmalı bir motorda denenmiştir. Dizel yakıt içerisindeki biyodizel oranı arttıkça CO₂ emisyonunun da arttığı fakat B20 yakıtta %2 ila %5 oranında etanol eklendiğinde azaldığı gözlenmiştir. B20 karışımı kullanıldığında daha düşük CO emisyonu oluşurken etanol eklenmesiyle CO emisyonu artmaktadır. Aynı durum HC emisyonları için de geçerlidir. NO_x emisyonları yakıt karışımındaki biyodizel oranı arttıkça artmakta, etanol eklendiğinde ise azalma göstermekte fakat yine de petrol dizeline nazaran daha çok NO_x salınımı olmaktadır [8].

Petrol dizeli, biyodizel ve karışımlarının kullanıldığı Roy tarafından yapılan çalışmada performans ve emisyon testleri yapılmış ve mukayese edilmiştir [9]. Motor 650 rpm, 750 rpm, 950 rpm, 1050 rpm ve 1200 rpm motor devrinde ve farklı yüklerde çalıştırılmıştır. B100 ve B20 kullanıldığında ortalama yakıt tüketiminin petrol dizeline nazaran yüksek olduğu görülmüştür. Düşük motor devri, düşük yükte ve yüksek motor devri, yüksek yükte biyodizel yakıt tüketimi ile petrol dizeli yakıt tüketimi arasındaki fark maksimum olarak gözlenmiştir. Motor devri ve yük orta değerlerdeyken biyodizelin ve B20'nin termal verimi petrol dizelinin termal verimine yakınsa, motor devri ve yükü üst sınırlara kadar arttırıldığında veya alt sınırlara kadar azaltıldığında aradaki fark artmaktadır. Sonuçlar emisyonlar açısından incelendiğinde tüm devir ve yüklerde PM ve CO emisyonlarında azalma NO_x emisyonlarında ise artış görülmüştür. Petrol dizeli ile kıyaslandığında PM emisyonları B20 kullanıldığında %20, B100 kullanıldığında %30 oranında, CO emisyonu ise B20 kullanımında %20, B100 kullanımında %50 azalmıştır. NO_x emisyonları ise B20 kullanıldığında %2, B100 kullanıldığında %10 artmıştır [9].

Özsezen ve Çanakçı [10] temin ettikleri atık palmiye yağını biyodizele çevirmiştir. Bu biyodizeli farklı oranlarda petrol dizeli ile karıştırarak, ön yanma odalı, 2

zamanlı, 4 silindirli bir dizel motorda yakmış ve performans, emisyon analizini yapmışlardır. Yakıt olarak petrol dizeli, B100, B50, B20 ve B5 kullanılarak yapılan testler sonucunda biyodizel ve karışımlarının kullanımı sonucu motor performansında azalma olduğu, karışımdaki biyodizel oranı arttıkça motor torkunda azalma, özgül yakıt tüketiminde ise artış olduğu görülmüştür. Roy [9] tarafından yapılan çalışmada da olduğu gibi karışımdaki biyodizel oranı artışına bağlı olarak CO ve HC emisyonları azalmış, NO_x emisyonları ise artmıştır [10].

Raheman ve Phadatare'nin karanja metil esterini ve petrol dizeli karışımlarını kullanarak yaptıkları çalışmada [11] emisyonlar açısından benzer sonuçlar elde edilmiştir. B100, B80, B60, B40 ve B20 kullanımında tüm yüklerde petrol dizeline nazaran daha düşük CO emisyonu oluşmuştur. İş emisyonlarında da aynı şekilde azalma gözlenmiştir. Roy'un [9] ve Özsezen ile Çanakçı'nın [10] yaptıkları çalışmaların aksine bu kez NO_x emisyonlarında da %26'lık bir azalma gözlenmiştir [11].

Büyükkaya tarafından yapılan çalışmada [12], kolza tohumu yağı ve petrol dizeli ile karışımları kullanılmıştır. %100, %70, %20, %5 kolza tohumu içeren karışım kullanımında, petrol dizeli kullanımına kıyasla güçte ve emisyonlarda azalma gözlenmiştir. Karışımdaki bitkisel yağ oranı arttıkça CO ve HC emisyonlarında azalma olmuştur. Egzoz gazlarının sıcaklığında ve NO_x emisyonlarında artış görülmüştür. Yakıt tüketimi diğer çalışmalarda [9, 10] da olduğu gibi artmış, motor torku ve güç, karışımdaki bitkisel yağ oranı arttıkça düşmüştür [12].

McCarthy ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [13] petrol dizeli ve iki farklı biyodizel ile karışımı kullanılmıştır. Bu iki farklı biyodizel, biyodizel A ve biyodizel B olarak adlandırılmıştır. Biyodizel A %80 oranında katı yağ (sığır, domuz ve koyun) ve %20 oranında kanola yağının metil esteridir. Biyodizel B ise %70 tavuk yağı ve %30 atık kızartma yağının metil esteridir. Emisyonlar açısından değerlendirildiğinde biyodizel A ve biyodizel B farklı sonuçlara sebep olmaktadır. Petrol dizeli – biyodizel A karışımındaki biyodizel A oranı arttıkça NO_x emisyonları azalırken, petrol dizeli – biyodizel B karışımındaki biyodizel B oranı arttıkça NO_x emisyonları artmıştır. Biyodizel A karışımı ve biyodizel B karışımının kullanılması

sonucu petrol dizeline kıyasla CO emisyonunda azalma gözlenmiştir fakat biyodizel A kullanımının CO emisyonunu biyodizel B kullanımına kıyasla daha fazla düşürdüğü görülmüştür. Biyodizel A kullanımı ile HC emisyonları açısından petrol dizeli kullanımına yakın değerler elde edilirken, biyodizel B kullanımı ile artışlar görülmüştür. Bu çalışmada da ortalama yakıt tüketiminin karışımdaki biyodizel oranı arttıkça arttığı görülmüştür [13].

Agarwal ve Agarwal tarafından yapılan çalışmada [14] jatropha yağına ön ısıtma uygulanarak ve ön ısıtma uygulamadan petrol dizeli ile karıştırılarak, motor performans ve egzoz emisyonları incelenmiştir. 7,35 kW gücündeki tek silindirli, dört zamanlı, su soğutmalı bu dizel motorun egzoz çıkışına bir ısı değiştirici bağlanmıştır. Yakıtın motora gitmeden önce bu ısı değiştiriciden geçmesi, ısıtılması ve daha sonra yakılması sağlanmıştır. Bu çalışmadaki temel amaç jatropha yağının viskozitesini, petrol dizelinin viskozitesine yaklaştırarak, dizel motorlarında kullanabilmektir. Jatropha yağının viskozitesini petrol dizeline yaklaştırmak için 90 °C ile 100 °C arasındaki sıcaklıklara ısıtmak gerekmektedir. Petrol dizeli için püskürtme basıncı 200 bar civarındadır. Ön ısıtmalı biyoyakıt kullanıldığında bu basınçta bir değişiklik yapılması gerekmediği anlaşılmıştır. Motor performansı ve egzoz emisyonları sabit devir, farklı yüklerde, petrol dizeli, ön ısıtılmış jatropha yağı, ısıtılmamış jatropha yağı ve jatropha yağı petrol dizeli karışımları ile incelenmiştir. Ön ısıtma uygulanmamış yakıt kullanıldığında egzoz gazı sıcaklığının yüksek olduğu ve dolayısıyla NO_x emisyonlarının ön ısıtmalı yakıt kullanımına ve petrol dizeli kullanımına nazaran yüksek olduğu gözlenmiştir. Ön ısıtma uygulanmamış jatropha yağında ısı verimliliğin düşük olduğu görülmüştür. Petrol dizeline ve ön ısıtmalı jatropha yağında CO, CO₂, HC ve duman emisyonları yakın değerlerde çıkarken, ön ısıtma uygulanmamış jatropha yağında daha yüksek çıkmıştır. Jatropha yağı ve petrol dizeli karışımında ise ısı verimliliği petrol dizeline yakındır. Emisyon parametrelerinin karışımdaki yağ oranı arttıkça arttığı görülmüştür. Jatropha yağının ön ısıtmalı olarak veya petrol dizeli ile karıştırılarak kullanılabileceği buna karşın emisyonların petrol dizeline nazaran yüksek olacağı görülmüştür [14].

Chauhan ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [14] da ön ısıtmalı jatropha yağının performans ve emisyonlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tek silindirli, hava soğutmalı bu motorda yakıtın sıcaklığı arttıkça viskozitenin azaldığı, motor performansının arttığı görülmüştür. Bitkisel yağ kullanıldığındaki ısı verimin, petrol dizeli kullanıldığı duruma göre düşük olduğu görülmüştür. Bitkisel yağ kullanımında NO_x emisyonlarında biraz azalma gözlenmiş olsa da ön ısıtma ile NO_x emisyonları artmıştır. Isıtılmamış bitkisel yağda CO, HC ve CO_2 emisyonları dizele nazaran daha yüksekken, ön ısıtma ile CO, HC emisyonlarında azalma gözlenmiştir. Sonuç olarak biyodizel yakıtın 100 °C’de enjektörlere gönderilmesi performans ve emisyonlar açısından optimum olsa da motor da yağ sızıntısına sebep olduğu görülmüştür. Bu sebeple 80 °C optimum sıcaklık olarak kabul edilmiştir [15].

Bitkisel yağlara ön ısıtmanın uygulandığı çalışmalardan birisi de Hazar ve Aydın’ın yaptıkları çalışmadır [16]. Bu çalışmada yakıt olarak ham kolza yağı, petrol dizeli, %50 kolza yağı %50 petrol dizeli karışımı ve %20 kolza yağı %80 petrol dizeli karışımı kullanılmıştır. Karışımlar için viskozitenin ve yoğunluğun optimum olduğu sıcaklığı 100 °C olarak tayin etmişler ve performans ve emisyon testlerini 100 °C’ye ısıtılmış yakıt karışımı ile yapmışlardır. Ön ısıtma uygulanmamış petrol dizeli ve karışımları motor torku açısından karşılaştırıldığında, en yüksek motor torku petrol dizeline ölçülmüş ve sonrasında ise %20 karışım ve %50 karışım gelmiştir. Üç yakıtta 100 °C’ye ısıtıldıklarında bu sıralama değişmemiş fakat her üç motor torkunda da ufak artışlar görülmüştür. Güç için yapılan testler neticesinde de motor torku sonuçlarına benzer iyileşmeler görülmüştür. Yakıt tüketimi açısından değerlendirildiğinde yakıt tüketimi %50 karışımında en fazla, petrol dizeline ise en az olarak ölçülmüştür. 100 °C’ye ısıtıldıklarında her üç yakıt için de yakıt tüketiminde azalma olmuş fakat sıralama değişmemiştir. Yakıtlara ön ısıtma uygulandığında NO_x emisyonlarında artış görülmüştür. En yüksek NO_x emisyonu ön ısıtma uygulanmış petrol dizeline görülürken, en düşük NO_x emisyonu ön ısıtma uygulanmamış %20’lik karışımında görülmüştür. Ön ısıtma uygulanarak atomizasyon kolaylaşmış CO emisyonunda azalma gözlenmiştir [16].

Deneylelerinde atık kızartma yağına ön ısıtma uygulayan Pugazhvadivu ve Jeyachandran motorun performans ve emisyon analizlerini yapmışlardır [17]. Tek silindirli dizel motor kullanarak yaptıkları deneyde atık kızartma yağını 135 °C'ye ısıttıklarında 30 °C'deki petrol dizelinin viskozitesine yakın değerler elde ettiklerini tespit etmiş ve atık kızartma yağını 135 °C ve 75 °C'ye ön ısıtmışlardır. Yakıt sıcaklığı 135 °C'ye çıktığında yakıt tüketiminde azalma, termik verimde ise artış gözlenmiştir. En yüksek NO_x emisyonu petrol dizeline göre, atık kızartma yağına ön ısıtma uygulandığında sıcaklık arttıkça NO_x emisyonu da artmasına rağmen 135 °C'ye ulaştığında bile petrol dizeline nazaran hayli az NO_x emisyonu görülmüştür. Ön ısıtma ile CO emisyonunda azalma olurken, is emisyonlarında kayda değer değişiklik olmamıştır [17].

Karabektaş ve ark. yaptıkları çalışmada [18] pamuk çekirdeği yağı metil esteri kullanmış ve bu metil esteri 30 °C, 60 °C, 90 °C ve 120 °C'ye ısıtarak performans ve egzoz emisyonları açısından incelemişlerdir. Dört farklı sıcaklıktaki metil esterinin yakılması sonucu açığa çıkan CO emisyonu, petrol dizelinin CO emisyonuna nazaran düşüktür. Farklı sıcaklıklara ısıtılmış metil esterinin CO emisyonu motor devrine göre değişiklik gösterse de 120 °C'ye ısıtılmış olan genelde daha düşük CO emisyonu oluşumuna sebep olmuştur. NO_x emisyonları petrol dizeline göre yüksek çıkmış ve motor devri arttıkça bu fark daha da artmıştır [18].

Çanakçı ve ark. ham ayçiçek yağını 75 °C'ye ısıtmış, yanma özellikleri ve emisyonları açısından petrol dizeli ile karşılatırmışlardır [19]. 75 °C'ye ısıtılmış ham ayçiçek yağı kullanıldığında petrol dizeline nazaran düşük bir motor torku elde edilirken yakıt tüketiminin arttığı görülmüştür. CO₂ emisyonu %2,05, is emisyonu %4,66, HC emisyonları %34 azalmış, CO emisyonu ise %1,77 artmıştır [19].

Literatür taraması sonucunda, yapılan çalışmaların çoğunda benzer sonuçlara ulaşıldığı görülmüştür. Biyodizel yakıt kullanımı ile CO ve HC emisyonlarında azalma, NO_x emisyonlarında ise artış olmuştur. Bu azalma ve artışlar kullanılan yakıtın cinsine, ortam şartlarına ve deney şartlarına göre değişiklik göstermiştir. Yakıtı ön ısıtma uygulandığında ise HC ve CO emisyonları bir miktar daha düşmüş,

NO_x emisyonları ise bir miktar daha artmıştır. Yakıtta ön ısıtma uygulanması ile performans değerlerinde ufak iyileşmeler olurken, yakıt tüketiminde azalma gözlenmiştir.

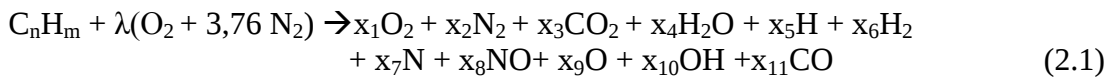
Bu çalışmada da biyoyakıt kullanarak kirletici emisyonları azaltmak ve performanstaki kayıpları en aza indirmek hedeflenmiştir. Çalışma iki kısımdan oluşmaktadır. İlk olarak dört zamanlı, hava soğutmalı, tek silindirli dizel motoruna herhangi bir müdahale edilmeden petrol dizeli, atık kızartma yağı metil ester ve karışımları kullanılarak performans ve emisyon testleri yapılmıştır. İkinci aşamada ise egzoz hattına bir ısı değiştiricisi takılmış ve bu ısı değiştiricisinde, mısır yağına ve petrol dizeli ile karışımlarına ön ısıtma uygulanarak farklı sıcaklık değerlerine ısıtılmış ve emisyon testleri tekrarlanmıştır. Bu sayede farklı oranlarda karıştırılmış yakıtların ve bu yakıtların farklı sıcaklıklara ısıtılmış hallerinin emisyon ve performans değerleri elde edilmiştir.

2. DİZEL MOTORLARINDA KİRLETİCİ EMİSYONLAR VE PETROL DİZELİNİN GENEL ÖZELLİKLERİ

2.1. Dizel Motorlarında Kirletici Emisyonlar

Dizel motorda yanma, havanın silindir içine alınması ve sıkıştırılarak yüksek basınç ve sıcaklığa ulaşmasından sonra enjeksiyon tipine göre yakıtın doğrudan yanma odasına veya ön yanma odasına püskürtülmesi sonucu yakıtın alev alması ve tutuşması şeklinde olmaktadır. Püskürtülen yakıt temel olarak hidrojen (H_2) ve karbondan (C) meydana gelmekte, silindir içinde bulunan oksijen (O_2) ile reaksiyona girerek yanma gerçekleşmektedir. Tam yanma olması durumunda reaksiyon sonrasında yakıt içerisindeki karbon (C), silindir içerisindeki oksijen (O_2) ile birleşerek karbondioksiti (CO_2), yine yakıt içerisindeki hidrojen (H_2) silindir içerisindeki oksijen (O_2) ile birleşerek su buharını (H_2O) oluşturmakta, silindir içerisine alınan havada bulunan azot (N_2) ise reaksiyona girmeden atmosfere atılmaktadır [20].

Teorik yanma denklemi aşağıdaki gibidir [20].



Dizel motorların günlük hayattaki kullanımları sırasında çalışma koşullarına bağlı olarak tam yanma gerçekleşmemekte ve kirletici emisyonlar oluşmaktadır. Dizel motorlarda karışım doğrudan doğruya silindir içerisinde olduğundan, hava yakıt karışımı tamamlanmadan yanma olayı başlar. Bu durum ise egzoz gazı içeriğinde yanmamış gazların bulunmasına neden olur. Yakıtın tamamen yanabilmesi için silindire teorik olarak gerekenden daha fazla hava gönderilir ve silindire gönderilen hava ile teorik hava miktarı arasındaki orana hava fazlalık katsayısı denir [21]. Silindire fazladan hava gönderilmesine rağmen kimi zaman oksijen yetersizliği, homojen bir karışım oluşmadan tutuşmanın gerçekleşmesi, silindir içerisi sıcaklığın düşük olması gibi sebeplerden dolayı Eş. 2.1’de verilen teorik yanma denklemi

sonucu açığa çıkması beklenen CO₂, N₂ ve H₂O yanında karbonmonoksit (CO), hidrokarbon (HC), partikül maddeler (PM), kükürtoksitler (SO_x) gibi kirletici emisyonlar oluşmaktadır. Bu emisyonlar çevreye zarar verdiği gibi insan sağlığı açısından da zararlıdır. Araç sayısındaki artışa bağlı, emisyon artışının önüne geçmek için Avrupa’da emisyonlara standartlar getirilmiştir. Bu standartlar binek otomobiller, ağır ticari taşıtlar ve hafif ticari taşıtlar için farklılık göstermektedir. Euro emisyon standartlarını sadece karbonmonoksit (CO) emisyonları açısından değerlendirecek olsak bile Euro 1 standardı üst limitindeki bir aracın çevreye yaydığı CO miktarı ile Euro 6 standardı üst limitindeki 6 aracın çevreye yaydığı CO miktarı hemen hemen eşittir. Euro emisyon standartları yıllara göre aşağıda gösterilmiştir [22].

Çizelge 2.1. Binek otomobiller için Euro emisyon limitleri [22]

	Tarih	CO (g/km)	HC+NO _x (g/km)	NO _x (g/km)	PM (g/kg)
Euro 1	07/1992	3,16	1,13	-	0,18
Euro 2	01/1996	1,00	0,9	-	0,1
Euro 3	01/2000	0,64	0,56	0,50	0,05
Euro 4	01/2005	0,50	0,30	0,25	0,025
Euro 5	09/2009	0,50	0,23	0,18	0,005
Euro 6	09/2014	0,50	0,17	0,08	0,005

2.1.1. Karbonmonoksit (CO)

Kokusuz, renksiz ve zararlı bir gaz olan karbonmonoksit (CO), kandaki oksijeni taşımakla görevli olan hemoglobine nazaran 200 kat daha fazla oksijen bağlayarak, kandaki oksijen miktarının düşmesine ve zehirlenmelere sebep olmaktadır [23].

Petrol dizelinin kimyasal formülü C₁₃H₂₈ şeklindedir. Petrol dizeli yanma esnasında havadaki oksijen ile reaksiyona girer ve bazı ürünler oluşur. Tam yanma olması durumunda karbon ile oksijen birleşerek karbondioksiti oluştururlar. Silindir içerisinde O₂’nin yetersiz olması veya karışımın homojen olmaması sebebiyle CO

emisyonu oluşmaktadır. Zengin yakıt karışımları için egzozdaki CO konsantrasyonu artan eşdeğerlik oranıyla artar çünkü giren yakıt miktarı artmaktadır [24].

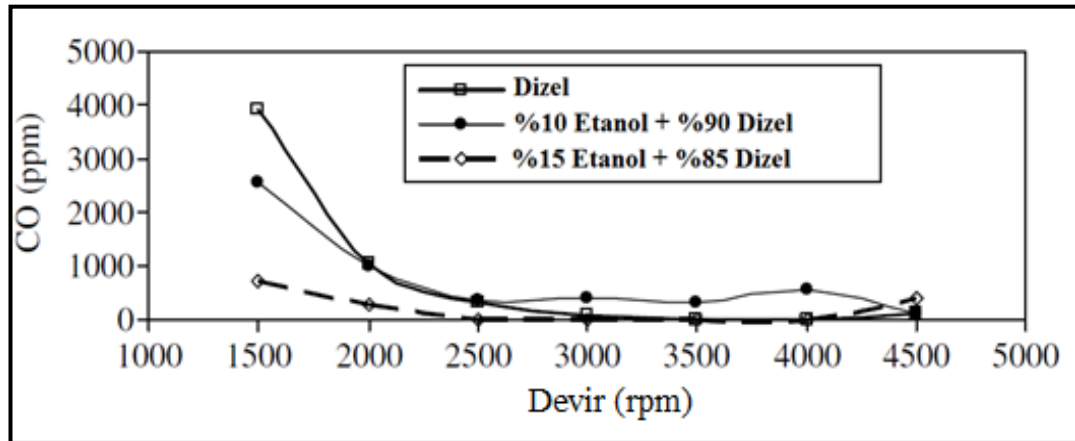
Yakıtın yanması sırasında CO oluşumu birkaç reaksiyon basamağında meydana gelir ve bu reaksiyonlar aşağıdaki şekildedir [25].



Burada R hidrokarbon kökünü göstermektedir. Yanma esnasında oluşan CO oksitlenerek CO₂'e dönüşmektedir [25].



Yanma biterken CO'lerin CO₂'e dönüşümünü sağlayacak yeniden birleşme reaksiyonları oluşur fakat bu reaksiyonlar oksitleyici eksikliği, silindir içi sıcaklığın düşük olması gibi sebeplerden dolayı kimi zaman gerçekleşmemektedir ve CO'ler, CO₂'e dönüşmemektedir. CO emisyonunun azalması için ortam şartları uygun olmalı ve yanma odasında yeterli miktarda O₂ bulunmalıdır.



Şekil 2.1. Motor devrinin CO emisyonuna etkisi [27]

CO emisyonu devir sayısı ile ters orantılıdır. Devir sayısı arttıkça gaz sıcaklığı artmakta, CO'lerin CO₂'e dönüşmesi kolaylaşmaktadır [26]. Rölanti devrinde ve

düşük devirlerde tam yanma gerçekleşmediği için CO emisyonunda artış olmaktadır. Yakıt olarak petrol dizeli ve etanol katkılı petrol dizeli kullanılan bir çalışmada CO emisyonunun devir sayısına göre değişimi Şekil 2.1’de gösterilmiştir [27].

2.1.2. Hidrokarbonlar (HC)

HC emisyonları yakıtın tam yanmaması ve yakıtın dolum esnasında veya doğrudan depodan buharlaşması neticesinde ortaya çıkan, kötü kokulu, solunum yollarındaki mukozayı tahriş eden, NO_x ve güneş ışığı etkisiyle ozon meydana getiren, bileşimine bağlı olarak uyuşturucu etkisi de olan son derece zararlı bir emisyondur. Yanma reaksiyonunun çok hızlı olması veya yanma odasında yeterli miktarda O_2 bulunmaması sonucunda yanmamış HC’lar atmosfere karışır. Kısmi oksidasyonu sonucu oluşan aldehit kanserojen etkiye sahiptir. NO_x ’ler ve güneş ışığının etkisiyle meydana getirdiği ozon solunum sistemine zarar vermekte, gözlerin yanmasına ve sulanmasına sebep olmaktadır. Bitkilerin büyümesini doğrudan olumsuz etkileyen tek organik gaz kirleticidir [24, 28].

Hidrokarbonlar, çok çeşitli organik kimyasal maddeler içerse de atmosferdeki değerleri aşırı derecede artmadığı sürece toksik etkiye sahip değildir. Fakat havadaki diğer kirleticilerin birbirleri ile reaksiyona girmesine sebep olmaları nedeniyle kirletici olarak önem kazanmaktadırlar. Motorlu araçların yoğun olduğu bölgelerde HC miktarları ciddi oranda artmaktadır [29].

HC emisyonlarının oluşmasının temel nedeni sıcaklık veya O_2 ’nin yetersiz olması sonucu yanmanın tam olarak gerçekleşmemesidir. Yük arttıkça, silindir içerisindeki sıcaklık artışına bağlı olarak HC emisyonları düşmektedir. Düşük yüklerde ise yanma reaksiyonundaki yavaşlamaya bağlı olarak silindir içerisi sıcaklık düşmekte ve HC emisyonları artmaktadır. Silindir içerisine fazladan O_2 gönderildiğinde ise O_2 yakıt ile daha hızlı reaksiyona girerek yanma reaksiyonunu hızlandırmakta ve HC emisyonlarının azalmasını sağlamaktadır [30].

Yanmamış HC'lar yanma odası içerisindeki aralıklar veya boşluk bölgelerinden, sıvı yakıt ve egzoz supap sızıntılarından kaynaklanmaktadır. Benzinli motorlarda HC emisyonlarının birbirini takip eden iki aşamada meydana geldiği düşünülür ve dizel motorları için de benzer durumlar söz konusudur. Bunlardan birincisi alevin silindir içindeki yayılması esnasında silindire sevk edilen yakıtın bir kısmının yanmasını engelleyen oluşumlardır. Bu oluşumlar toplamda altı maddedir [31]. Bu maddeler;

1. Buharlaştan yakıt-hava karışımının yanma odasındaki boşluk hacimleri içerisine emilmemesi,
2. Yakıt bileşenlerinin silindir cidarı üzerindeki yağ filmi içine emilmesi,
3. HC'ların silindir kafası ve piston tablası üzerinde bulunan birikintiler tarafından emilmesi,
4. Alev cephesinin silindir cidarına varmadan sönmesi,
5. Yeterli hava ile karışamayan ve buharlaşamayan silindir içerisindeki sıvı yakıtın kısmi yanması,
6. Yanmamış olan karışımın kapalı olan egzoz supabından kaçmasıdır.

İkinci aşama ise yanma işlemi sonrası, yakıtın silindir içerisinde yanmadan kalması, genişleme ve egzoz stroklarında kendisini muhafaza edebilmesi ve egzoz manifolduna ulaşmasını kapsar. İkinci aşama da toplamda altı maddedir [31]. Bu maddeler;

1. Boşluk hacimleri içindeki yanmamış yakıt-hava karışımının dışarıya doğru akışı, yanmış gazlar ile karışması ve bir kısmının oksitlenmesi,
2. Yağ filminden ve birikintilerden yanmış gazların içine doğru HC buharının difüzyonu ve bu hidrokarbonun oksitlenmesi,
3. Gerek cidar bölgesinde gerekse silindir merkezinde sönmüş gazların daha sonra yanmış gazlarla karışarak bir kısmının oksitlenmesi,
4. Egzoz stroku başlangıcında silindir içerisindeki yanmamış HC'ların bir kısmının egzoz içine taşınması,
5. Egzoz stroku sırasında gazların piston tarafından yer değiştirmesiyle yanmamış HC oranına ilave HC'ların da katılarak egzoz içine taşınması,

6. Silindiri terk eden yanmamış HC'ların sıcak egzoz gazları ile karışması ve bu HC'ların bir kısmının egzoz port ve manifoldunda okside olmasıdır.

2.1.3. Azotoksitler (NO_x)

Yanma için yakıt ve hava gereklidir ve hava içerisinde %79 oranında azot bulunmaktadır. Silindir içerisine yanma için gerekli olan hava alındıktan sonra yanma işlemi gerçekleşirken azotun parçalanması ve oksidasyonu sonucunda NO_x'ler oluşur. NO, NO₂, N₂O₂ ve benzeri bileşiklerin tümü NO_x olarak tanımlanmaktadır. NO_x'ler kandaki hemoglobin ile birleşmekte ve akciğerlerde bulunan nemle reaksiyona girip nitrik asidi oluşturmaktadırlar. Oluşan asit miktarı başlarda az miktarda olduğundan etkisi görülme de zamanla birikerek solunum yolu rahatsızlıkları bulunan kişiler için ciddi tehlikeler oluşturmaktadır [23]. Ayrıca NO_x'ler aerosol ve fotokimyasal duman oluşumu ile ozon tabakasının tahribine yol açmaktadır [32]. NO_x'ler içinden NO, kokusuz, akciğerlerin çalışmasını bozan, mukoza zarını tahriş eden ve felce sebep olabilen bir gazken, NO₂ keskin kokulu, kahverengi tonlu, düşük yoğunluklarda bile akciğeri tahriş eden, dokulara ve mukoza zarına zarar veren bir gazdır [28].

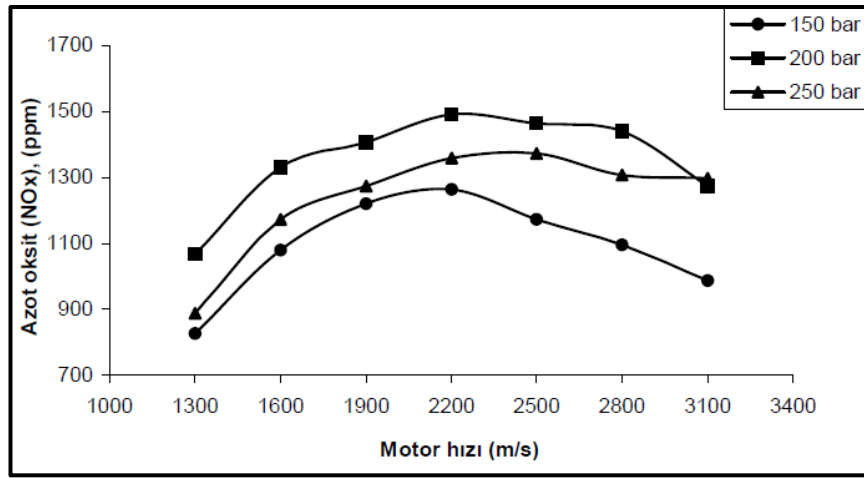
NO_x emisyonlarının %90 - %95'e yakını yakma sistemlerinden kaynaklanmaktadır. Daha çok NO ve NO₂ olarak gerçekleştiği ve bunlardan NO'nin daha fazla meydana geldiği bilinmektedir. Denge reaksiyonlarının ters yönde ilerlemesi sonucu NO'den N ve O₂ elde etmek de mümkündür fakat NO oluşum hızı daha yüksek olduğundan, NO miktarındaki azalma önemsiz sayılmaktadır [33-35].

Yanma sistemlerinde NO_x oluşumu konusunda birçok mekanizma olsa da kabul edilen yaygın model Zeldowich mekanizmasıdır [36].





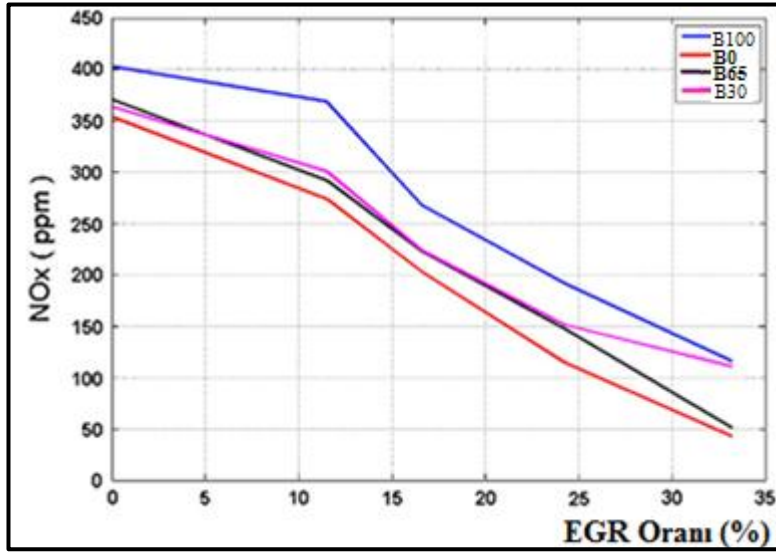
NO_x emisyonlarının oluşumu silindir içerisindeki sıcaklıkla ilişkilidir ve sıcaklık 1500 °C civarlarındayken NO_x oluşum maksimum seviyelerdedir. Yüksek sıcaklıklarda motor daha verimli çalışmakta dolayısıyla is emisyonları azalmakta fakat NO_x emisyonları artmaktadır [37].



Şekil 2.2. Tam gaz, değişik motor hızı ve enjeksiyon basınçlarında NO_x emisyonlarının değişimi [38]

NO_x emisyonları silindir içi sıcaklıkla doğrudan bağlantılı olduğundan ve motor devrindeki değişime bağlı olarak silindir içerisindeki sıcaklık da değiştiğinden, motor devri NO_x emisyonlarını etkilemektedir ve bu etki Şekil 2.2’de gösterilmiştir [38].

Dizel motorlarda NO_x emisyonlarını azaltmak için birçok yönteme başvurulmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları, sıkıştırma oranının arttırılması, püskürtme avansının azaltılması, egzoz gazı geri dönüşümü (EGR), silindirlere su püskürtülmesi ve katalitik dönüştürücü kullanılmasıdır. EGR oranının ve biyodizel - petrol dizeli karışım oranının NO_x emisyonlarına etkisi Şekil 2.3’te görülmektedir [39].

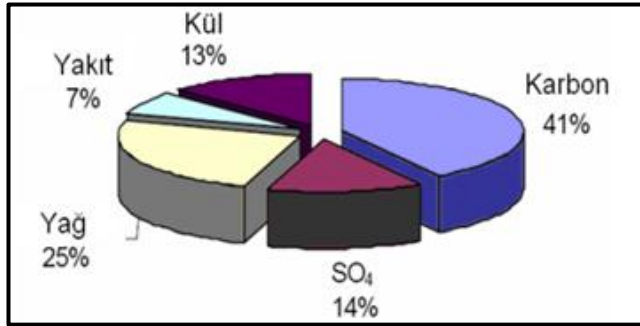


Şekil 2.3. NO_x emisyonlarının, biyodizel-petrol dizeli karışım oranına ve farklı EGR oranlarına göre değişimi [39]

2.1.4. Partikül maddeler (PM)

Partikül maddeler, katı parçacıklar, duman veya is olarak da adlandırılır. Havadaki partikül maddeler katı ve sıvı damlaların karışımından oluşmaktadır. Bazı partiküller yanma ürünü olarak oluşurken bazıları ise atmosferde oluşur. Dizel motorların sebep olduğu partikül maddeler, soğuk havalarda su buharı şeklinde görülen beyaz duman, tam yanmamış yakıt veya motorda yağ zerreciklerinin oluşturduğu mavi duman, karbon parçacıklarının siyah dumanı olan is, yağlama yağı, yanmayan maddeler, yakıt içerisindeki katılardan gelen parçacıklardır. Sağlık açısından 10 μ m'den küçük olan partiküller daha büyük risk teşkil etmektedir. 10 μ m'den küçük partiküller solunum sistemine girip, akciğere kadar ulaşarak sağlığı tehdit etmektedir. Partikül maddelerin çapları küçüldükçe çevre ve sağlık açısından tehlikeleri artar [40].

Dizel egzoz partikülleri, toplanmış katı karbonlu malzeme, kül, uçucu organik ve kükürt bileşiklerinden oluşmaktadır [41]. Oksijenin yetersiz olduğu yanma bölgelerinde uzun zincirli HC moleküllerinin termal olarak kırılması sonucunda partikül ve is emisyonları oluşmaktadır [42]. Ağır hizmet tipi dizel motorundan kaynaklanan partikül madde içeriği aşağıdaki gibidir [43].



Şekil 2.4. Dizel partikül madde kompozisyonu [43]

Partikül madde emisyonları diğer yanma odası koşullarına da bağlıdır. Motorda kullanılan enjektör cinsi ve basıncı da PM emisyonlarını doğrudan etkilemektedir. Enjektör basıncındaki artışa bağlı olarak PM emisyonları azalmaktadır [44].

Yanıcı partiküller uygun yakıt hazırlama ve yanma odasında uygun yanma koşulları oluşturulması ile düşürülebilir. Yakma sistemlerinde, toz emisyonlarının kontrolü ile ilgili teknolojiler gelişmiş ve yüksek bir standarda ulaşmıştır [34]. Dizel partikül filtreleri partikül maddelerin azaltılmasında teknik olarak en uygun çözümlerden biridir. Partikül filtreleri egzoz gazlarının sistem boyunca geçişine izin verirken katı ve sıvı partikül madde emisyonlarını biriktirmektedir. Partikül filtreleri, dizel motor egzozundaki partikül maddeleri tutabilen gözenekli metal veya seramik filtreden oluşmaktadır. Filtrenin düşük bir basınç azalmasına sebep olması ve yüksek is tutma kapasitesine sahip olması istenir. Difüzyonal çöküntü, eylemsiz çöküntü veya akışı engelleme gibi derin yatak filtreleme mekanizmaları ve yüzey mekanizmalarının kombinasyonu ile partikül madde emisyonlarını tutar. Biriken partiküller sürekli veya periyodik termal rejenerasyon aracılığıyla filtreden uzaklaştırılır [45].

2.2. Petrol Dizelinin Genel Özellikleri

Ham petrolün rafine edilmesiyle ortaya çıkan ürünlerden biri de petrol dizelidir. Ham petrol ısıtılarak damıtma kulelerinde ayrıştırılır ve 350 °C sıcaklıklara kadar ısıtılır. Isıtma sırasında önce buharlaşma sıcaklığı düşük olan bileşenler, sonrasında ise buharlaşma sıcaklığı yüksek olan bileşenler buharlaşır. Buharlaşma sıcaklığı düşük

olanlar kulinin üst kısmından, buharlaşma sıcaklığı yüksek olanlar ise kulinin alt kısmından toplanır ve tekrar yoğunlaştırılırlar. Petrol dizelinin kaynama noktası 300 °C civarlarındadır ve ham petrolün bu sıcaklık civarlarında damıtılması sonucu petrol dizeli elde edilir [46].

Petrol dizeli 1892 yılında Diesel tarafından bulunan dizel motorun ana yakıtıdır. Dizel motorları, havanın silindir içerisine alınıp sıkıştırılarak yüksek basınç ve sıcaklığa ulaşmasından sonra içine püskürtülen yakıtın alev alması ve yanması prensibine dayanarak çalışan motorlar olduğundan, dizel motorun ana yakıtı olan petrol dizelinin bazı özelliklere sahip olması istenir. Bu özelliklerden önemli olanları, setan sayısı, viskozite, ısıl değer, parlama noktası, alevlenme noktası ve yoğunluktur.

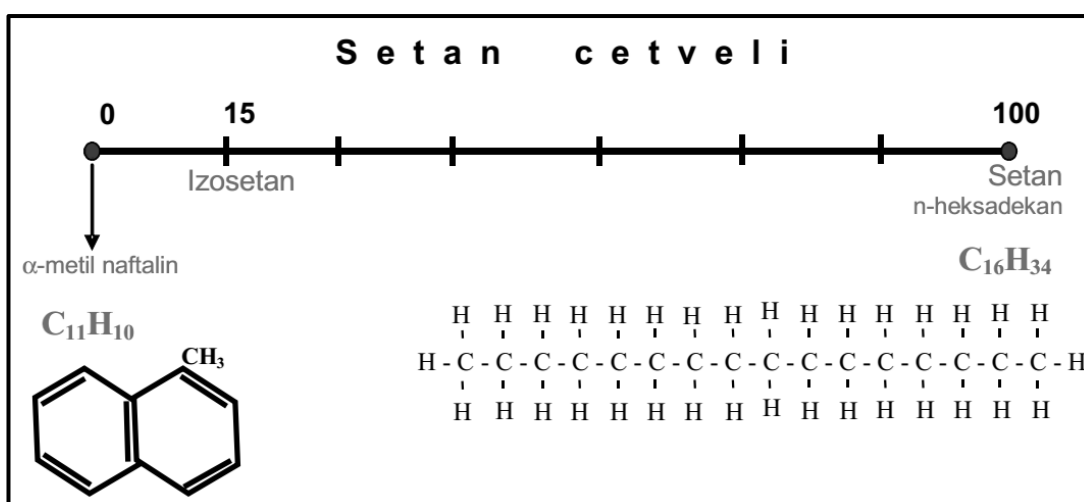
Çizelge 2.2. Petrol dizelinin özellikleri [47]

Özellik	Birim	Euro Dizel
Yoğunluk (15°C)	kg/m ³	836
Yoğunluk (20°C)	kg/m ³	832
Setan sayısı	-	54
Toplam sülfür	mg/kg	7
Parlama noktası	°C	85
Kinematik viskozite (40°C)	mm ² /s	2,95
Bulutlanma noktası	°C	-14
C miktarı	%	86,5
H miktarı	%	13,5
Alt ısıl değeri	Mj/kg	43,1

2.2.1. Setan sayısı

Setan sayısı dizel yakıtın tutuşma kalitesini ifade eder ve setan sayısı arttıkça yakıtın tutuşması kolaylaşmakta ve tutuşma kalitesi artmaktadır. Yakıtın setan sayısı, yanma karakteristiğini, motor performansını ve egzoz emisyonlarını etkiler. Setan sayısına bağlı olarak tutuşma gecikmesi de değişmektedir. Benzinli motorlarda yakıtın kendi kendine tutuşması anormal bir yanmaya sebep olacağından istenmez, vurutuya karşı mukavemetin yüksek olması istenir ve bu oktanla ifade edilir. Fakat dizel vurutusuna karşı mukavemet, setan sayısı ile ifade edilir ve yüksek olması istenir.

Setan sayısı yakıtların tutuşma kalitelerinin kıyaslanabilmesini sağlamak için ortaya çıkmış bir kavramdır. Aynı amaçla bir setan cetveli hazırlanmış, tutuşma kalitesinin en iyi olduğu bilinen n-heksadekan en sona yerleştirilmiş ve setan sayısına 100 denilmiş, en başa ise yanma kalitesinin kötü olduğu bilinen α -metil naftalin yerleştirilmiş ve setan sayısına 0 denilmiştir [48]. Setan cetveli Şekil 2.5’de görülmektedir.



Şekil 2.5. Setan cetveli [48]

Setan sayısını belirlemek pahalı ve zor bir yöntem olduğundan setan indisi de kullanılmaktadır. Setan indisi denklemleri yakıtın tutuşma kalitesini, sahip olduğu fiziksel özellikler cinsinden ifade etmektedir. En çok kullanılan denklem ASTM D976 numaralı standartla ifade edilen denklemdir ve aşağıda görülmektedir [48].

$$\text{Si}=454,74-1,641416.p+0,00077474.p^2-0,554.t_{50}+97,803.\log^2(t_{50}) \quad (2.7)$$

Bu formülde ρ yakıtın 15 °C'deki yoğunluğunun kg/m^3 cinsinden, t_{50} ise yakıtın hacimsel olarak %50'sinin buharlaştığı andaki sıcaklığının °C cinsinden ifadesidir.

Düşük setan sayılı yakıt kullanıldığında motorun ilk hareketi için daha yüksek sıcaklık gerekeceğinden ve motor normal çalışma şartlarına ulaşıncaya dek tutuşma aksaklıkları olacağından, dizel motorlarda setan sayısı en az 40 olan yakıtların

kullanılması uygun görülmüştür. Yüksek setan sayısına sahip yakıt kullanıldığında tutuşma kalitesi artacağından motor daha düşük sıkıştırma oranlarında çalışabilecektir ve bu sayede daha yumuşak ve sessiz bir çalışma sağlanacaktır. Setan sayısını arttırmak için rafineri esnasında bazı katkı maddeleri kullanılmaktadır. Katkı maddesi uygun oranlarda kullanıldığında, setan sayısında motorun çalışmasını olumlu yönde etkileyecek artışlar olurken, katkı maddesi yüksek oranlarda kullanıldığında yakıtın özelliklerine zarar verebilmektedir. Setan sayısı çok yüksek yakıtlar kullanıldığında ise tutuşma gecikmesi gereğinden fazla kısalacak ve yakıt silindir içerisinde dağılmadan tutuşma olacağından, is oluşacağı gibi enjektörler üzerinde karbon birikintisine de sebep olacaktır [48].

2.2.2. Viskozite

Viskozite sıvıların ve gazların akmaya karşı gösterdikleri dirençtir. İdeal akışkanlar hariç tüm akışkanlar akmaya karşı direnç gösterirler. Viskozite basınçtan bağımsızken sıcaklıkla doğrudan değişmektedir. Sıcaklıktaki artış viskozitenin düşmesine sebep olmaktadır. Viskozite yakıtlar için büyük önem taşımaktadır.

Yakıtların viskozitesi yakıt besleme ve püskürtme sistemlerini doğrudan etkilemektedir. Viskozite azaldıkça akmaya karşı gösterilen direnç azalacak, daha iyi bir atomizasyon sonucu daha verimli ve kaliteli bir yanma olacaktır. Bu sayede emisyonlar da azalacaktır.

Soğuk havalarda dizel yakıt kalınlaşmakta yani viskozitesi artmakta buna bağlı olarak da yanma bozulmakta ve emisyonlar artmakta, aynı zamanda enjektörlerde de tıkanmalar olabilmektedir.

Yakıtın düzgün bir şekilde püskürtülmesi, atomizasyonun iyi olması, yanmanın verimli olması ve emisyonların düşük olması için viskozitenin düşük olması istenirken, iyi bir yağlama ve yakıt püskürtmesinin güçlü olması için de viskozitenin yüksek olması istenir. Yakıtın viskozitesi düşük olduğunda sıkıştırma zamanında yakıt silindir çevrelerinden sızacak ve güç kaybı olacaktır. Yakıtın viskozitesi yüksek

olduğunda ise enjektörler yanma odasına yeterli miktarda yakıt püskürtemeyecek ve sonuç olarak yine güç kaybı olacaktır [49].

2.2.3. Isıl değer

Bir yakıtın ısı değeri veya yanma ısısı, yakıtın birim kütlesinin tamamen yanması halinde açığa çıkan ısı miktarı olarak bilinir. Diğer bir ifade ile yakıtın sahip olduğu enerjidir. Üst ısı değeri ve alt ısı değeri olmak üzere iki çeşit ısı değeri vardır. Üst ısı değeri yanma reaksiyonu sonucu oluşan suyun sıvı fazında olması durumunda açığa çıkan enerjiyi tanımlamaktadır. Alt ısı değeri ise yanma reaksiyonu sonucu oluşan suyun buhar fazında olması durumunda açığa çıkan ısı enerjisi olarak tanımlanır ve motorlarda yanma sonu sıcaklıklarında su her zaman buhar olduğu için alt ısı değeri kullanılır. Düşük enerjili yani ısı değeri düşük olan bir yakıt yandığı zaman daha az ısı ve daha az güç elde edilir. Dizel yakıtın alt ısı değeri 42902 kJ/kg civarındadır [50].

Alt ısı değeri düşük bir yakıt kullanıldığında, mil gücünde ve motor torkunda düşük değerler elde edilmektedir. Düşük alt ısı değere sahip yakıtlarda aynı gücü alabilmek için pompadan daha fazla yakıt gönderilmesi gerekmekte ve bunun sonucunda yakıt tüketimi ve özgül yakıt tüketiminde artışlar olmaktadır [51].

Isıl değer, emisyonları da doğrudan etkilemektedir. Isıl değerdeki azalmaya bağlı olarak motorda gerçekleşen yanma değişmekte, açığa çıkan ısı azalmakta ve dolayısıyla egzoz gazı sıcaklıkları da düşmektedir [52]. Sıcaklıktaki bu değişim emisyonları etkilemektedir.

2.2.4. Parlama ve yanma noktası

Parlayıcı maddeler yapıları sebebiyle kolaylıkla alev alabilmektedirler. Yakıtın anlık olarak parladığı fakat sonrasında söndüğü sıcaklığa parlama sıcaklığı, yakıtın parlamasından sonra yanma reaksiyonlarına devam ettiği minimum sıcaklığa ise yanma noktası denir. Parlama noktası ve yanma noktası birbirleriyle ilişki

sıcaklıklardır ve parlama sıcaklıkları yüksek olan yakıtların, yanma sıcaklıkları da yüksektir.

Yakıtların parlama noktası yani anlık yanmanın gerçekleştiği sıcaklık güvenlik açısından büyük önem taşımaktadır. Yakıtların güvenle taşınıp, depolanabilmeleri için parlama noktası önemlidir ve çok düşük parlama noktasına sahip olmamaları istenir. Parlama noktasının güvenlik açısından yüksek olması istenmesine rağmen, çok yüksek olduğunda da tutuşma yönünden olumsuzluklar ortaya çıkmaktadır [4]. En çok kullanılan dizel yakıtı olan petrol dizelinin parlama noktası TS 3080 EN 590 petrol dizeli standartlarına göre 55 °C'den yüksek olmak zorundadır.

2.2.5. Yoğunluk

Yakıtın birim hacminin kütlesine, yakıtın yoğunluğu denir. Yoğunluk, yakıtların birbirinden ayrılmasını kolaylaştıran bir özelliktir. 15,6 °C'deki yakıtın yoğunluğunun, yine 15,6 °C'deki suyun yoğunluğuna oranına da özgül ağırlık denir. Yoğunluk sıcaklıkla ters orantılı olan ve sıcaklıktaki artışa bağlı olarak azalan bir özelliktir. Bu sebeple yoğunluğu düşürülmek istenilen yakıtlara, ön ısıtma uygulanarak sıcaklığının artması ve yoğunluğunun düşmesi sağlanmaktadır.

Yüksek yoğunluktaki bir yakıt kullanıldığında birim hacimde silindire giden yakıt daha fazla olacağından daha fazla karbon içerecek ve daha yüksek ısı enerjisiye sahip olacaktır. Fakat kısa püskürtme süresinde yoğunluğun yüksek olmasından dolayı hacimsel olarak daha az yakıt püskürtülebilmekte ve daha yüksek motor torku ve güç elde edilememektedir [52]. Hatta yakıtın yoğunluğunun yüksek olması, atomizasyonu zorlaştırmakta ve buna bağlı olarak motor motor torku ve güçte azalma görülmektedir [53]. Yoğunluk yakıtın enjeksiyondan püskürtülmesini ve yanmasını doğrudan etkilemektedir [54]. Yoğunluğun azalmasına bağlı olarak tutuşma kolaylaşmakta ve yanma iyileşmektedir.

3. DİZEL MOTOR YAKITI OLARAK BİYOYAKIT

Fosil kökenli yakıtların yani petrolün bir gün biteceği bir gerçektir ve bugün gittikçe yaklaşmaktadır. Dünyada nüfusun artması ve otomotiv sanayinin hızla gelişiyor olması fosil kökenli yakıtlara olan bağımlılığı arttırmaktadır. Yakıtını kendi üreten ülkelerin rezervleri her geçen gün hızla tükenmekte, yakıtını dışarıdan alan ülkelerin ise ithal petrole olan bağımlılıkları her geçen gün artmaktadır. Rezervlerin tükenmesine bağlı olarak petrol fiyatları da hızla artmaktadır.

Taşıt sayısındaki artışın ve yüksek petrol tüketiminin ortaya çıkardığı tek problem rezervlerin tükeniyor olması değildir. Petrol tüketimindeki artışla birlikte, kirletici emisyonlar da artmakta ve doğa hızla kirlenmektedir.

Tüm bu sebeplerden dolayı alternatif yakıtlar aranmaktadır ve alternatif yakıtlar içerisinde biyoyakıtlar iyi bir alternatif olarak görülmektedir. Emisyonları açısından çevreye zararının petrol dizeline nazaran daha az olması, dizel motorlarda doğrudan kullanılabilir olması, birçok ülkede özellikle de tarımsal üretimin yüksek olduğu ülkelerde kolaylıkla üretiliyor olması ve maliyetinin düşük olması, yenilenebilir bir kaynak olması, parlama noktasının yüksek olması sebebiyle taşınmasının ve depolanmasının güvenli olması biyoyakıtların en büyük artılarındanır.

Biyoyakıt kullanımı kirletici emisyonları açısından ele alındığında, egzoz emisyonlarını genel anlamda azaltırken, NO_x ve CO₂ emisyonlarını arttırabildiği gözlenmiştir [42]. Biyoyakıtın özellikleri kullanılan yağa ve üretimde kullanılan alkol tipine göre değişiklik gösterebilmektedir. Kullanılan yağın ve alkolün cinsi farklı tutuşma, yanma ve emisyon değerlerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Genel olarak biyoyakıtın oksijen içeriği ilave oksijen sağlayarak, HC, CO ve is emisyonlarında önemli azalmalar sağlamaktadır [42].

Hızla gelişmekte olan ve tarım açısından fazlasıyla uygun ekolojik koşullara sahip olan Türkiye için biyoyakıtlar iyi bir alternatiftir. Ayçiçek yağı, zeytinyağı, mısır yağı, yerfıstığı yağı, soya yağı, susam yağı, kolza yağı, aspir yağı, haşhaş yağı,

kenevir tohumu ve pamuk tohumu yağı Türkiye’de üretilen bitkisel yağlardan bazılarıdır [55, 56]. Ülkemizde yaklaşık 750 000 hektar alanda pamuk tarımı yapılmakta ve yılda 850 000 ton lif pamuk üretilmekte, sulama olanaklarının artmasıyla birlikte pamuk alanları sürekli olarak genişlemektedir [57]. Bu sebeple pamuk tohumu yağının ve diğer bitkisel yağların yakıt olarak kullanılması ülke ekonomisi açısından büyük öneme sahiptir.

Biyoyakıtın tüm bu avantaj ve faydalarının yanında bazı olumsuz yönleri de vardır. Bu olumsuz yönlerin de en önemlisi yüksek viskozitesi ve atık yağlar yerine gıda sanayinde de kullanılan bitkisel yağların kullanılmasının, bitkisel yağların fiyatlarını arttırabilecek olmasıdır. Biyoyakıtların viskozitesinin fosil kökenli yakıtlara göre yüksek olması yanma sürecinde bazı problemlere yol açmaktadır. Yüksek viskozite sebebiyle yakıtın püskürtülmesi zorlaşmakta, atomizasyonu bozulmakta ve sonuç olarak yanma kötüleşmekte, enjektörlerde ve yakıt filtrelerinde tıkanmalar meydana gelmekte, segmanlarda ve yanma odasında karbon birikintileri oluşmakta ve bu durum ilk hareketi zorlaştırmaktadır [58]. Taşıma ve depolanma esnasında fayda sağlayan yüksek parlama noktası, yanma esnasında olumsuz sonuçlara sebep olmaktadır [4].

Bu dezavantajları ortadan kaldırmak için biyoyakıtlara farklı oranlarda farklı katkıları eklenmekte, yine farklı oranlarda petrol dizeli ile karıştırılmakta, biyoyakıt enjektörlere gitmeden önce egzozdan çıkan atık gazla veya elektrikli bir ısıtıcı ile ısıtılmaktadır. Tüm bu işlemler sonucunda bazı değerlerde iyileşmeler olurken bazı değerlerde kötüleşmeler gözlenmektedir. Bu yüzden optimum değerleri ve oranları tespit etmek önemlidir.

3.1. Biyoyakıt Hava Kirletici Emisyonları

Biyoyakıtın alternatif yakıt olarak tercih edilmesinin en büyük nedenlerinden biri egzoz emisyonları üzerindeki olumlu etkisidir. Biyoyakıt kullanımı genel anlamda CO, HC, PM ve SO_x emisyonlarında azalmaya, CO₂ ve NO_x emisyonlarında ise artışlara sebep olmaktadır. Bazı çalışmalarda biyoyakıt kullanımıyla diğer

emisyondarda da azalma yerine artışların gözlemlendiği olmuş ve ön ısıtma uygulanarak bu artışlar ortadan kaldırılmıştır [14].

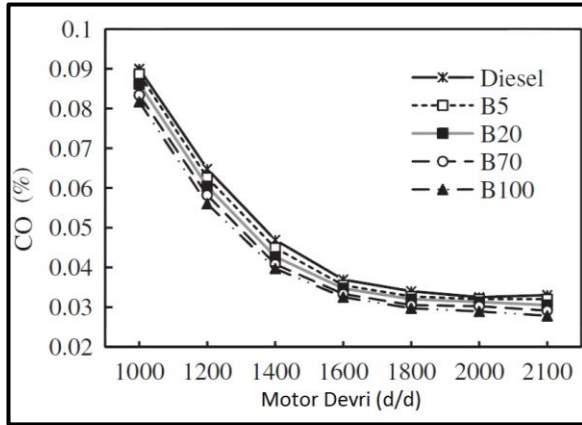
Bitkisel yağlardan üretiliyor olmaları sebebiyle içeriklerinde çok az miktarda kükürt (S) bulundurmaktadırlar. Dolayısıyla yanmaları sonucu ortaya çıkan SO₂ emisyonu, petrol dizelinin yanması sonucu ortaya çıkan SO₂ emisyonu ile karşılaştırılamayacak kadar azdır.

3.1.1. Karbonmonoksit (CO) ve karbondioksit (CO₂)

Yanma reaksiyonu sonucu ortaya çıkan emisyonların içerisinde, CO bulunmasının temel nedeni oksijen yetersizliğidir. Silindir içerisindeki oksijenin yetersiz olması durumunda karbon atomlarının tümü CO₂'e dönüşmeden CO olarak atmosfere atılmaktadır.

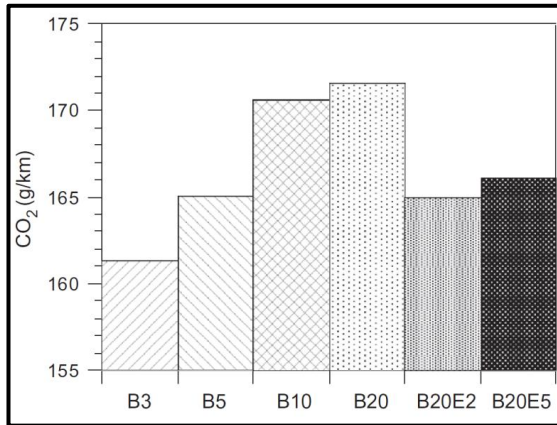
CO emisyonları, biyoyakıt kullanılan dizel motorlarda, petrol dizeli kullanılanlara nazaran %40 ile %50 oranında azalmaktadır. Bunun en büyük nedeni ise biyoyakıtın bünyesinde bulunan oksijenin yanmaya yardımcı olarak tam bir yanma sağlaması ve CO moleküllerinin CO₂'e dönüşmesini sağlamasıdır [59]. Petrol dizeli ve biyoyakıt karıştırılarak kullanıldığında da yine karışım oranına bağlı olarak CO emisyonunda azalma gözlenmektedir. %5, %20, %70 karışım ve doğrudan biyoyakıt kullanıldığında CO emisyonlarında sırasıyla %12, %25, %31, %35 azalma olmaktadır [12].

CO emisyonu devir sayısına göre de değişiklik göstermektedir. Biyoyakıt kullanılan motorlarda düşük devirlerde CO emisyonunda artış görülmektedir ve bunun sebebi düşük motor devirlerinde silindir cidarlarının yüksek devirlere nazaran soğuk olması, yanma odası basıncının düşük olması, hava hareketlerinin yetersiz kalması ve yanma hızının düşük değerlerde olmasıdır [57]. Petrol dizeli ve petrol dizelinin biyoyakıt ile farklı oranlarda karışımının kullanıldığı ve CO emisyonunun motor devrine göre mukayese edildiği bir çalışmaya ait grafik aşağıda gösterilmiştir [12].



Şekil 3.1. CO emisyonunun motor devrine göre değişimi [12]

Biyoyakıt kullanımıyla CO emisyonunda azalma gözlenmektedir, CO emisyonu biyoyakıt içerisindeki yeterli oksijen sayesinde HFK'den bağımsız olarak CO₂'e dönüşmekte ve dolayısıyla CO₂ emisyonunda artış olmaktadır [57]. Yakıttaki biyoyakıt oranı arttıkça oksijen miktarı da artacağından CO emisyonu azalacak ve CO₂ emisyonu artacaktır (Bkz. Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Yakıt karışımındaki biyoyakıt oranının CO₂ emisyonuna etkisi [8]

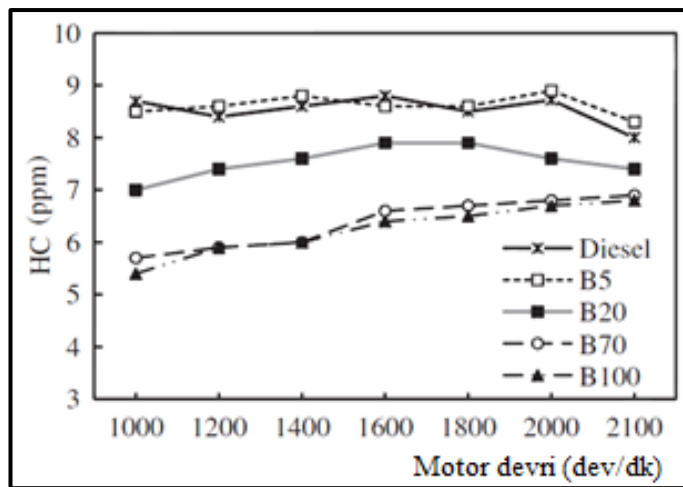
CO₂ emisyonu sera etkisi yaratmakta ve küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Petrol dizeli kullanımı sonucu ortaya çıkan CO₂ emisyonu doğa açısından kirletici olarak nitelendirilse de biyoyakıt için aynı durum geçerli değildir. Biyoyakıtlar bitkisel yağlardan üretilmektedir ve yanmaları sonucu ortaya çıkan CO₂'leri biyoyakıt imalatı

için yetiştirilen bitkiler fotosentez esnasında kullanmakta yani CO₂ emisyonu geri dönüşümü sağlanmaktadır.

3.1.2. Hidrokarbonlar (HC)

Hidrokarbon emisyonları yanmanın kalitesi ile ilgilidir. Yanmanın kalitesi arttıkça, tam yanma gerçekleşecek ve HC emisyonları azalacaktır. Yanma kalitesi silindirdeki oksijen miktarına bağlı olarak değişeceğinden, silindir içersinde yeterli miktarda oksijen olması durumunda HC emisyonları azalacaktır.

Biyoyakıt kullanılarak yapılan birçok çalışmada HC emisyonlarında azalma gözlenmiştir [51]. Peterson ve Hustrulid'in yaptıkları çalışmada kolza etil ester ve kolza metil esteri kullanılarak HC emisyonları test edilmiş ve HC emisyonlarının dizel yakıt için 4,748 g/kg yakıt, kolza metil esteri için 3,032 g/kg yakıt, kolza etil esteri için ise 1,714 g/kg yakıt olduğu görülmüştür [60]. Bazı çalışmalarda ise HC emisyonlarında artış gözlenmiş ve bu artışa yüksek viskozite sebebiyle yakıtın zerreciklerine ayrılmasının zorlaşması ve dolayısıyla yanmanın zorlaşması sebep gösterilmiştir [50]. Petrol dizelinin ve petrol dizeli biyoyakıt karışımlarının kullanımında HC emisyonlarının devir sayısına göre değişimi aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 3.3. HC emisyonlarının motor devrine göre değişimi [12]

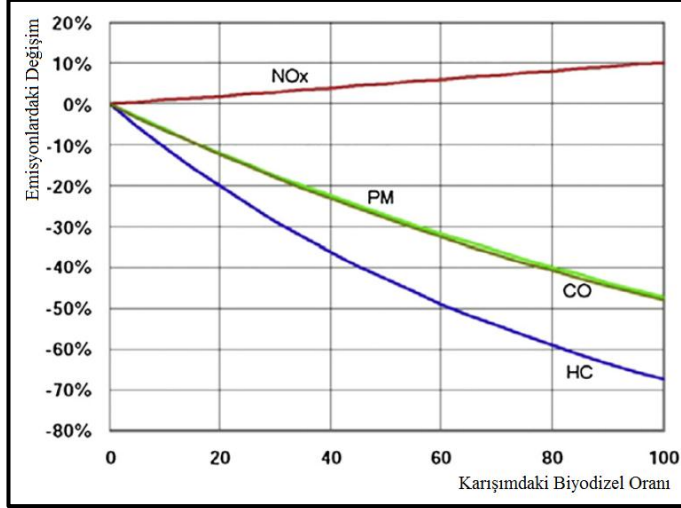
3.1.3. Azotoksitler (NO_x)

NO_x emisyonlarının oluşmasının en büyük nedeni yanma sırasında açığa çıkan yüksek ısı ve bu ısı sonucu normal şartlarda yanma reaksiyonuna girmeyen havadaki azotun, oksijen ile reaksiyona girmesidir. Yanma odası sıcaklığı arttıkça, oksijen ile reaksiyona giren azot sayısı da artacak ve NO_x emisyonlarını arttıracaktır. Dizel motorlar benzinli motorlara göre daha yüksek basınç ve sıcaklıkta çalıştıkları için daha çok NO_x emisyonu üretirler. Yanma odası sıcaklığını arttıran, yanmanın verimi, kullanılan yakıtın ısı değeri, viskozitesi gibi değerler NO_x emisyonlarını doğrudan etkilerler. Dolayısıyla biyoyakıtların yüksek viskoziteleri, düşük alt ısı değeri ve yüksek yanma ve parlama sıcaklıkları NO_x oluşumunu etkilemektedir.

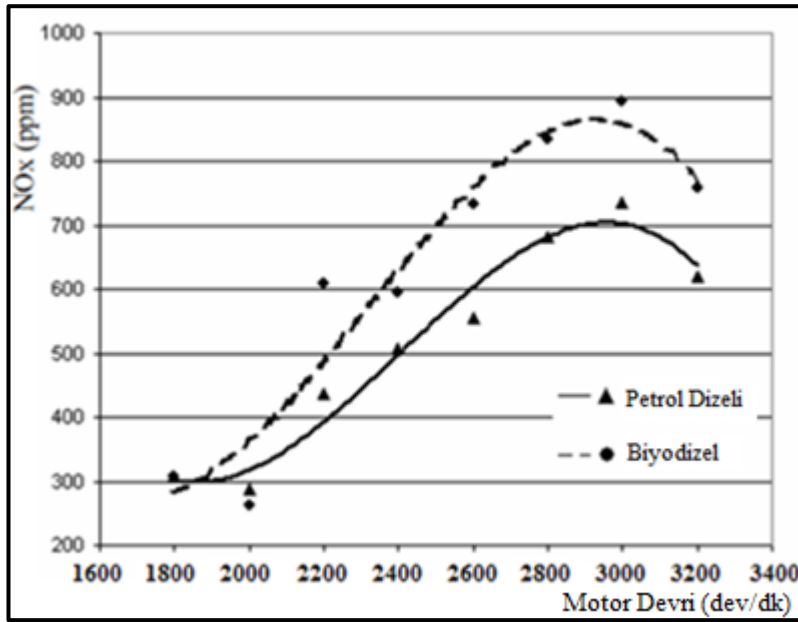
Biyoyakıtların yanması sonucu ortaya çıkan NO_x emisyonlarının, dizel yakıtlarınkine nazaran yüksek olduğu birçok çalışmada görülmüştür [6, 8, 9,12, 13, 24, 26, 36, 42, 51, 61]. Buna karşın biyoyakıtta etanol katıldığında NO_x emisyonlarında azalma görülmüş ve bu azalmanın sebebi etanolün sahip olduğu yüksek buharlaşma ısısının yanma odası sıcaklığını düşürmesi olarak açıklanmıştır [6]. Bazı çalışmalarda ise NO_x emisyonlarında azalma gözlenmiştir [16, 17, 62, 63, 64]. Tüm bu çalışmalardan NO_x emisyonlarının, kullanılan yakıtın özelliklerine göre farklılık gösterdiği görülmektedir.

NO_x emisyonlarının oluşumunda yanma odasındaki oksijen miktarı da ciddi önem taşımaktadır. Yanma odasında ki oksijen miktarının artması sonucu yanma kalitesi artacağından ısı artışı olacak ve NO_x emisyonları artacaktır. Aydın ve Bayındır'ın yaptığı bir çalışmada [57] petrol dizeline %5 oranında biyodizel karıştırıldığında NO_x emisyonları maksimuma çıkmış, biyodizelin karışımdaki oranı %20 ve %50'ye çıktığında NO_x emisyonlarında azalma gözlenmiştir. Bu durumun sebebi olarak petrol dizeli %5 oranında biyodizel ile karıştırıldığında, biyodizel yakıt içeriğindeki oksijenin yanma kalitesini arttırması ve silindir içi sıcaklığın yükselmesi, sonuç olarak ise NO_x emisyonlarının artması, karışımdaki biyodizel oranının %20 ve %50 olduğu durumlarda ise viskozitenin artması, yanmanın kötüleşmesi ve sonuç olarak NO_x emisyonlarının azalması gösterilmiştir [57]. Yakıt karışımındaki biyodizel

oranının egzoz emisyonlarına etkisi Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Biyodizel-petrol dizeli karışımındaki biyodizel oranının emisyonlara etkisi [36]



Şekil 3.5. NO_x emisyonlarının motor devrine göre değişimi [51]

NO_x emisyonları motorun devir sayısı ile de ilişkilidir. Motor devrindeki artışa bağlı olarak yanma verimi artmakta ve dolayısıyla silindir içerisindeki sıcaklıkta artmaktadır. Bu sebebe petrol dizeli kullanımında ve biyodizel kullanımında motor

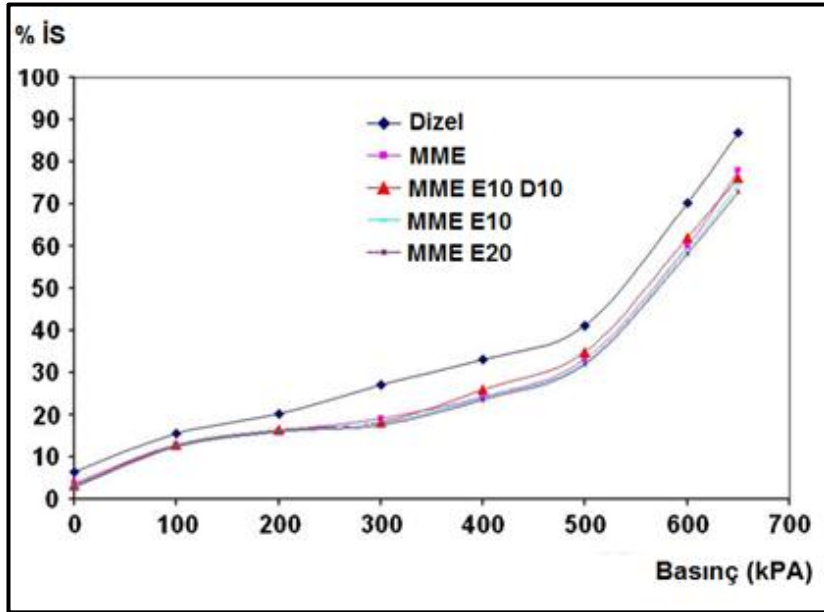
devrindeki artışa bağlı olarak NO_x emisyonları artmakta ve belirli bir motor devrinden sonra ise silindir içi türbülansın artması sonucu NO_x emisyonlarının oluşması için yeterli zaman olmadığından NO_x emisyonlarında da azalma görülmektedir (Bkz. Şekil 3.5).

3.1.4. Partikül madde (PM) ve is

Motorlarda yanmaya bağlı olarak CO , CO_2 , H_2O , HC , NO_x ve PM gibi emisyonlar oluşmaktadır. Benzinli motorlarda da dizel motorlarda da bu emisyonlar oluşmakta fakat NO_x ve PM emisyonları dizel için büyük önem teşkil etmektedirler. Bunun sebebi ise çevreye atılan bu emisyonların büyük miktarının dizel motorlardan kaynaklanıyor olmasıdır [28]. PM emisyonlarını düşürmek için birçok farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlere ek olarak biyoyakıt kullanıldığında da PM emisyonlarında azalma gözlenmektedir.

Diğer emisyonların çoğunda da olduğu gibi PM ve is emisyonlarının da en büyük sebebi yanmanın tam gerçekleşmemesidir. Yanma odasında yeterli miktarda oksijen olmaması sonucu, yanma tam anlamıyla gerçekleşmemekte, karbonlar CO_2 'e dönüşebilmek için oksijen bulamamakta ve sonuç olarak oksitlenmeden çoğalarak isi oluşturmaktadırlar. Bu sebeple yanma sırasında silindir içerisindeki O_2 miktarı PM ve is emisyonlarını doğrudan etkilemektedir.

Doğrudan biyodizel yakıt kullanıldığında ya da belirli oranlarda petrol dizeline eklendiğinde PM ve is emisyonlarında azalma gözlenmektedir (Bkz. Şekil 3.6). Biyoyakıt içerisindeki oksijen, PM ve is emisyonlarında %35 ila %40 oranında bir azalma sağlamaktadır [59]. Yakıta etanol eklendiğinde ise bu emisyonlar daha da azalmaktadır [8].



Şekil 3.6. İS emisyonların yakıt türüne ve yakıtta eklenen etanol miktarına göre değişimi [6]

3.2. Biyoyakıtların Özellikleri

Biyoyakıtlar emisyonlarının düşük olması, geri dönüştürülebilir olmaları ve dizel motorlarda doğrudan kullanılabilmesi sebebiyle dizel motor yakıtı olarak iyi bir alternatiftir fakat kimyasal özellikleri sebebiyle bazı problemlere sebep olabilmektedirler. Biyodizelin ve petrol dizelinin kimyasal özellikleri Çizelge 3.1’de karşılaştırılmıştır.

Biyoyakıtın avantajlarını, dezavantaja çevirebilen bu özelliklerin başında yüksek viskozite gelmektedir. Biyoyakıtlar yüksek viskoziteleri sebebiyle kötü atomizasyona ve dolayısıyla kötü yanmaya, enjektörlerin tıkanmasına, segmanlarda karbon birikmesine, yağlama yağının bozulmasına ve filtrelerin tıkanmasına sebep olabilmektedir. Düşük sıcaklıklarda bulutlanması ise soğuk günlerde ve ilk çalışmalarda ciddi problemlere sebep olabilmektedir.

Yüksek setan sayısı ise yanma verimini arttırması avantajlarından biridir. Biyoyakıtların bir diğer avantajı olan yüksek parlama noktası ise yakıtın taşınmasını

ve depolanmasını güvenli hale getirmektedir. Biyoyakıta bazı katkıları eklenerek, petrol dizeli ile karıştırılarak veya ön ısıtma uygulanarak, olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılması hedeflenmektedir.

Çizelge 3.1. Biyodizel, petrol dizeli ve karışımlarının özellikleri [65]

Özellik	Birim	Petrol Dizeli	Biyodizel	Petrol Dizeli- Biyodizel Karışımı				EN 590:2004	
				B4	B6	B10	B20	Min	Maks
Yoğunluk	g/cm ³	0,8368	0,8833	0,8387	0,8396	0,852	0,846	0,82	0,845
Viskozite	mm ² /s	2,7109	4,4700	2,7813	2,8164	2,886	3,062	2	4,5
Bulutlanma Noktası	°C	-6	-6	-5,04	-5,06	-5,10	-5,20		
Akma Noktası	°C	-21	-7	-20,31	-19,96	-19,26	-17,58		
Setan İndeksi	-	54,57	46,17	54,31	54,19	53,94	53,27	46	
Setan Numarası	-	50,00	53,00	50,12	50,18	50,30	50,60	51	
Parlama Noktası	°C	135,94	176,37						

3.2.1. Setan sayısı

Biyoyakıtların setan sayısı elde edildiği ham maddeye göre değişir. Doymuş hidrokarbonların setan sayıları yüksektir. Örneğin soya ve ayçiçek yağının doymamışlığı yüksek olduğundan setan sayıları düşüktür fakat genel anlamda biyoyakıtların setan sayıları petrol dizeline nazaran daha yüksektir.

Yüksek setan sayısı motorun daha verimli ve daha yüksek performanslı çalışmasını sağlamaktadır. Motorun daha verimli çalışması neticesinde emisyonlarda azalma gözlenmektedir. Yanma kalitesindeki artış CO, HC emisyonlarında azalmaya sebep olurken, tutuşma gecikmesi fazında silindirde sıkıştırma devam ettiği için sıcaklık artmakta ve sıcaklık artışına bağlı olarak NO_x emisyonları artmaktadır [66]. Biyoyakıt kullanımı sonucu NO_x emisyonlarının artmasının sebeplerinden biri de biyoyakıtların yüksek setan sayıları sebebiyle yanma sırasında silindir içi sıcaklığı arttırmalarıdır.

3.2.2. Viskozite

Biyoyakıtların dizel motorlarda kullanımının önündeki en büyük engel yüksek viskozitesidir. Biyoyakıtların viskozitesi petrol dizeline nazaran yüksektir. Bu yüksek viskozite yanma veriminin ve buna bağlı olarak genel verimin düşmesine ve motorda bazı tahribatlara sebep olmaktadır. Bazı yakıtlara ait viskozite değerleri Çizelge 3.2’de görülmektedir.

Çizelge 3.2. Yakıtlara göre viskozite değerleri [66]

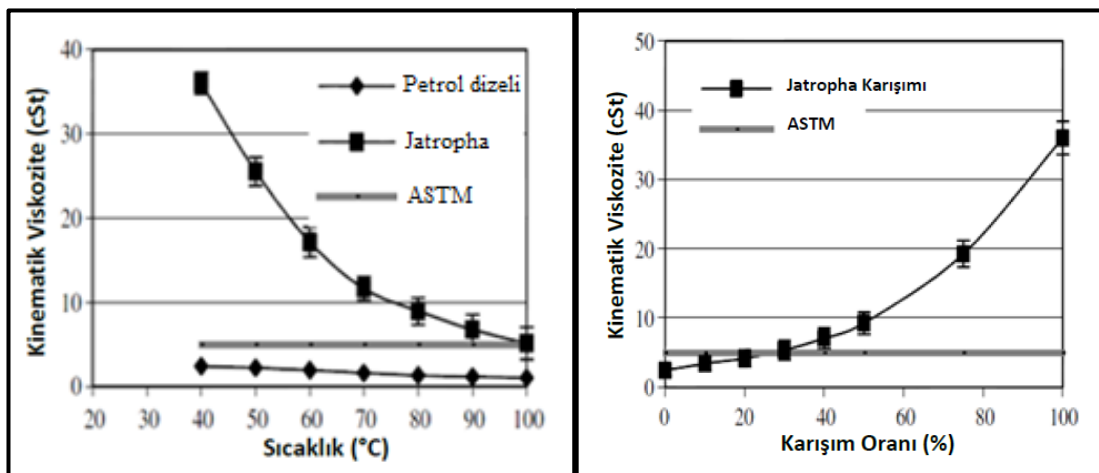
Yakıt	Kinematik Viskozite (mm ² /s, 40 °C’de)
Dizel yakıt No:2	3,23
Kanola yağı	34,77
Kanola yağı metil esteri	4,84
%5 Kanola yağı + %95 petrol dizeli	3,44
Pamuk yağı	33,49
Pamuk yağı metil esteri	4,40
%5 Pamuk yağı + %95 petrol dizeli	3,38
Soya yağı	30,11
Soya yağı metil esteri	4,42
%5 Soya yağı + %95 petrol dizeli	3,38
Atık ayçiçek yağı	33,49
Atık ayçiçek yağı metil esteri	4,46
%5 ayçiçek yağı + %95 petrol dizeli	3,45

Viskozitenin motor performansındaki ve verimindeki etkisi büyüktür. Petrol dizeliyle kıyaslandığında bir hayli yüksek viskoziteye sahip olan biyoyakıtlar, istenilmeyen pompalama ve atomizasyon özelliklerine sebep olabilmektedir [6, 14]. Atomizasyonun kötü olması sonucu yanma verimli bir şekilde gerçekleşmemekte ve motor gücü düşmekte, istenilmeyen emisyonlar ortaya çıkmaktadır.

Biyoyakıtların viskozitesini düşürmek için temelde dört yöntem vardır. Bu yöntemler, ısıtma veya proliz, seyreltme ya da farklı oranlarda farklı yakıtlarla karıştırmak, mikroemülsiyon ve transesterifikasyondur [15]. Birinci metot, yakıt yanma odasına gitmeden, enjektörlerden püskürtülmeden önce ön ısıtma uygulanarak

sıcaklığının yükseltilmesi ve bu sayede viskozitesinin düşmesidir. Diğer yöntem biyoyakıtın belirli oranlarda petrol dizeliyle karıştırılarak viskozitesinin optimum bir değere düşmesinin sağlanmasıdır. Mikroemülsiyon da ise bitkisel yağın viskozitesini düşürmek için metanol veya etanol gibi kısa zincirli alkollerle mikroemülsiyon oluşturulmaktadır. Viskozitenin düşürülmesi için izlenen en yaygın kimyasal yöntem transesterifikasyondur. Transesterifikasyon işlemi bitkisel yağın küçük molekül ağırlıklı bir alkolle katalizör eşliğinde reaksiyona girmesidir. Transesterifikasyon işlemi ile viskozite ciddi oranlarda düşmektedir. Bu dört yöntem kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda ki temel amaç yüksek viskozite sebebiyle ortaya çıkan püskürtme, atomizasyon, kötü yanma gibi problemleri ortadan kaldırmaktır [14].

Jatropha yağının kullanıldığı bir uygulama, yakıt yanma odasına gitmeden önce ön ısıtma uygulanarak viskozitesi ölçülmüş ve aynı yakıt farklı oranlarda petrol dizeli ile karıştırılarak aynı ortamda tekrar viskozitesi ölçülmüştür. Bu çalışmada sıcaklık arttıkça viskozitenin sürekli düştüğü fakat 100 °C'ye kadar geldiğinde yine de biyoyakıtın viskozitesinin petrol dizeline nazaran yüksek olduğu gözlenmiştir. Jatropha yağı ve petrol dizeli karışımında ise karışımdaki jatropha oranı arttıkça viskozitenin hızla yükseldiği görülmüştür [14] (Bkz. Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Viskozitenin sıcaklık ve yakıt karışım oranına göre değişimi [14]

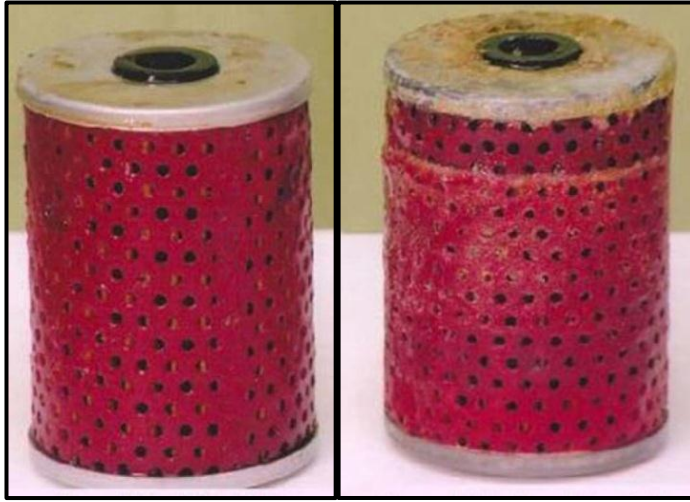
Viskozitesi nispeten yüksek olan jatropha yağı, viskozitenin performans ve

emisyondarda etkisini göstermek amacıyla birçok çalışmada kullanılmaktadır. Yine jatropa yağının kullanıldığı bir çalışmada [15], yüksek viskozite sebebiyle atomizasyonun zor olduğu ve yanma veriminin düşük olduğu, yakıt ısı değıştiricisi aracılığıyla ısıtıldığında ise viskozitenin ve yoğunluğun düştüğü, yakıtın enjektörlerden püskürtülürkenki direncinin azaldığı ve daha iyi bir atomizasyon sonucu yanma veriminin arttığı görülmüştür. Bu çalışmada yakıt sıcaklığının artması ile viskozitenin düştüğü, performansın ise arttığı görülmüşür [15].

Literatür taramasında diğeri çalışmalarda da yüksek viskozite sebebiyle iyi bir atomizasyon sağlanamaması sonucunda performansın düştüğü görülmüştür [6, 8, 14, 15, 67, 68, 69]. Bu sebeple biyoyakıtların dizel motorlarda kullanılmasının birinci şartı viskozitesinin düşürülmesidir.

Yüksek viskozite yanmayı olumsuz etkilediğinden dolayı, emisyonları da etkilemektedir. Kimi emisyonların azalmasına sebep olurken kimi emisyonları da arttırmaktadır. Viskozite arttıkça yanma kalitesi düşmekte, yüksek sıcaklıklara ulaşılması gecikmekte ve sonucunda tamamen sıcaklıkla bağlantılı olan NO_x emisyonları azalmaktadır [57]. Yanma kalitesinin bozulması NO_x emisyonlarının azalmasına, CO ve HC emisyonlarının artmasına sebep olmaktadır. Yüksek viskozite yanma kalitesini bozmakta, performansı düşürmekte, bazı emisyonların artmasına sebep olmaktadır.

Yüksek viskoziteye sahip biyoyakıtların, yanma odasında kurum birikmesine, filtrelerin tıkanmasına, enjektörlerin tıkanmasına, yağlama yağının katılaşmasına ve piston segman yapışmasına sebep olduğu görülmüştür [4, 70, 71, 72]. Resim 3.1’de petrol dizeli kullanımının ve bitkisel yağ kullanımının yakıt filtresi üzerindeki etkisi gösterilmiştir.



(a)

(b)

Resim 3.1. Bitkisel yağ ve petrol dizeli kullanılan motorlarda yakıt filtrelerinin karşılaştırılması [6]

(a) petrol dizeli kullanılan motorun yakıt filtresi,

(b) bitkisel yağ kullanılan motorun yağ filtresi

3.2.3. Isıl değer

Petrol dizelinin alt ısı değeri 42902kJ/kg civarındadır [50]. Bazı bitkisel yağların alt ısı değerleri Çizelge 3.3'te gösterilmiştir ve petrol dizeline kıyasla düşük olduğu görülmektedir [73]. Düşük enerjili yani ısı değeri düşük olan bir yakıt yandığı zaman daha az ısı ve daha az güç elde edilir.

Biyoyakıtların alt ısı değeri, petrol dizeline nazaran daha düşük olmasına rağmen biyoyakıt içeriğindeki oksijen sayesinde yanma verimi artmakta ve mil gücünde ufak azalmalar olmaktadır. Alt ısı değerindeki azalma, yakıt tüketimini ve özgül yakıt tüketimini arttırmaktadır. Bu artışın sebebi ise aynı gücün elde edilebilmesi için daha fazla yakıtı ihtiyaç duyulmasıdır.

Alt ısı değeri yanma sonucu açığa çıkan ısıyı doğrudan etkilediği için emisyonları da etkilemektedir. Isıl değer azaldıkça yanma karakteristikleri değişmekte ve yanma sonucu oluşan ısı azalmaktadır. Isıdaki bu azalmaya bağlı olarak, ısıyla doğrudan ilişkili olan NO_x emisyonları azalmaktadır.

Çizelge 3.3. Bazı bitkisel yağların alt ısı değerleri [73]

CİNSİ	Kanola Yağı	Hindistan Cevizi Yağı	Mısır Yağı	Jatropha Yağı
ALT ISIL DEĞER (MJ/kg)	38,9	35,2	39,9	37,7
CİNSİ	Hurma Yağı	Soya Yağı	Ayçiçeği Yağı	Aspur Yağı
ALT ISIL DEĞER (MJ/kg)	38,9	35,2	39,9	37,7

3.2.4. Parlama ve yanma noktası

Depolama ve taşıma güvenliği açısından büyük önem teşkil eden parlama ve yanma noktası biyoyakıtlarda oldukça yüksektir (Bkz. Çizelge 3.4). TS 3080 EN 590 petrol dizeli standartlarına göre petrol dizelinin parlama noktası 55 °C'den yüksek olmak zorunda iken bitkisel yağların parlama noktası 200 °C civarlarındadır. Biyoyakıtların parlama ve alevlenme noktasının yüksek olması kimi zaman avantaj, kimi zamansa dezavantaj olabilmektedir.

Çizelge 3.4. Yakıt cinsine ve karışım oranına göre parlama ve yanma noktası [6]

Yakıt Türü	Parlama Noktası (°C)	Yanma Noktası (°C)
Petrol dizeli	60	65
Mahua yağı	286	295
Mahua metil esteri	175	186
Etanol	40	47
Gazyağı	72	77
Mahua metil esteri (%20 etanol)	50	55
Mahua metil esteri (%10 etanol)	52	57
Mahua metil esteri (%10 etanol ve %10 petrol dizeli)	54	59
Mahua metil esteri (%20 gazyağı)	90	97
Mahua metil esteri (%10 gazyağı)	95	101

Parlama ve alevlenme sıcaklığının yüksek olması yanma da problemlere yol açabilmekte ve dolayısıyla emisyonların artmasına sebep olabilmektedir. Bu sebeple

biyoyakıtlara bazı katkıları katıldığı görülmektedir.

3.2.5. Yoğunluk

Biyoyakıtların yoğunluğu, yakıtın cinsine göre farklılık göstermektedir fakat Çizelge 3.5’de de görüldüğü gibi petrol dizeline nazaran daima daha yüksektir. Biyoyakıtın yüksek yoğunluğuna karşın, hacimsel enerji içeriği petrol dizeline %5 ile %6 oranında daha azdır [73].

Biyoyakıtların yoğunluğu motor performansını ve yakıt tüketimini doğrudan etkilemektedir. Bunun en büyük sebebi ise yakıt pompasının püskürtme miktarının yakıtın kütlesine değil, hacmine göre ayarlanmış olmasıdır [73, 74]. Bu yüzden silindir içerisine yoğunlukları farklı iki yakıttan aynı hacimde yakıt püskürtüldüğünde ve püskürtülen yakıtlar kütle açısından kıyaslandığında yoğunluğu yüksek olan yakıtın kütlesinin daha fazla olduğu görülecektir [66]. Biyoyakıtların kütlesi fazla olacak bu sebeple bünyesindeki karbon içeriği daha yüksek olacak ve daha yüksek ısı enerjisiye sahip olacaktır fakat yüksek yoğunluk sonucu yanmanın bozulmasından dolayı ısı enerjideki artış, güç artışı olarak görülemeyecektir.

Çizelge 3.5. Yakıt cinsine göre yoğunluk değerleri [66]

Yakıt	Yoğunluk (kg/m ³ , 40 °C’de)
Dizel yakıt No:2	837,02
Kanola yağı	921,45
Kanola yağı metil esteri	882,34
%5 Kanola yağı + %95 petrol dizeli	837,85
Pamuk yağı	921,88
Pamuk yağı metil esteri	883,06
%5 Pamuk yağı + %95 petrol dizeli	837,29
Soya yağı	921,31
Soya yağı metil esteri	883,45
%5 Soya yağı + %95 petrol dizeli	837,77
Atık ayçiçek yağı	926,58
Atık ayçiçek yağı metil esteri	885,32
%5 ayçiçek yağı + %95 petrol dizeli	838,06

Biyoyakıtların yoğunluğunun yüksek olması sebebiyle, buharlaşma zorlaşmakta, karışım hızı düşmekte, filtreleme kötüleşmekte ve sonuç olarak yanma değerleri, püskürtme karakteristikleri ve yakıt sistemi olumsuz etkilenmektedir [51, 53, 54]. Yüksek yoğunluğa sahip biyoyakıtlar piston kenarlarından sızarak yağlama sistemine karışabilmektedir. Bu durum da motor yağını bozduğundan, yağın sıklıkla değiştirilmesi gerekmektedir [75].

Metil esterlerin yoğunlukları, petrol dizeline yakın olmasına rağmen bitkisel yağların viskoziteleri bir hayli yüksektir. Bu sebeple bitkisel yağların yakıt olarak kullanıldığı sistemlerde yakıta ön ısıtma uygulandığında yoğunlukları düşmekte ve yüksek yoğunluk sebebiyle çıkan problemlerin birçoğunun önüne geçilmektedir.

Bitkisel yağların en büyük problemi olan yoğunluk ve viskozite birbiriyle doğrudan ilişkilidir. Bu ilişkiler Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da gösterilmiş, Eş. 3.1 ve Eş. 3.2 de formülize edilmiştir. [74].

Bitkisel yağlar için;

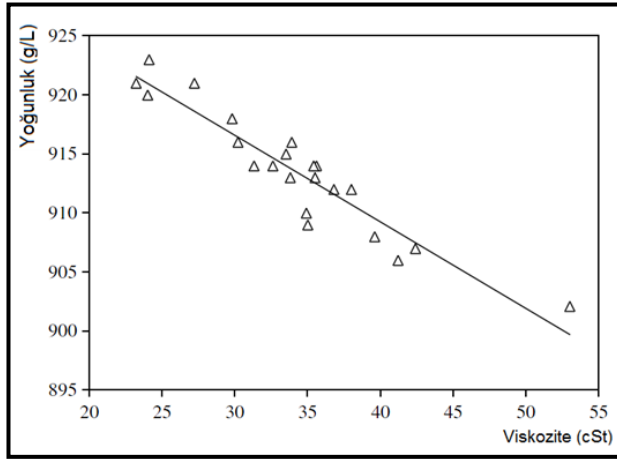
$$\text{Yoğunluk(g/l)} = -0,7328.KV(cSt) + 938,57 \quad (3.1)$$

Biyodizel için;

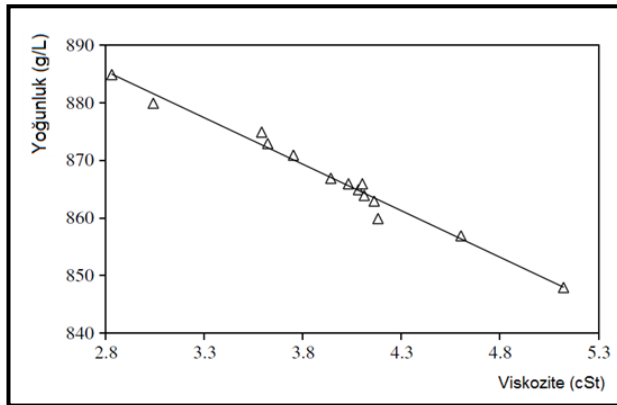
$$\text{Yoğunluk(g/l)} = -16,155.KV(cSt) + 930,78 \quad (3.2)$$

Yoğunluk ve üst ısı değeri arasındaki bağıntı ise aşağıdaki gibidir ve Şekil 3.10’da gösterilmiştir [74].

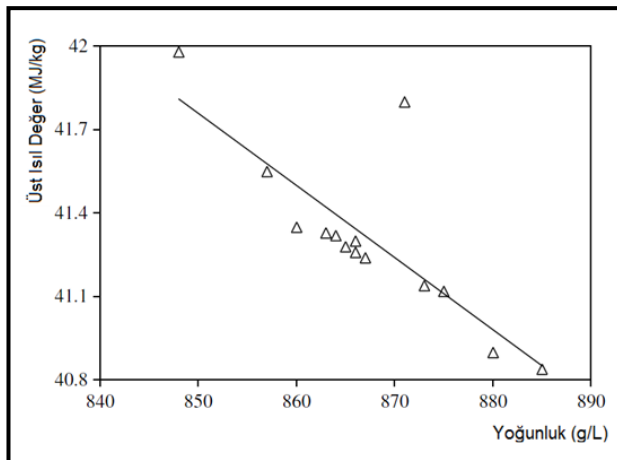
$$\text{ÜID(mJ/kg)} = -0,0259.Yoğunluk(g/l) + 63,776 \quad (3.3)$$



Şekil 3.8. Bitkisel yağlar için viskozite ve yoğunluk arasındaki bağıntı [74]



Şekil 3.9. Biyodizel için viskozite ve yoğunluk arasındaki bağıntı [74]



Şekil 3.10. Biyodizel için üst ısıl değer ve yoğunluk arasındaki bağıntı [74]

4. DENEY SETİ VE DENEYİN YAPILIŞI

Yapılan çalışmada amaç yüksek viskozitesi ve yoğunluğu sebebiyle motor performansında ve egzoz emisyonlarında istenmeyen etkiler yaratan biyodizeli, petrol dizeli ile farklı oranlarda karıştırarak performans ve emisyonlarını incelemek ve bitkisel yağı petrol dizeli ile farklı oranlara karıştırıp, ön ısıtma uygulayarak, ön ısıtmanın emisyonlar üzerindeki etkisini incelemektir.

Deneyde motor tam gaz durumunda, farklı yüklerde ve farklı devirlerde çalıştırılıp emisyon ve performans testleri yapılmıştır. Performans testlerinde biyodizel ve petrol dizeli ile karışımları, emisyon testlerinde ise ilave olarak bitkisel yağ, petrol dizeli ile karışımları ve ön ısıtılmış halleri kullanılmıştır. Performans testlerinde motor motor torku, mil gücü ve mil özgül yakıt tüketimi, emisyon testlerinde HC, CO, CO₂ ve NO_x emisyonları ölçülmüştür.

Dizel motor yakıtı olarak kullanılacak olan bitkisel yağın ön ısıtılması proje kapsamında tasarlanan bir ısı değiştiricisi ile sağlanmıştır. Motor çalıştığında yakıt önce ısı değiştiricisinden geçip ısınıp daha sonra pompaya gitmiştir. Motor, ön ısıtma uygulanmış, farklı sıcaklık değerlerindeki bitkisel yağ ve petrol dizeli karışımları ile çalıştırılmış ve farklı ön ısıtma sıcaklıkları için egzoz emisyonları değerlendirilmiştir. Egzoz emisyonları açısından optimum olan ön ısıtma sıcaklığı saptanmıştır.

Petrol dizeli, bitkisel yağ, biyodizel, farklı oranlardaki karışımları, ön ısıtılmış bitkisel yağ ve ön ısıtılmış yakıt karışımları kullanılarak ölçülen değerler, egzoz emisyonlarının ve motor performansının yakıt türüne ve yakıt sıcaklığına göre değişimi hakkında fikir vermektedir.

4.1. Deneyde Kullanılan Yakıtlar

Deneyde petrol dizeli, atık kızartma yağından elde edilen biyodizel, mısır yağı ve farklı oranlardaki karışımları kullanılmıştır.

4.1.1. Petrol dizeli

Deneyde petrol istasyonundan alınan düşük kükürtlü ve etanol katkılı Euro dizel yakıt kullanılmıştır. Yakıta ekstradan bir katkı eklenmeden ve motora, egzoz müdahale edilmeden doğrudan kullanılmıştır. Kullanılan yakıtın özellikleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneyde kullanılan petrol dizelinin özellikleri [30]

Yoğunluk (kg/l)	Viskozite (cSt)	Setan Sayısı	Parlama Noktası (°C)	Donma Noktası (°C)	Sülfür (%)	Oksitlenme Süresi (saat)
0,820	2,0 – 4,5	51	55	-20	0,005	-12,2

4.1.2. Mısır yağı

Deneyde rafine edilmiş yemeklik mısır yağı kullanılmıştır. Yüksek viskozitesi sebebiyle motorda problemlere yol açmaması açısından petrol dizeli ile farklı oranlarda karıştırılmış ya da farklı oranlardaki karışımlar farklı sıcaklıklara ısıtılarak yakılmıştır. Mısır yağının özellikleri aşağıda görülmektedir.

Çizelge 4.2. Deneyde kullanılan mısır yağının özellikleri [5]

Isıl Değer (kJ/kg)	Yoğunluk (kg/cm ³)	Viskozite (mm ² /s)		Setan Sayısı	Alevlenme Noktası (°C)	Kimyasal Formülü
		27 °C	75 °C			
37825	915	46	10,5	37,6	190	C ₅₆ H ₁₀₃ O ₆

4.1.3. Atık kızartma yağı metil esterleri

Deneyde kullanılan yakıt, Biyoner Yağ ve Kimya Ürünleri Limited Şirketi'nden temin edilmiştir. Kocaeli ilinde Gebze Organize Sanayi Bölgesinde 2005 senesinde biyodizel üretmek amacıyla faaliyete başlamış olan firma, üyesi olduğu Albiyobir vasıtasıyla atık bitkisel yağları toplamakta ve endüstriyel ürünler üretmektedir. Tesis Resim 4.1'de görülmektedir.



Resim 4.1. Biyoner Yağ ve Kimya Ürünleri Ltd. Şti. üretim tesisi

Biyodizel yakıt üretimi 5 aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar aşağıda gösterilmiştir [75].

1. Alkol ve katalizörün karıştırılması
2. Reaksiyon
3. Biyodizel ve ham gliserinin ayrıştırılması
4. Alkol geri kazanımı ve nötralizasyon
5. Yıkama ve kurutma

Deneyde kullanılan biyodizel atık kızartma yağından elde edilmektedir. Bu sebeple toplanılan atık yağ ilk olarak filtre edilmekte ve yabancı maddelerden ayrılmaktadır. Sonrasında alkol ve katalizörün karıştırılması işlemine geçilmektedir. Katalizör olarak susuz payet kostik yani sodyum hidroksit (NaOH) kullanılmaktadır. Payet

kostik miktarı atık yağın asit sayısına göre hesaplanmaktadır. Reaktöre alınan atık yağın hacimsel olarak %30'u kadar metil alkol kullanılmaktadır.

Alkol ve katalizörün karıştırılıp hazırlanmasından sonra reaksiyon aşamasına geçilmektedir. Hazırlanan alkol-katalizör karışımı 60 °C sıcaklıkta reaktör içerisine konulmaktadır. Hazırlanan toplam katalizör miktarı yağın asit sayısına göre 2 veya 3 kademedeki katılmaktadır. Her katalizör ilavesinde 1 saat karıştırma yapılmakta, 2 saat çökelme için beklenmekte ve her defasında alt kısımdaki gliserin fazı ayrılmakta, başka tanka alınmaktadır.

Reaktör içerisinde su olması, sabun oluşumuna sebep olmaktadır. Bunun için susuz payet kostik kullanılmakta ve atık yağ işlem görmeden önce 12 saat dinlendirilmektedir.

Reaksiyonun tamamlanmasının ardından biyodizel ve gliserin ortaya çıkmaktadır. Sıradaki işlem bu iki ana ürünün ayrıştırılmasıdır. Gliserinin yoğunluğu, biyodizelin yoğunluğundan çok fazla olduğundan yer çekimi sayesinde ayrıştırılmaları kolaydır. Bu ayrışmanın gerçekleşmesi, tesisin sahip olduğu 14 ton reaktör kapasitesi için 2 saat sürmektedir.

Gliserin ve biyodizel birbirinden ayrıldıktan sonra her fazdaki alkol vakum yöntemiyle uzaklaştırılmaktadır. Biyodizelin renginin ve yapısının değişmemesi açısından alkol alma işlemi sırasında sıcaklık 90 °C civarlarında tutulmaya çalışılmaktadır.

Biyodizel, gliserinden ayrıldıktan ve alkol geri kazanımı sağlandıktan sonra, sabun ve kalıntı katalizörleri uzaklaştırmak amacıyla yıkama yapılmaktadır. Biyodizel sulu yıkama yapmaktadır ve 12 ton ester için 3 defa da toplamda 4500 lt su kullanılarak yıkama işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem yaklaşık olarak 4,5 saat sürmektedir. Suyun estere verilmesi sırasında tank sıcaklığının 60 °C'nin altına düşmesi istenmemektedir. Sulu yıkama sonrası biyodizel kurutulmaktadır. 120 °C'de 4 saat süren bu kurutma işleminde tank içerisindeki basınç 0,7 bardır. Gerekli anlarda CO₂

gazı ile tank içi süpürme işlemi yapılmaktadır. Yıkama sonrası çıkan atık suyun ph değeri 4'e getirilerek içindeki sabun partikülleri kırılmakta ve sonrasında ph değeri nötrlenmekte, oksijen doygunluğu için havalandırma çukurlarına gönderilmektedir.

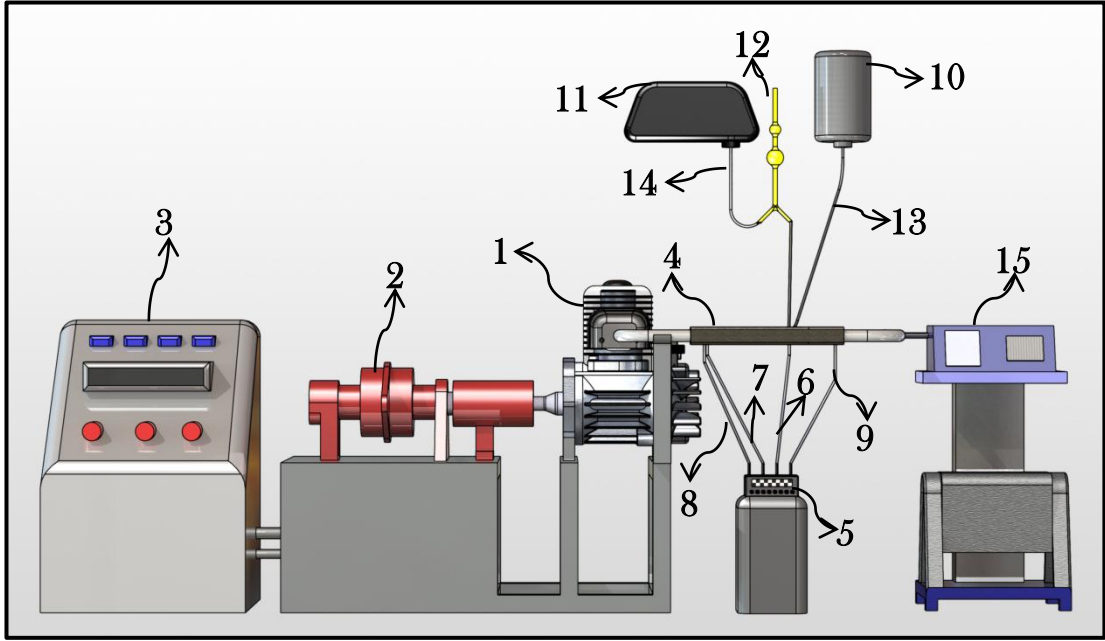
Biyodizel, tesis ziyaret edilerek bizzat alınmış ve viskozite, parlama noktası ve yoğunluk gibi değerler firmanın özel test cihazlarında yapılan testler sonucunda not edilmiştir. Test sonuçları Çizelge 4.3'te görülmektedir.

Çizelge 4.3. Deneyde kullanılan atık kızartma yağı metil esterinin özellikleri

Özellik	Birim	Ölçüm Aralığı	
Viskozite	mm ² /s	4,5	4,8
Yoğunluk	g/cm ³	0,882	0,884
Parlama noktası	°C	150	165
Sabun	ppm	0	50
Ester oranı	%min	95	97
Su	ppm	350	600
Asit sayısı	mgKOH/g.numune	0,5	0,8
Yağların verimliliği fiziksel ve kimyasal kayıp	%	15	35
Yağların asit sayısı	mgKOH/g.numune	5	15

4.2. Deney Seti

Deneyler Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü İçten Yanmalı Motorlar ve Otomotiv Laboratuvarında yapılmıştır. Deney seti 4 zamanlı tek silindirli dizel motoru, dinamometre ve kontrol ünitesi, ısı değiştiricisi, yakıt depoları ve debi ölçeri, emisyon ölçüm cihazı ve sıcaklık ölçerlerden oluşmaktadır. Deney seti, üzerine bağlı bileşenler ve cihazlar Şekil 4.1'de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Deney setinin şematik görünümü

1. Deney motoru 2. Dinamometre 3. Kontrol ünitesi 4. Isı değiştiricisi
5. Sıcaklık ölçer 6. Yakıtın ısı değiştiricisine giriş sıcaklığını ölçen ısıl çift
7. Yakıtın ısı değiştiricisinden çıkış sıcaklığını ölçen ısıl çift 8. Egzoz gazının ısı değiştiricisi girişindeki sıcaklığını ölçen ısıl çift 9. Egzoz gazının ısı değiştiricisi çıkışındaki sıcaklığını ölçen ısıl çift 10. Bir numaralı yakıt deposu 11. İki numaralı yakıt deposu 12. Dereceli cam tüp
13. Bir numaralı deponun yakıt hortumu 14. İki numaralı deponun yakıt hortumu 15. Egzoz gazı analiz cihazı.

Deneyde kullanılan dört zamanlı, tek silindirli dizel motoru, hidrolik dinamometre ile yüklenmektedir. Şehir şebekesi suyu ile yükelenen dinamometre, kontrol ünitesi ile kontrol edilmektedir.

Motorda yanma sonucu aığa çıkan atık gazlar Şekil 4.2’de de görüldüğü gibi öncelikle ısı değiştiricisine girmekte, ısı değiştiricisinden atmosfere atılmadan önce egzoz gazı analiz cihazı ile ölçüm yapılmaktadır. Analiz cihazında egzoz gazındaki emisyonlar ve oranları incelenmektedir.

4.2.1. Deney motoru

Deneyde Antor marka 3LD510 model tek silindirli, dört zamanlı, direk püskürtmeli, hava soğutmalı dizel motoru kullanılmıştır ve motorda herhangi bir modifikasyon yapılmamıştır. Motorun kataloğundaki teknik verileri Çizelge 4.4’te, deney motoru ise Resim 4.2’de görülmektedir.

Çizelge 4.4. Deney motorunun özellikleri [76]

Marka	Antor
Model	3LD510
Motor Tipi	Dizel
Silindir Sayısı	1
Silindir Hacmi	510 cm ³
Silindir Çapı	85 mm
Silindir Stroku	90 mm
Sıkıştırma Oranı	17,5 : 1
Maksimum Devir Sayısı	3000 rpm
Motor Gücü	8,83 kW
Maksimum Torku	3,35km-m (1800 rpm)
Özgöl Yakıt Sarfıyatı	258,33g/kWh



Resim 4.2. Deney motoru Antor 3LD510

4.2.2.Dinamometre ve kontrol ünitesi

Deneyde kullanılan dinamometre şebeke suyu ile yüklenmektedir. Dinamometrenin yükü kontrol ünitesi üzerinden hassas olarak ayarlanabilmektedir. Sistem üzerinde yer alan yük hücresi ve elektronik okuyucu sayesinde motor devri, motor torku ve mil gücü kontrol yazılımı üzerinden anlık olarak okunabilmekte ve isteğe bağlı olarak kayıt altına alınabilmektedir. Dinamometre Resim 4.3'te, kontrol ünitesi ise Resim 4.4'de gösterilmiştir.

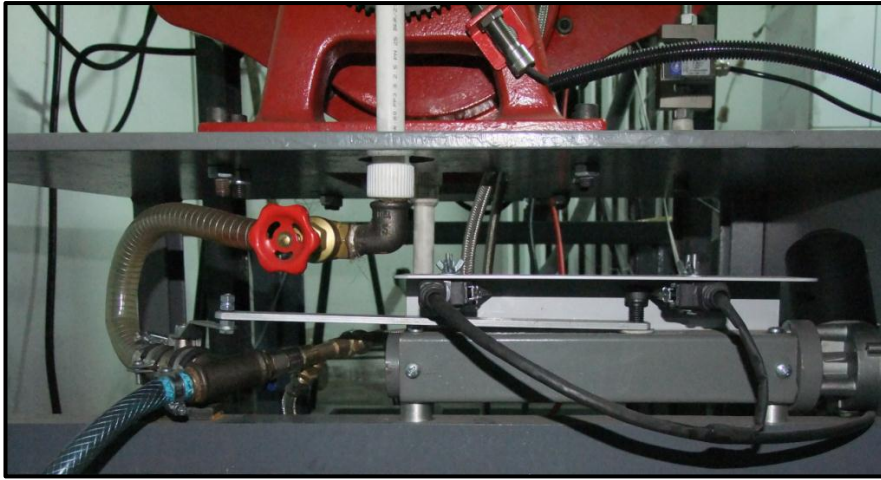


Resim 4.3. Dinamometre



Resim 4.4. Dinamometre kontrol ünitesi

Dinamometrenin yükünü hassas olarak ayarlamaya imkân tanıyan sistem Resim 4.5'te gösterilmiştir. Yük arttırılmak istendiğinde dinamometre kontrol yazılımı üzerinden yük arttırma tuşuna basılmakta, sistemin otomatik olarak vanayı açması ve şehir şebekesinden gelen suyun debisini arttırması sonucunda dinamometrenin yüklenmesi sağlanmaktadır. Yine aynı şekilde dinamometre kontrol yazılımı üzerinden yük azaltma tuşuna basıldığında vanayı kısarak yükü azaltmaktadır.



Resim 4.5. Dinamometre yük kontrol mekanizması



Resim 4.6. Dinamometrenin yük hücresi

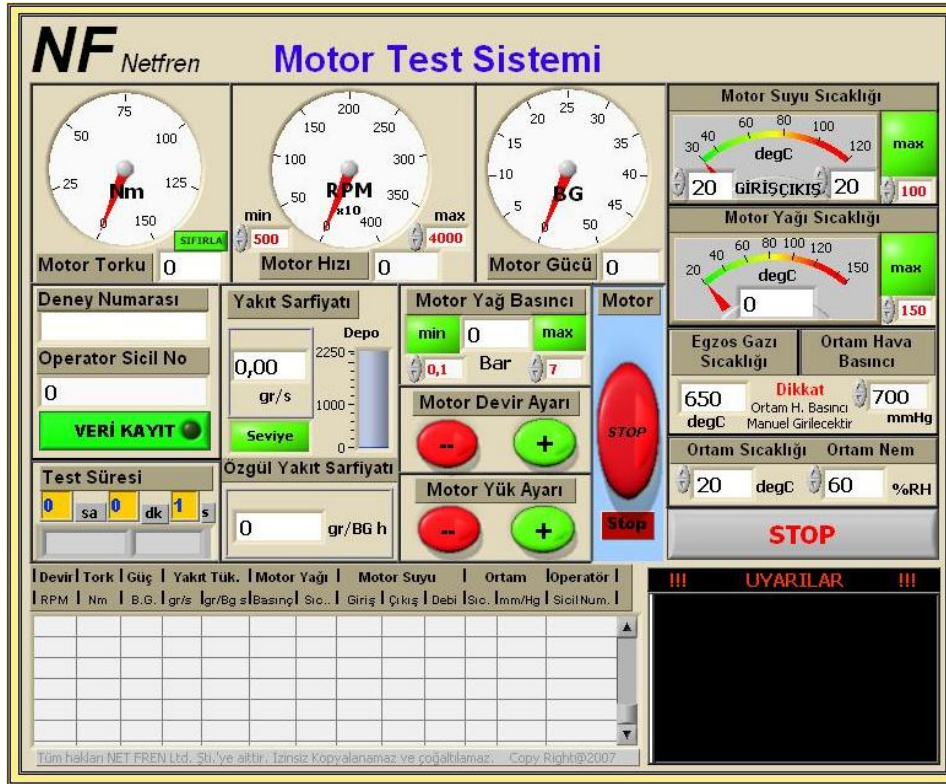
Dinamometrenin üzerine monte edilmiş olan ve Resim 4.6’da görülen yük hücresi, dinamometrenin koluna etki eden yükü elektrik sinyali olarak kontrol ünitesine göndermektedir. Dinamometre kontrol ünitesindeki mikroçipler bu elektrik sinyaline sebep olan yükü hesaplayarak, motor torkunu sistem üzerinden görmemizi sağlamaktadır.

Dinamometre üzerindeki diğer bir sensör ise motor devrini okumaya yarayan sensördür. Resim 4.7’de gösterilen sistem dinamometrenin ve dolayısıyla motorun devrini okuyup, kontrol yazılımında anlık olarak devrin izlenmesine olanak tanımaktadır.



Resim 4.7. Dinamometre devir ölçüm sensörü

Dinamometre kontrol yazılımından motor torku, motor devri, mil gücü ve yakıt tüketimi anlık olarak izlenebilmekte ve isteğe bağlı olarak sistem tarafından kayıt altına alınmaktadır. Kontrol yazılımının ara yüzü Resim 4.8’de görülmektedir.



Resim 4.8. Dinamometre kontrol yazılımı arayüzü

4.2.3. Isı değıştircisi

Isı değıştircisi egzoz gazlarının sahip olduğu ısı ile yakıtın istenilen ön ısıtma sıcaklığına gelmesini sağlayan deney seti bileşenidir. Deneyde kullanılacak yakıtlar farklı sıcaklıklara ısıtılmış ve her sıcaklık değeri için yakıtın emisyon değeri incelenmiştir. Bu sebeple ısı değıştircisi yakıtı farklı sıcaklıklara ısıtabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Öncelikle deneyde kullanılacak olan ısı değıştircisinin sahip olması gereken özellikler belirlenmiş ve ardından ısı değıştircisinin boyutlarını belirleyecek olan hesaplamalara geçilmiştir. Isı değıştircisi hesaplamalarında tasarımdaki bütün giriş ve çıkış sıcaklıkları biliniyorsa logaritmik ortalama sıcaklık farkı (LMTD) yöntemi tercih edilir. Deney setindeki ısı değıştircisi egzoz gazının ısısıyla, oda sıcaklığındaki yakıtın ısıtılmasında kullanılacaktır. Egzoz gazının motordan çıkış

sıcaklığı ısı çiftler yardımıyla ölçülebildiği ve oda sıcaklığı da belli olduğu için sıcak akışkanın ve soğuk akışkanın ilk sıcaklıkları bilinmektedir. Yakıtın ısı değiştiricisi çıkışında ulaşmasını istediğimiz sıcaklığı tarafımızca seçileceği için bilinmektedir. Egzoz gazının ısı değiştiricisi çıkışındaki sıcaklığı da sıcak ve soğuk akışkan arasındaki enerji dengesi yazılarak hesaplanabilecektir. Bu yüzden tasarımda LMTD yöntemini kullanmak mümkündür. LMTD metodunda Eş. 4.1 kullanılarak ısı transferi yüzey alanı hesaplanmış ve yüzey alanından boru boyu uzunluğuna geçilmiştir. Boru boyu hesaplamalarında Kakaç ve Liu'nun "Heat Exchangers Selection, Rating and Thermal Design" adlı kitabından faydalanılmıştır [77].

$$Q=U.A.\Delta T_m \quad (4.1)$$

LMTD metodunda ilk olarak yakıtın oda sıcaklığından istediğimiz sıcaklığa çıkması için gerekli olan ısı, Eş. 4.2 yardımıyla hesaplanmıştır ve bu ısı Q_c olarak tanımlanmıştır.

$$Q_c=(\dot{m}.c_p)_c.(T_{c2}-T_{c1}) \quad (4.2)$$

Soğuk akışkanın yani yakıtın istenilen sıcaklığa ısıtılması için gerekli olan ısı hesaplandıktan sonra, yakıt tarafından alınan ısının, egzoz gazı tarafından verilen ısıya eşit olduğu kabul edilmiş ve Eş. 4.3 ile egzoz gazının ısı değiştiricisinden çıkış sıcaklığı hesaplanmıştır.

$$T_{h2}=T_{h1}-\frac{Q_h}{(\dot{m}.C_p)_h} \quad (4.3)$$

Bilinmeyen tek sıcaklık olan egzoz gazının ısı değiştiricisinden çıkış sıcaklığı ve soğuk akışkan ile sıcak akışkan arasındaki ısı transferi hesaplandıktan sonra Eş. 4.1'deki üç bilinmeyenden biri olan logaritmik sıcaklık farkının (ΔT_{LMTD}) hesaplanmasına geçilmiştir. Deney setinde kullandığımız ısı değiştiricinde ters akış olacağından ΔT_{LMTD} , Eş. 4.4 ile hesaplanmıştır.

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln \left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} \right)} = \frac{(T_{h1} - T_{c2}) - (T_{h2} - T_{c1})}{\ln \left[\frac{T_{h1} - T_{c2}}{T_{h2} - T_{c1}} \right]} \quad (4.4)$$

Toplam ısı transfer katsayısını hesaplamak içinse Eş. 4.5 kullanılmıştır.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} \frac{r_o}{r_i} + \frac{\ln \left(\frac{r_o}{r_i} \right)}{k} \cdot r_o + \frac{1}{h_o} \quad (4.5)$$

Eş. 4.5’de r_o ve r_i bilinmekte olup, ısı değiştiricisinden geçecek olan yakıt borusu bakır olacağından k değeri olarak bakırın ısı iletim katsayısı kullanılmış, h_i ve h_o ise aşağıdaki denklemler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$Nu = \frac{h_i \cdot d_i}{k} \quad (4.6)$$

Eş. 4.6’da k ve d_i değeri bilinmekte olup, h_i değerini hesaplayabilmek için Nusselt sayısına (Nu) ihtiyaç vardır. Nusselt sayısı, Reynolds sayısı (Re) ve Prandtl (Pr) sayısına göre Gnielnisky veya Petukhov-Kirillov metoduyla hesaplanabilmektedir.

Soğuk akışkan için Reynolds sayısı Eş. 4.7 ile hesaplanmıştır.

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot d}{\mu} \quad (4.7)$$

$$\rho \cdot V = \frac{\dot{m}}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} \quad (4.8)$$

Eş. 4.8, Eş. 4.7 de yerine konulup Reynolds sayısı hesaplandığında akışın laminar olduğu görülmüştür. Bu yüzden Nusselt sayısı tablodan okunmuştur. Nusselt sayısı, soğuk akışkanın ısı iletim katsayısı ve d_i Eş. 4.6’da yerine konulmuş ve h_i değeri hesaplanmıştır.

Bu aşamadan sonra toplam ısı transfer katsayısının (U) hesaplanabilmesi için tek bilinmeyen h_o kalmıştır. h_o , Eş. 4.9 kullanılarak hesaplanacaktır.

$$h_o = \frac{Nu \cdot k}{D_e} \quad (4.9)$$

Eş. 4.9'un çözülebilmesi için sıcak akışkan için de Nusselt sayısının hesaplanması gerekecektir. Nusselt sayısının hangi metotla hesaplanacağını tespit edilmesi için sıcak akışkanın Reynolds ve Prandtl sayısına ihtiyaç vardır.

$$Re = \frac{4 \cdot \dot{m} \cdot D_h}{\pi \cdot \mu \cdot (D_i^2 - d_o^2)} \quad (4.10)$$

Sıcak akışkan yani egzoz gazı için Reynolds sayısı Eş. 4.10 ile hesaplanmıştır ve 2300 ile 10000 arasında olduğu görülmüştür. Prandtl sayısı da 0,5 ile 2000 arasında olduğundan Nusselt sayısı hesaplanırken Eş. 4.11'de verilen Gnielnisky bağıntısı kullanılmıştır.

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{2}\right) \cdot (Re - 1000) \cdot Pr}{1 + 12,7 \cdot \left(\frac{f}{2}\right)^{0,5} \cdot \left(Pr^{\frac{2}{3}} - 1\right)} \quad (4.11)$$

$$f = (1,58 \cdot \ln(Re) - 3,28)^{-2} \quad (4.12)$$

Sürtünme faktörü (f), Reynolds sayısı 2300 ile 10000 aralığında, Prandtl sayısı ise 0,5 ile 2000 aralığında olduğundan Eş. 4.12 ile hesaplanıp, Eş. 4.11'de yerine konulmuş ve böylece sıcak akışkan için de Nusselt sayısı bulunmuştur.

Eşdeğer çap (D_e) yani ısı transferi çevresine bağlı hidrolik çap Eş. 4.13 yardımıyla hesaplanmıştır. Bu eşitlikte A_c ara bölgenin net serbest akış alanını, P_h ise ısı transferinin gerçekleştiği çevreyi ifade etmektedir.

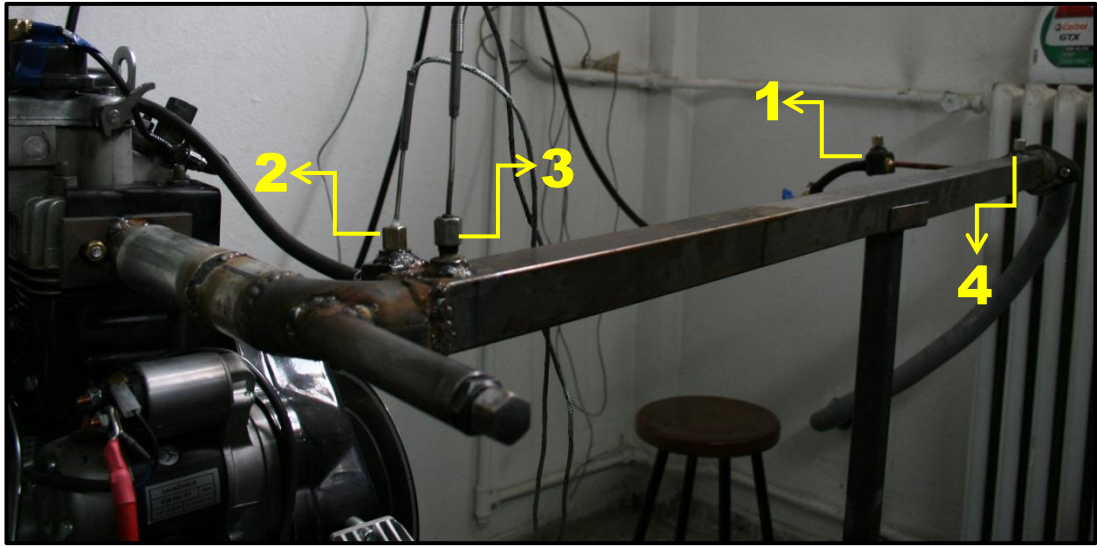
$$D_e = \frac{4.A_C}{P_h} = \frac{4. \left[\frac{\pi}{4} \cdot (D_i^2 - d_o^2) \right]}{\pi \cdot d_o} \quad (4.13)$$

Hesaplanan değerler Eş. 4.9'da yerine konularak h_o hesaplanmıştır. Sonrasında h_o ve h_i Eş. 4.5'de yerine konulmuş ve toplam ısı transfer katsayısı hesaplanmıştır.

Eş. 4.1'de logaritmik sıcaklık farkı (ΔT_{LMTD}), toplam ısı transfer katsayısı (U) ve soğuk akışkan ile sıcak akışkan arasındaki ısı alışverişi (Q) yerine konulmuş ve ısı transferi yüzey alanı (A) hesaplanmıştır.

$$A = \pi \cdot d_o \cdot L \quad (4.14)$$

Eş. 4.14'den boru boyu uzunluğu (L) hesaplanmış, ısı değiştiricisinin boyutları belirlenmiştir. Ölçüleri belirlenen ısı değiştiricisinin imalatı yapılmıştır.



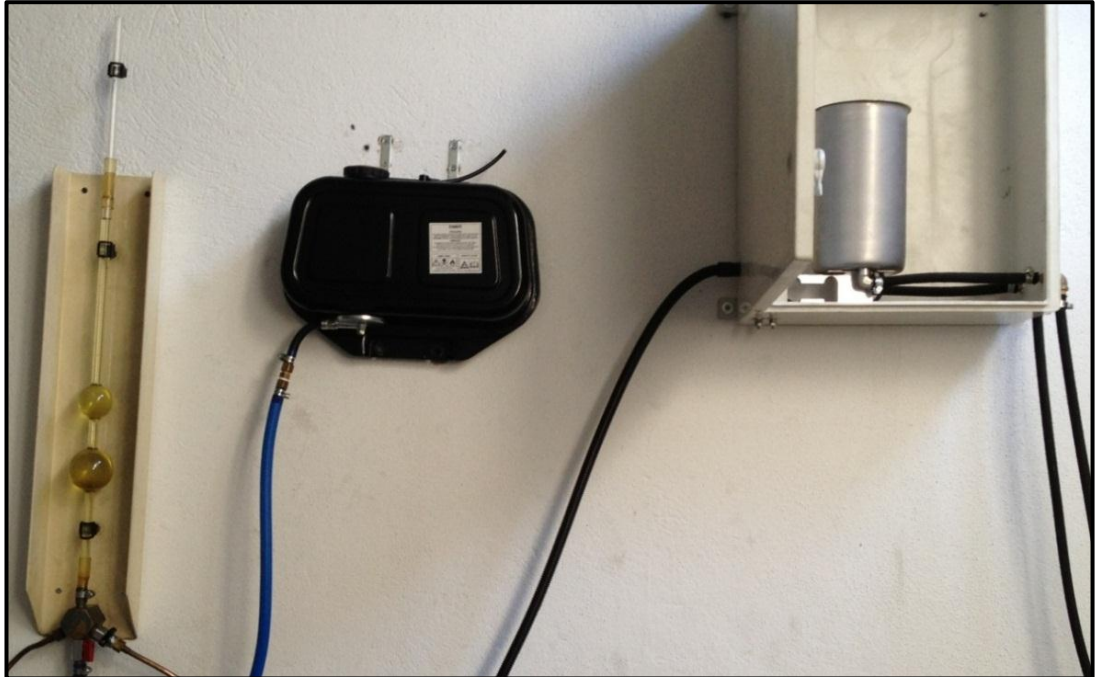
Resim 4.9. Isı değiştiricisinin, giriş ve çıkışlarının görünümü

1. Isı değiştiricisi yakıt giriş sıcaklığı ölçüm noktası
2. Isı değiştiricisi yakıt çıkış sıcaklığı ölçüm noktası
3. Isı değiştiricisi egzoz gazı giriş sıcaklığı ölçüm noktası
4. Isı değiştiricisi egzoz gazı çıkış sıcaklığı ölçüm noktası

Tasarımı ve imalatı biten ısı değıştiricisi motora bağlanmıştır. Depolardan gelen yakıt öncelikle ısı değıştiricisine girmekte ve ısı değıştiricisinde ısıdıktan sonra pompaya gitmektedir. Pompa, ısıtılmış olan bu yakıtın bir kısmını yakmak için enjektörlere pompalarken, bir kısmını geri dönüş hattı üzerinden yeniden depoya göndermektedir. Depoya geri dönüş hattı üzerinden ısınmış yakıt gittiği için depo içerisindeki yakıtın sıcaklığı da artmaktadır. Pompaya giden yakıtın sıcaklığı, motor çalıştığı sürece sürekli artmaktadır. Bu sayede farklı ön ısıtma sıcaklıklarındaki yakıtların performans ve emisyon testleri yapılabilmektedir.

4.2.4. Yakıt deposu ve debi ölçer

Motora yakıt sağlayan iki farklı yakıt tankı kullanılmıştır (Bkz. Resim 4.10). İki depo kullanılmasının temel amacı motoru durdurmadan yakıt değışikliğı yapabilmek ve yakıtları motora giderken karıştırmabilmektir. Depolardan birine petrol dizeli diğere ise deney yakıtı konulmuştur.



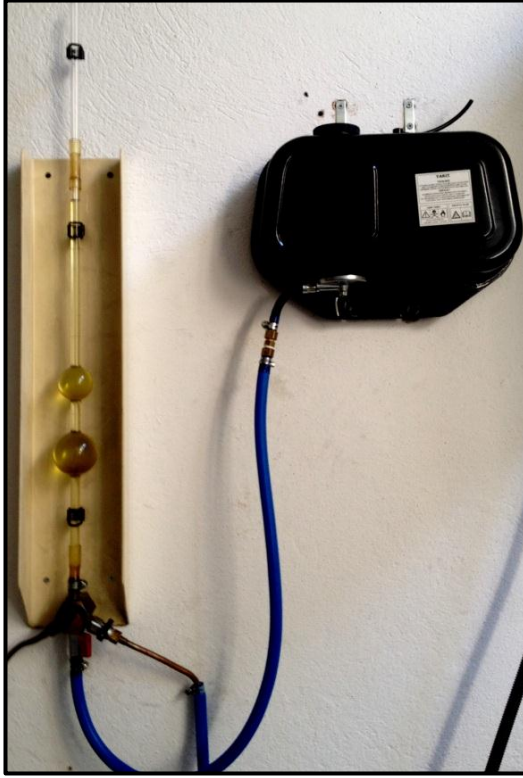
Resim 4.10. Yakıt depolarının genel görünümü

Yakıt tüketimi ölçümleri ise iki farklı yöntemle yapılmıştır. Resim 4.11’de gözüken deponun altında yük hücresi bulunmaktadır. Bu yük hücresi deponun doluluk oranı anlık olarak ölçmekte ve kontrol yazılımına göndermektedir. Kontrol yazılımından motorun tüketmiş olduğu yakıt doğrudan okunabilmektedir.



Resim 4.11. Kontrol ünitesine bağlı çalışan, yük hücreli yakıt deposu

Diğer ölçüm aracı ise Resim 4.12’de görülen bürettir. Büret depodan alınan yakıt miktarının ölçülmesini sağlarken aynı zamanda diğer depoya enjektörlerden dönen yakıt miktarının ölçülmesi amacıyla da kullanılabilir.



Resim 4.12. Büret ile ölçüm yapılan ikinci depo

4.2.5. Egzoz gazı analiz cihazı

Emisyonların ölçümü için Resim 4.13'te gösterilen, Capelec CAP 3200 egzoz gazı analiz cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz HC, CO, CO₂, O₂ ve NO_x emisyonlarını ölçmektedir. Cihazın kendi üzerine monte edilmiş olan yazıcısı, sonuçları rapor halinde vermektedir. Cihazın kataloğunda yer alan, ölçtüğü parametreler ve ölçme aralığı Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Egzoz gazı analiz cihazı ölçüm parametreleri ve aralığı

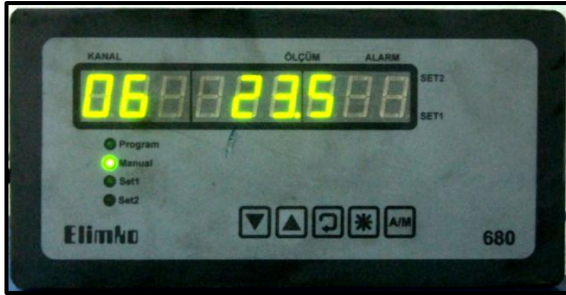
PARAMETRE	ÖLÇME ARALIĞI	HASSASİYET
HC	0-20000 ppm	1 ppm
CO	0 – 15 %	0,001 %
CO ₂	0 – 20 %	0,1 %
O ₂	0 – 21,7 %	0,01 %
NO _x	0 – 100 %	0,1 %
Lambda	0,6 – 1,2	0,001



Resim 4.13. Egzoz gazı analiz cihazı

4.2.6. Sıcaklık ölçüm cihazı

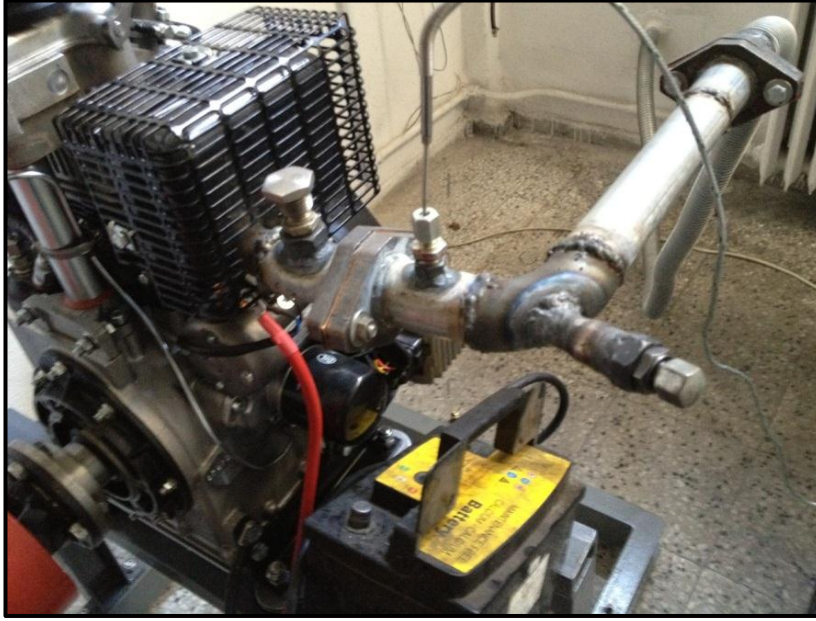
Sıcaklık ölçümü ısı çiftler yardımıyla yapılmakta ve ekrandan dijital olarak okunmaktadır. Sıcaklıkların okunduğu ekran Resim 4.14’de görülmektedir.



Resim 4.14. Sıcaklık ölçüm cihazı

Isıl çiftler ortamın, ısı değiştiricisine giren ve çıkan egzoz gazının, ısı değiştiricisine giren ve çıkan yakıtın sıcaklıklarını ölçmektedir.

Isı değiştiricisi bağlanmamış sistemde, egzoz gazı çıkış sıcaklığının ölçümü Resim 4.15’te gösterilmiştir.



Resim 4.15. Isıl çift bağlantı noktası

4.3. Deneyin Yapılışı

Deneyde petrol dizeli, atık kızartma yağı metil esteri (AKYME), mısır yağı, MY60, MY70, AKYME30 ve AKYME50 kullanılmıştır. Motor petrol dizeli, AKYME, AKYME30 ve AKYME50 ile tam gaz konumunda farklı yüklerde 1300 rpm ile 2600 rpm motor devri aralığında çalıştırılmış ve 100 rpm aralıklarla performans ölçümleri alınmıştır. Emisyon testleri ise 1250 rpm, 1500 rpm, 1800 rpm, 2400 rpm, 3000 rpm ve 3200 rpm motor devirlerinde yapılmıştır.

Mısır yağının kullanıldığı deneylerde, tam gaz konumunda, 1250 rpm ve 1350 rpm motor devri aralığında MY60, MY70 ve MY kullanılmış, yakıtlar 70 °C ve 100 °C sıcaklıklara ısıtılarak ve MY hariç ön ısıtma uygulanmadan emisyon testleri yapılmıştır.

İlk testler herhangi bir işlem uygulanmamış petrol dizeli ile yapılmıştır. Petrol dizeli ısı değiştiricisine girmeden doğrudan yakıt pompasına gönderilmiştir. Motor ısınana kadar minimum devrinde çalıştırılmış ve ısıdıktan sonra testlere başlanmıştır. Motor

belirlenmiş olan devirlerde çalıştırılmış ve performans değerleri dinamometrenin kontrol ünitesi yazılımı sayesinde anlık olarak kayıt edilmiş, belirlenen motor devirlerinde emisyon testleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra bu testler AKYME, AKYME30 ve AKYME50 için de tekrarlanmıştır. Farklı yakıtla yapılan her bir testten önce yakıt besleme hattı ve geri dönüş hattı tamamen boşaltılmıştır. Böylece yakıtların karışması engellenmiştir. Bu deneyler sırasında egzoz gazı çıkış sıcaklığı termal çiftler yardımıyla ölçülmüştür.

Mısır yağının kullanıldığı deneylerde önce MY60 ve MY70 kullanılarak, emisyon testleri ön ısıtmasız olarak gerçekleştirilmiştir. Sonrasında ön ısıtma deneylerine geçilmiştir. Ön ısıtma uygulanacak yakıtın bulunduğu deponun hortumu ısı değiştiricisi girişine, ısı değiştiricisi çıkışı da doğrudan yakıt pompasına bağlanmıştır. Motor çalıştırılmış ve yakıt istenilen ön ısıtma sıcaklığına gelene kadar beklenilmiştir. Isı değiştiricisi yakıt giriş, çıkış sıcaklığı ve egzoz sıcaklığı, termal çiftler ile anlık olarak ölçülmüştür. Isı değiştiricisinden geçen ve ısınan yakıtın bir kısmı silindir içerisinde yakılırken, bir kısmı da geri dönüş hattı üzerinden depoya pompalanmıştır. Depo içerisine sıcak yakıt pompalanması neticesinde depodaki yakıtın sıcaklığı da git gide artmış, yakıtın ısı değiştiricisine giriş sıcaklığındaki artışa bağlı olarak da ısı değiştiricisi çıkış sıcaklığı artmıştır. Bu sayede motorda veya ısı değiştiricisinde hiçbir değişiklik yapmadan farklı ön ısıtma sıcaklıklarında ölçümler yapmak mümkün olmuştur. MY, MY60 ve MY70, 70°C ve 100°C sıcaklıklara ısıtılarak emisyon ölçümleri tekrarlanmıştır.

Bu şekilde belirlenen motor devirlerinde AKYME, AKYME30, AKYME50 ve PD için performans ve emisyon değerleri, ön ısıtma uygulanmış MY, MY50 ve MY60 içinde emisyon değerleri elde edilmiş ve deneyler tamamlanmıştır.

5. DENEY SONUÇLARI VE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. CO Emisyonu

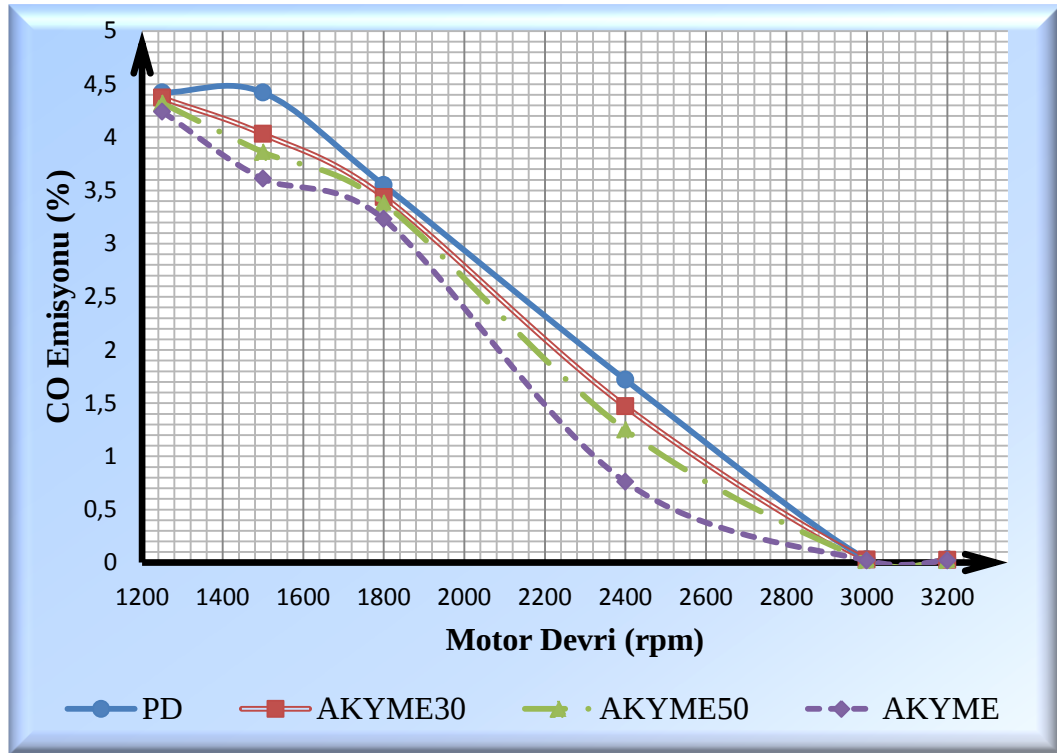
Biyoyakıtların ve petrol dizeli ile karışımlarının kullanıldığı birçok çalışmada CO emisyonunda azalma görülmüştür [6, 8, 9, 11, 12, 13, 42]. Çalışmalarda karışımdaki biyoyakıt oranındaki artışa bağlı olarak, CO emisyonunun azaldığı görülmektedir [8, 9, 12, 13, 42]. Biyoyakıtların yapısındaki O₂'nin, yanma için gerekli olan O₂'nin bir kısmını karşılayarak CO emisyonunu azaltması beklenen bir sonuçtur.

Biyoyakıta ön ısıtma uygulandığı çalışmalarda ise ön ısıtma sıcaklığındaki artışa bağlı olarak viskozitede azalma ve yanma kalitesinde artış olduğundan, CO emisyonunda azalma gözlenmiştir. [14 - 17].

Bu çalışmada kullanılan petrol dizeli ve atık kızartma yağı metil esteri CO emisyonu açısından karşılaştırıldığında test edilen tüm motor devirlerinde AKYME'nin yanması sonucu daha düşük CO emisyonu açığa çıktığı görülmüştür. 1250 rpm motor devrinde egzoz gazları içerisindeki CO emisyonu oranı petrol dizeli için %4,42 iken, aynı devirde AKYME için %4,24 olarak ölçülmüştür. Motor devri 1500 rpm iken petrol dizelinin CO emisyonu %3,61'e düşmüş, AKYME'nin CO emisyonu ise %4,42 olarak kalmıştır. Petrol dizelinin CO emisyonu 1800 rpm motor devrinde %3,55'e, 2400 rpm motor devrinde %1,72'ye, 3000 rpm ve 3300 rpm motor devrinde ise %0,03'e düşmüş ve petrol dizeli için en düşük CO emisyonu salınımı 3000 rpm ve 3300 rpm motor devri aralığında elde edilmiştir. AKYME kullanımında ise CO emisyonu 1800 rpm, 2400 rpm, 3000 rpm ve 3300 rpm motor devirlerinde sırasıyla %3,23, %0,76, %0,02 ve %0,018 olarak ölçülmüş ve petrol dizeli kullanımında olduğu gibi AKYME kullanımında da en düşük CO emisyonu değeri 3000 rpm ve 3300 rpm motor devri aralığında elde edilmiştir. AKYME kullanımında CO emisyonunun, petrol dizeli kullanımına kıyasla 1250 rpm, 1500 rpm, 1800 rpm, 2400 rpm, 3000 rpm ve 3300 rpm motor devirleri için sırasıyla %0,18, %0,81, %0,32, %0,96, %0,01 ve %0,012 düşük olduğu görülmüştür. Rölanti devrinde yanmanın tam olmaması sebebiyle her iki yakıt türü içinde CO emisyonunun yüksek

olduğu, devir sayısı arttıkça CO emisyonunun düştüğü fakat AKYME yapısındaki O₂ sebebiyle daha düşük CO emisyonu elde edildiği, motor devrindeki artışa bağlı olarak silindir içerisindeki sıcaklığın artması sonucu aradaki farkın kapandığı görülmüştür.

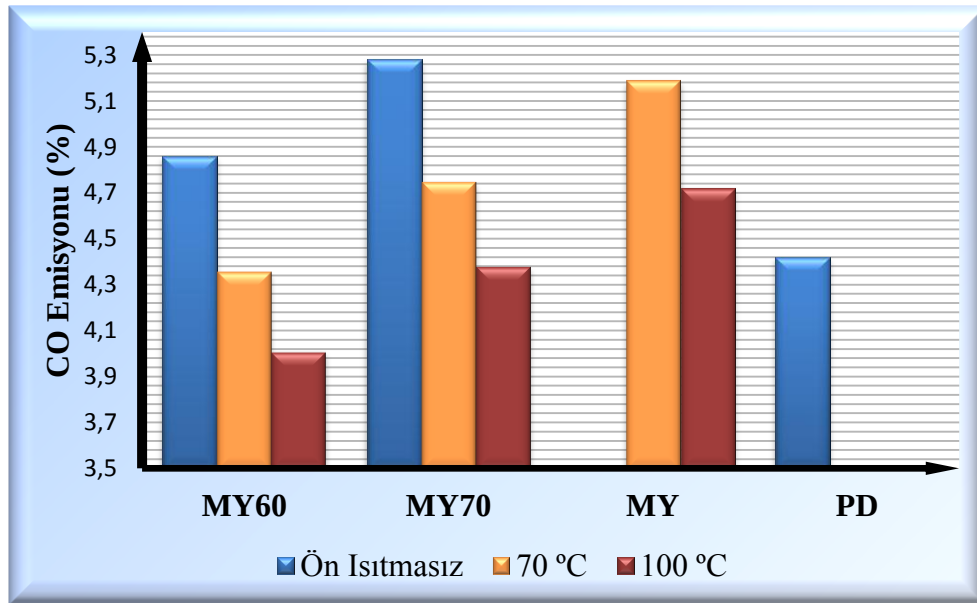
AKYME30 ve AKYME50 kullanımında, karışımdaki AKYME oranı artışına bağlı olarak yakıtın içeriğindeki O₂'nin artıyor olması sebebiyle CO emisyonunda azalma görülmüştür. AKYME30 ve AKYME50 kullanımında CO emisyonu petrol dizeline kıyasla düşük olmasına rağmen testin yapıldığı tüm motor devirlerinde AKYME kullanımına nazaran yüksek çıktığı görülmüştür. CO emisyonlarına ait grafik Şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1. Oda sıcaklığındaki AKYME'nin, petrol dizelinin ve karışımlarının CO emisyonu

1250 rpm – 1350 rpm motor devri aralığında farklı ön ısıtma sıcaklıklarına ısıtılmış mısır yağının CO emisyonu değişimi Şekil 5.2'de görülmektedir. Mısır yağının

yüksek viskozitesi ve yüksek yoğunluğu yanmayı olumsuz etkilemiş yapısında bulunan O_2 'e karşı CO emisyonunun yükselmesine sebep olmuştur. CO emisyonundaki benzer artışlara literatürde de rastlanmaktadır [14, 15]. Mısır yağının petrol dizeli ile karıştırılmadan, doğrudan ön ısıtma uygulanarak kullanıldığı deney sonuçlarında en yüksek CO emisyon değerleri elde edilmiştir. MY70 ve MY60 kullanımında ise viskozite ve yoğunluktaki azalmaya bağlı olarak CO emisyonu da düşmüştür. Her üç yakıtta da ön ısıtma uygulanması ile yakıtın viskozitesini düşmüş, yanma kalitesi artmış ve CO emisyonu azalmıştır. Ön ısıtma sıcaklığının artmasına bağlı olarak CO emisyonundaki azalma da artmıştır. Şekil 5.2'de görüldüğü gibi ön ısıtılmış MY60 kullanımında, petrol dizeli kullanımına yakın CO emisyonu değerleri elde edilirken, MY70 ve MY'nin ön ısıtmalı veya ön ısıtmasız kullanımı ile petrol dizeline kıyasla yüksek CO emisyonu görülmüştür.

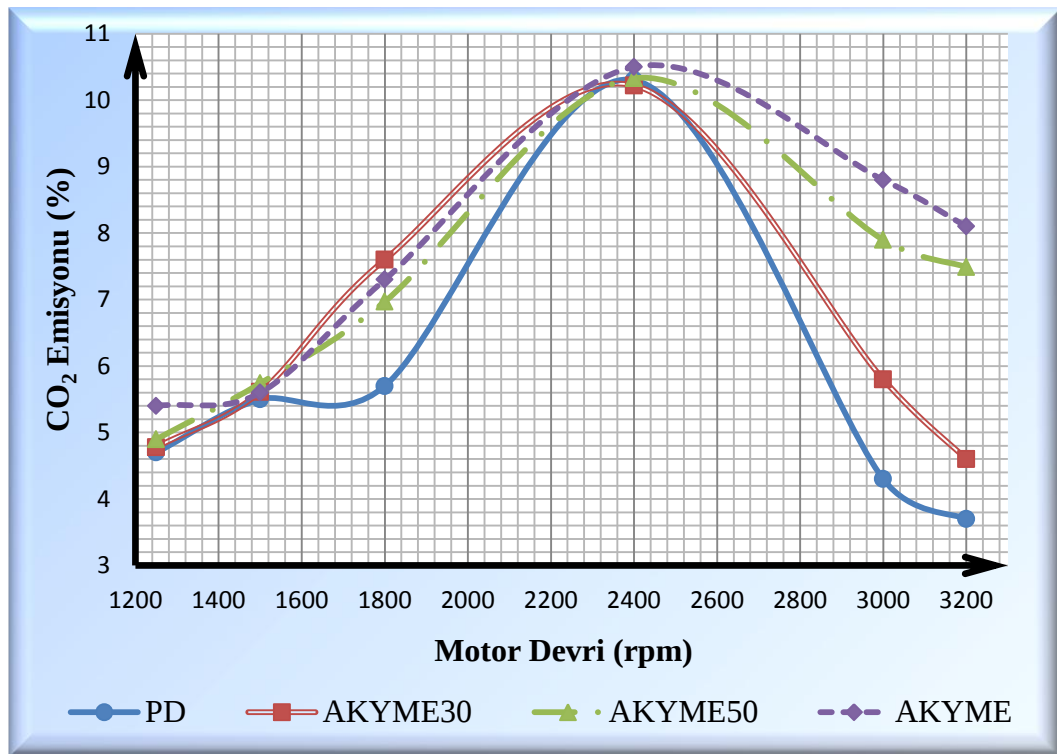


Şekil 5.2. Ön ısıtma uygulanmış mısır yağının ve petrol dizeli ile karışımlarının CO emisyonu

5.2. CO₂ Emisyonu

Biyoyakıt kullanımı neticesinde CO₂ emisyonunda petrol dizeli kullanımına kıyasla artış beklenmektedir. Literatür tarandığında bazı kaynaklarda beklenildiği gibi CO₂

emisyonda artış olduğu görülmüştür [8, 13]. Yakıt içerisindeki biyodizel veya bitkisel yağ oranı arttıkça CO₂ emisyonu da artmaktadır. CO₂ emisyonundaki artış kullanılan yakıt türüne göre de farklılık göstermektedir. Biyodizel ve bitkisel yağ kullanımı ile CO₂ emisyonunda azalma olan çalışmalar da vardır [26, 42]. Kullanılan yakıtın türüne, deney motoruna ve deney ortamına göre çalışmalardan farklı sonuçlar elde edilebilmektedir.



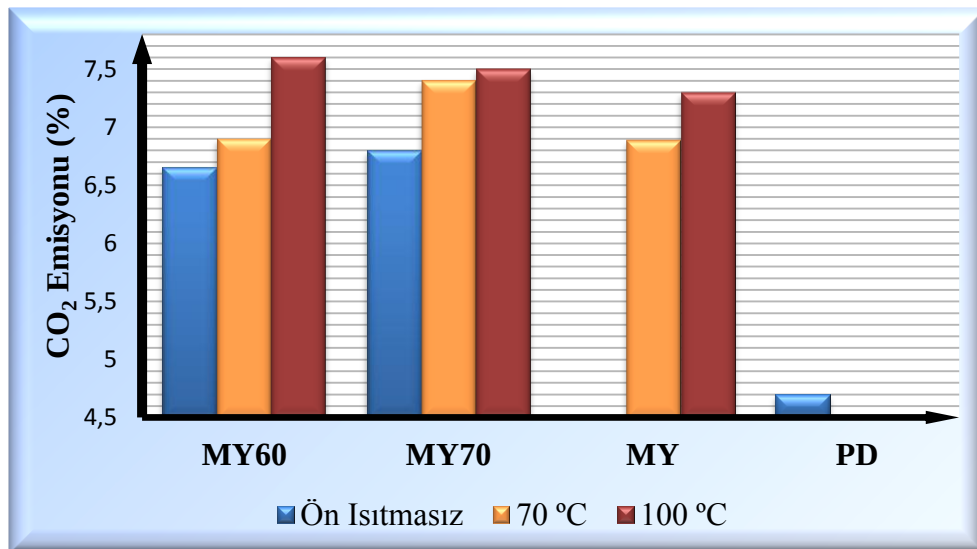
Şekil 5.3. Oda sıcaklığındaki AKYME'nin, petrol dizelinin ve karışımlarının CO₂ emisyonu

Bu çalışmada da beklenildiği gibi biyoyakıt kullanımı ile CO₂ emisyonunda artış görülmüştür. Petrol dizeli kullanımında egzoz gazları içindeki CO₂ emisyonu yoğunluğu 1250 rpm, 1500 rpm, 1800 rpm, 2400 rpm, 3000 rpm ve 3200 rpm motor devirleri için sırasıyla %4,7, %5,5, %5,7, %10,3, %4,3, %3,7, AKYME için ise %5,4, %5,6, %7,3, %10,5, %8,8, %8,1 olarak ölçülmüştür. Tüm devirler göz önünde bulundurulduğunda ve ortalaması alındığında AKYME kullanımı sonucu, egzoz gazındaki CO₂ emisyonu oranının %1,92 arttığı görülmüştür. Bu artışın sebebi AKYME'nin yapısındaki O₂ sayesinde yanma sırasında gerekli olan O₂'nin bir

kısmını karşılaması ve CO'lerin CO₂'e dönüşmesidir. Ölçüm yapılan motor devirleri için CO₂ emisyonları Şekil 5.3'te gösterilmiştir.

AKYME30 ve AKYME50 kullanımı ile motor test devirlerinin çoğunda petrol dizeline kıyasla yüksek, AKYME'ne kıyasla düşük CO₂ emisyonu görülmüştür. CO₂ emisyonu değerleri tüm yakıtlar için 2400 rpm motor devrine kadar artmaktadır ve 2400 rpm motor devrinde birbirine yakın değerlere gelmekte, daha yüksek motor devirlerinde ise azalmalar görülmektedir. (Bkz. Şekil 5.3).

1250 rpm – 1350 rpm motor devri aralığında ve tam gaz konumunda mısır yağına ve petrol dizeli ile karışımlarına ön ısıtma uygulanarak CO₂ emisyonları incelendiğinde, tüm karışım oranları ve tüm ön ısıtma sıcaklıkları için petrol dizeline kıyasla yüksek CO₂ emisyonu ölçülmüştür. Mısır yağı kullanımı ile mısır yağının silindir içersine ekstradan O₂ sağlaması sebebiyle CO emisyonunun CO₂'e dönüşümü artmıştır. Yakıtlara ön ısıtma uygulandığında, ön ısıtma sıcaklığındaki artış, yakıtın viskozitesini azaltarak yanmayı iyileştirmekte ve CO₂ emisyonlarını arttırmaktadır (Bkz. Şekil 5.4).

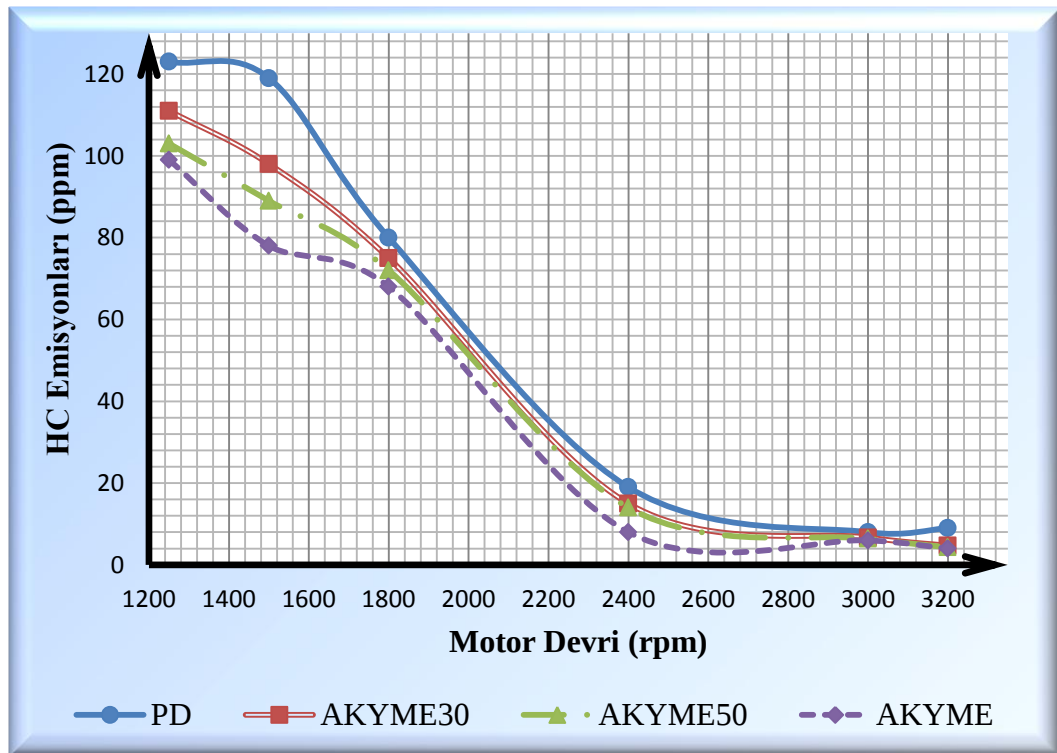


Şekil 5.4. Ön ısıtma uygulanmış mısır yağının ve petrol dizeli ile karışımlarının CO₂ emisyonu

5.3. HC Emisyonları

Biyoyakıt ve petrol dizeli ile karışımları kullanıldığında, petrol dizeli kullanımına nazaran HC emisyonlarında azalma görülmektedir. Karışımdaki biyoyakıt oranı arttıkça, HC emisyonlarındaki azalma da artmaktadır [6, 8, 12, 13, 42].

Bitkisel yağın ön ısıtma uygulanan çalışmalarda, ön ısıtma sıcaklığı arttıkça viskozitedeki azalmaya bağlı olarak HC emisyonları azalmaktadır [14, 15].

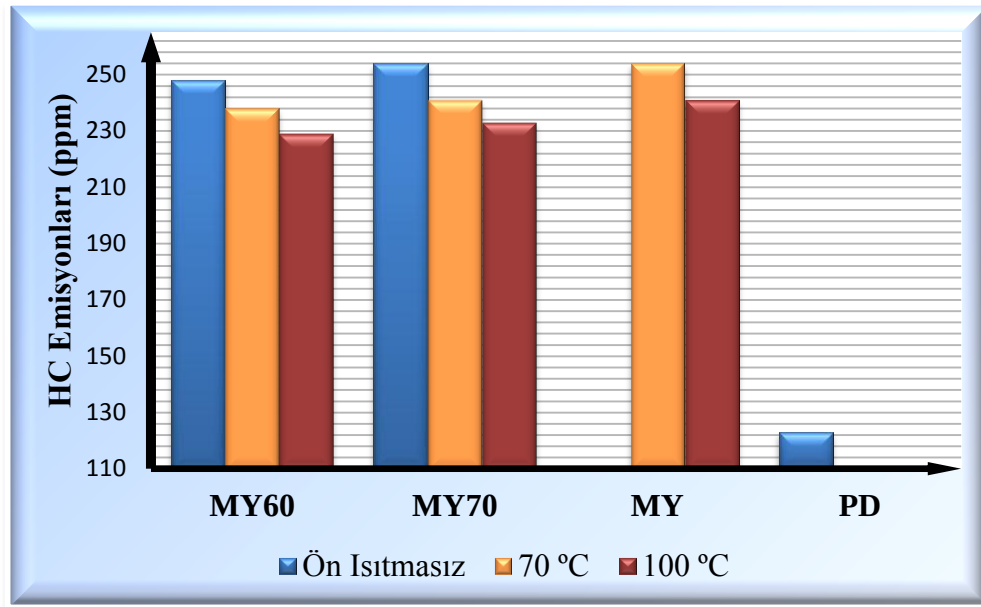


Şekil 5.5. Oda sıcaklığındaki AKYME'nin, petrol dizelinin ve karışımlarının HC emisyonları

Deneylerde CO emisyonu gibi eksik yanma ürünü olan HC emisyonlarında da, CO emisyonuna benzer sonuçlar elde edilmiştir. HC emisyonları, Şekil 5.5'te görüldüğü gibi motor devrindeki artışa bağlı olarak azalmıştır. En yüksek HC emisyonları petrol dizeli kullanımı ile açığa çıkarken, en düşük HC emisyonları AKYME kullanımı ile elde edilmiştir. Karışımdaki AKYME oranı arttıkça, karışımın içeriğindeki O_2 miktarı artarak, yanma sırasında gerekli olan O_2 HC emisyonları azalmıştır. 3000

rpm motor devrinde ise tüm yakıtlar için yaklaşık olarak aynı emisyon değerleri elde edilmiştir.

AKYME kullanımı ile petrol dizeline kıyasla HC emisyonlarındaki azalmalar 1250 rpm, 1500 rpm, 1800 rpm, 2400 rpm, 3000 rpm ve 3200 rpm motor devirleri için sırasıyla 24 ppm, 41 ppm, 12 ppm, 11 ppm, 2 ppm ve 5 ppm şeklindedir. Yüksek devirlerde aradaki farkın azalıyor olmasının sebebi motor devri arttıkça petrol dizelinin HC emisyonlarının da silindir içi sıcaklığın ve yanma veriminin artması sebebiyle azalıyor olmasıdır.



Şekil 5.6. Ön ısıtma uygulanmış mısır yağının ve petrol dizeli ile karışımlarının HC emisyonları

Mısır yağı ve petrol dizeli ile karışımlarının kullanıldığı deneylerde, Şekil 5.6'da görüldüğü gibi 1250 rpm - 1350 rpm motor devri aralığında, tüm ön ısıtma sıcaklıklarında ve tüm karışım oranlarında petrol dizeli ve AKYME'ne kıyasla hayli yüksek değerler elde edilmiştir. Yüksek değerler elde edilmiş olmasının sebebi mısır yağının yüksek viskozitesi ve yoğunluğudur. Karışımındaki mısır yağı oranı artışına bağlı olarak HC emisyonlarının da arttığı görülmüştür. Ön ısıtma sıcaklığı arttıkça

HC emisyonları düşmüş buna karşın yine de petrol dizeline kıyasla yüksek değerler görülmüştür.

5.4. NO_x Emisyonları

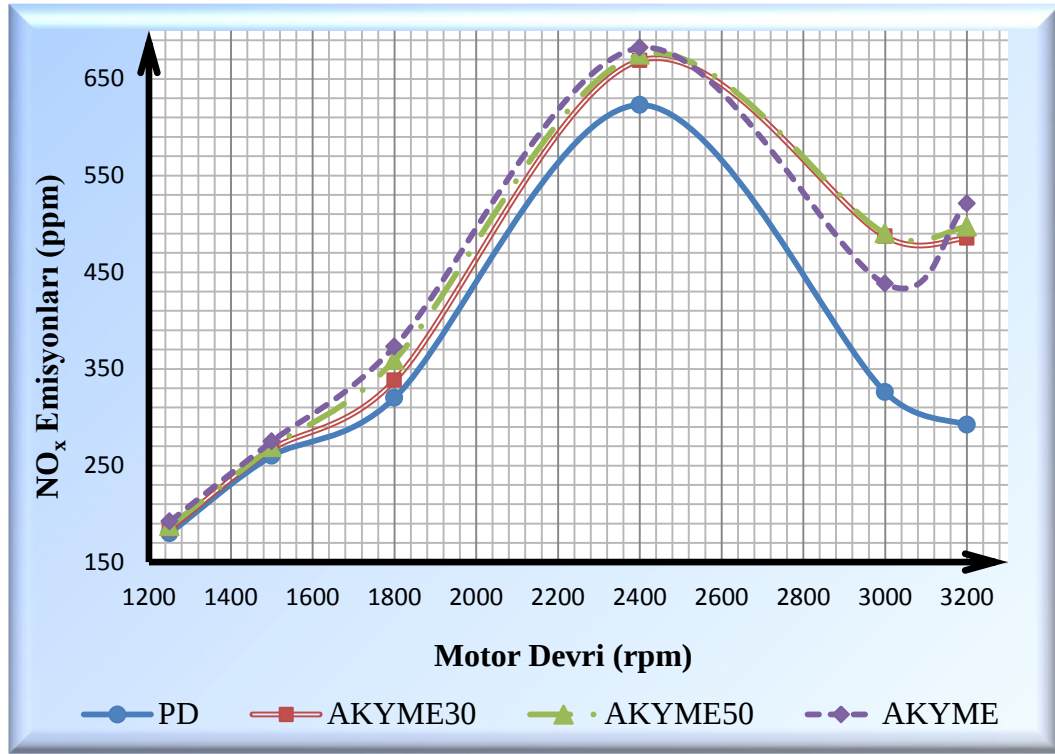
Literatür tarandığında çalışmaların çoğunda [6, 8, 9, 12, 13, 24, 26, 36, 51] biyodizel ve bitkisel yağ kullanımı sonucu petrol dizeline nazaran yüksek NO_x emisyon değerleri elde edilirken, kimi çalışmalarda [16, 17, 61, 64] düşük NO_x emisyonları elde edildiği görülmüştür. Biyodizel, bitkisel yağ ve petrol dizeli ile karışımlarının kullanımı sonucu NO_x emisyonlarında artış gözlenmesinin sebebi, CO ve HC emisyonlarında azalmaya sebep olan yakıt içeriğindeki O₂'dir. Biyodizel ve bitkisel yağların parlama ve yanma sıcaklıklarının yüksek olması ve yakıtın yeterli miktarda O₂ bulması sonucu silindir içerisindeki sıcaklık artmakta ve bu sıcaklık artışı NO_x emisyonlarının arttırmaktadır.

Karışımındaki biyoyakıt oranı arttıkça [6, 8, 9, 12, 36] ve motor devri arttıkça [9, 42, 51] NO_x emisyonlarının da arttığı görülmüştür. Buna karşın motor devrindeki artış ile NO_x emisyonlarında azalma elde edilen çalışmalar [12, 26] da vardır ve bu farkın kullanılan yakıtın fiziksel özelliklerinden, yüksek viskozitesi sebebiyle yanma karakteristiklerini bozmasından ve deney motorun özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Yakıtta ön ısıtma uygulanan çalışmalarda ise silindir içerisindeki sıcaklık artışına bağlı olarak NO_x emisyonlarında artış gözlemlenmiştir [15, 17].

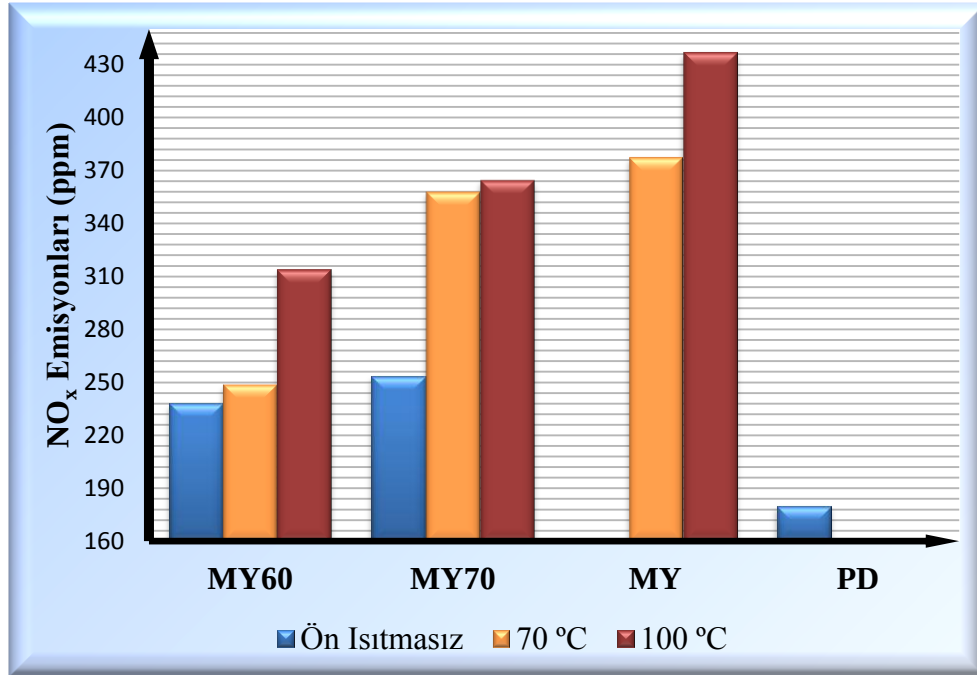
Literatürdeki örneklerle benzer şekilde bu çalışmada da AKYME kullanımı sonucu NO_x emisyonlarının arttığı görülmüştür. AKYME'nin petrol dizeline kıyasla yüksek parlama ve yanma sıcaklığı ve yapısındaki O₂ içeriği, silindir içi sıcaklığın artmasına sebep olmuş ve NO_x emisyonlarının oluşumunun esas sebebi olan sıcaklık artışı ile NO_x emisyonları da artmıştır. Şekil 5.7'de görüldüğü gibi deneyin yapıldığı tüm motor devirlerinde AKYME'nin NO_x emisyonları, petrol dizelininkine nazaran yüksek çıkmıştır. Tüm yakıtlar için motor devrindeki artışla birlikte, silindir içi

sıcaklık artmış ve tüm yakıtlar için NO_x emisyonları artmıştır. Motor devrindeki artışla birlikte AKYME içeriğindeki O_2 'nin etkisi daha da belirginleşmiş, AKYME'nin ve petrol dizelinin NO_x emisyonları arasındaki fark açılarak 2400 rpm motor devrinde maksimum fark olan 59 ppm olmuştur. 2400 rpm motor devrinden sonraki devirlerde ise tüm yakıtlar için NO_x emisyonlarında bir miktar azalma olduğu görülmüştür (Bkz. Şekil 5.7). Bu azalmanın sebebinin motor yüksek devirlerde çalışırken silindir içerisindeki hava hareketlerinin artması sonucu azot atomlarının oksitlenerek NO_x emisyonlarına dönüşmeden silindir içerisinden atılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 5.7. Oda sıcaklığındaki AKYME'nin, petrol dizelinin ve karışımlarının NO_x emisyonları

AKYME ile petrol dizelinin karışımları NO_x emisyonları açısından incelendiğinde tüm motor devirlerinde petrol dizeline kıyasla yüksek, AKYME'ne kıyasla düşük değerler elde edildiği görülmüştür. Karışımdaki petrol dizeli oranı arttıkça yakıtın parlama ve yanma noktası düşmüş ve yakıt içeriğindeki oksijen azalmış sonuç olarak da NO_x emisyonlarında azalma görülmüştür.



Şekil 5.8. Ön ısıtma uygulanmış mısır yağının ve petrol dizeli ile karışımlarının NO_x emisyonları

1250 rpm – 1350 rpm motor devri aralığında ve tam gaz konumunda yapılan deneylerde ön ısıtma uygulanmamış mısır yağı karışımı kullanıldığında, açığa çıkan NO_x emisyonlarının petrol dizeli kullanımı sonucu açığa NO_x emisyonlarından bir miktar yüksek çıktığı görülmüştür. Mısır yağının yapısındaki O_2 ve yanma sıcaklığının yüksek olması sebebiyle silindir içerisindeki sıcaklığın artması ve yüksek NO_x emisyonu oluşması beklenirken, mısır yağının yüksek viskozitesi, atomizasyonu zorlaştırmış, yanma karakteristiklerini bozmuş ve bu sebeple silindir içerisindeki sıcaklık artmamış, NO_x emisyonlarında beklenen artış olmamıştır. Şekil 5.8’de görüldüğü gibi mısır yağı petrol dizeli karışımı içerisindeki mısır yağı oranı arttıkça NO_x emisyonları artmıştır. Mısır yağına ve petrol dizeli ile karışımlarına ön ısıtma uygulandığında enjektörlere giden yakıtın sıcaklığı artmış, viskozitesi azalmış ve viskozitedeki azalma silindir içerisi sıcaklığı arttırarak NO_x emisyonlarının artmasına sebep olmuştur. En yüksek NO_x emisyonu mısır yağının 100 °C’ye ön ısıtılması sonucu oluşmuştur (Bkz. Şekil 5.8)

5.5. Motor Torku

Biyodizel, bitkisel yağ ve petrol dizeli ile karışımları kullanıldığında motor torkunda azalma olmaktadır [11, 12, 13, 42, 50, 51] . Motor torku karışımdaki biyoyakıt oranı arttıkça, azalma göstermektedir [11, 12, 13, 42].

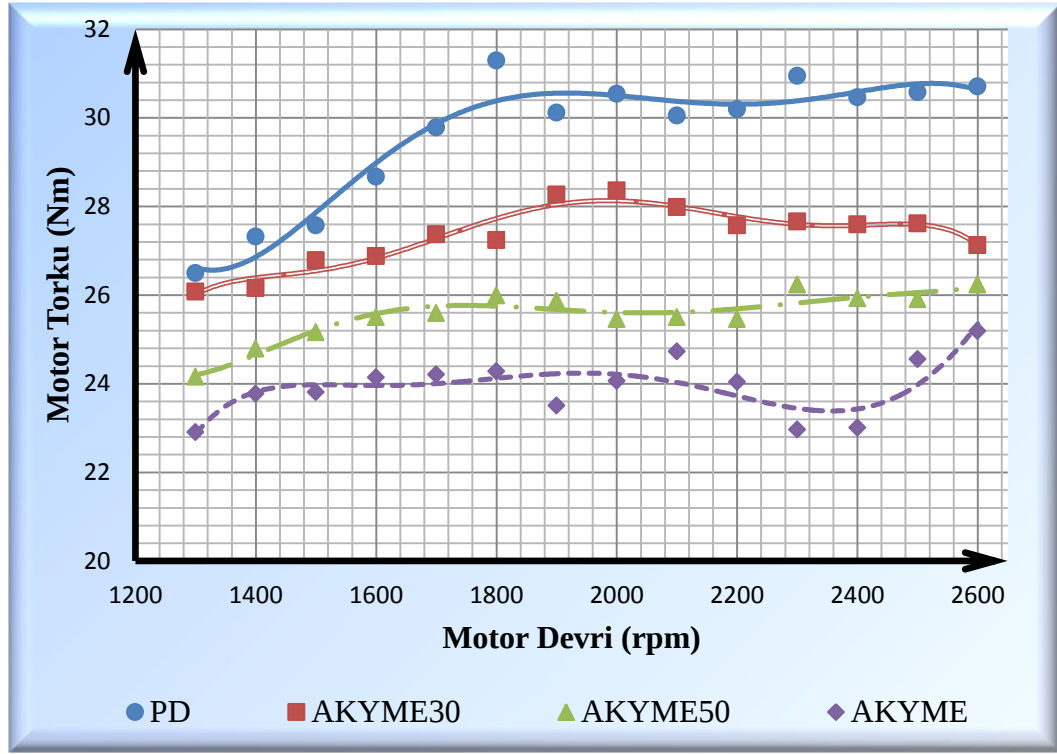
Biyoyakıtta ön ısıtma uygulanması sonucu, motor torkunda bir miktar yükselme olmasına rağmen yine de petrol dizeli değerlerinin altında kalmaktadır [16].

Çalışmalarda motor torku, kontrol ünitesi üzerinden anlık olarak okunmuş ve kayıt altına alınmıştır. Dinamometreye bağlı yük hücresi kuvvet koluna etkiyen kuvveti ölçmüştür. Kontrol ünitesi ise Eş. 5.1'i kullanarak bu kuvvetten motor torku hesaplamıştır.

$$M_d[Nm]=F[N].l_{kk}[m] \quad (5.1)$$

Bu çalışmada da bitkisel yağ ve biyodizelin alt ısı değerlerinin, petrol dizeline kıyasla düşük olması ve yüksek viskoziteleri sebebiyle yanmayı olumsuz etkilemesi motor torkunun azalmasına sebep olmuştur. Şekil 5.9'da da görüldüğü gibi deneyin yapıldığı tüm motor devirlerinde en yüksek motor torku petrol dizeli kullanımı ile en düşük motor torku ise AKYME kullanımı ile elde edilmiştir.

Deneyin yapıldığı tüm motor devirleri için ortalama motor torku, petrol dizeli için 29,62 Nm, AKYME için 23,94 Nm, AKYME30 için 27,33 Nm ve AKYME50 için 25,55 Nm olarak elde edilmiştir. AKYME kullanımı sonucu petrol dizeline kıyasla tüm devirler için ortalama motor torkundaki azalmanın 5,68 Nm olduğu görülmüştür. Karışımdaki AKYME oranını arttıkça yakıtın alt ısı değerinin düşmesine ve viskozitesinin artmasına bağlı olarak, motor torkunda azalma olduğu fakat hiçbir zaman AKYME kullanımı sonucu elde edilen değerlerin altına inilmediği görülmüştür.



Şekil 5.9. Oda sıcaklığındaki AKYME'nin, petrol dizelinin ve karışımlarının motor torku

5.6. Mil Gücü

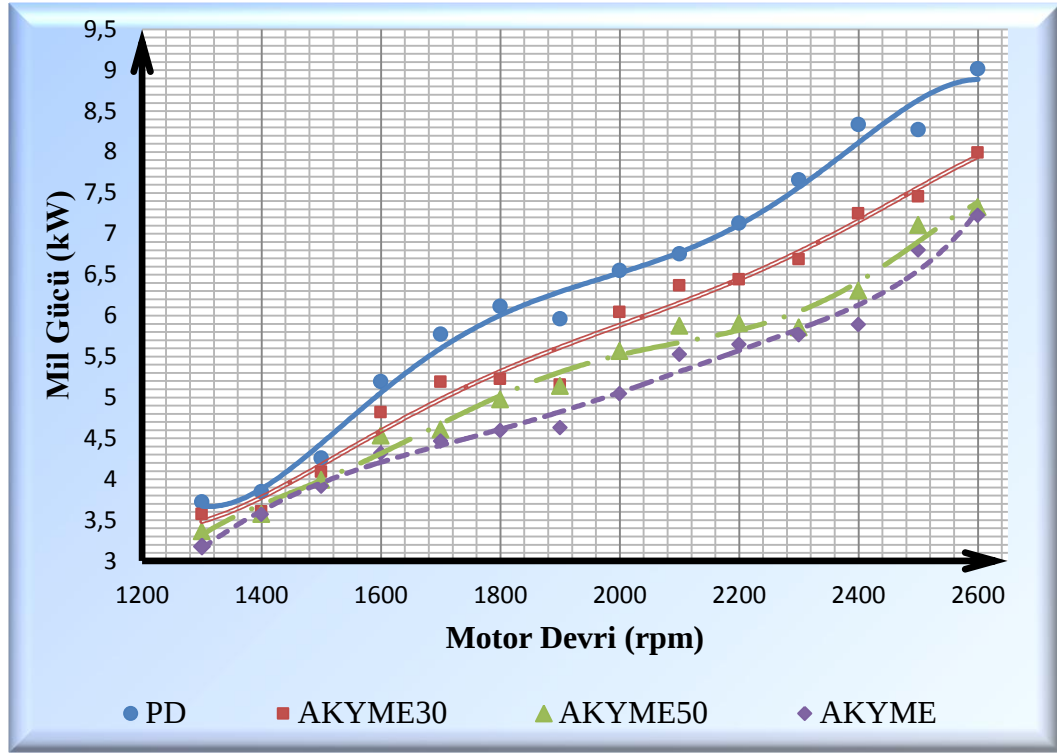
Literatür taramasında biyodizel, bitkisel yağ ve karışımlarının kullanımının, motor torkunda olduğu gibi mil gücünün de petrol dizeline nazaran düşük çıkmasına sebep olduğu görülmüştür [12, 50, 51]. Motor devrine göre aralarındaki mil gücü farkı değişse de tüm devirlerde petrol dizelinin mil gücü daha yüksek olmaktadır. [51]. Karışımdaki petrol dizeli oranı azaldıkça, mil gücü de azalmaktadır [12]. Mil gücünün, petrol dizeline nazaran düşük çıkmasının sebebi bitkisel yağların ve biyodizelin petrol dizeline kıyasla düşük alt ısıtma değeri ve yüksek viskozitesidir. Yakıtta ön ısıtma uygulandığında alt devirlerde ön ısıtmasız yakıtta nazaran yüksek güç değerleri elde edilse de, güç motor devrindeki artışa bağlı olarak azalmaktadır [16]. Güç değerleri yakıtın ön ısıtma sıcaklığına bağlı olarak da değişmektedir. Belirli sıcaklıklara kadar ısıtıldığında ön ısıtmanın olumlu etkisi görülürken, ön ısıtma sıcaklığı optimum bir değerin üstüne çıktığında güçte azalmalar olmaktadır [18].

Deneylerde mil gücü de motor torku gibi kontrol ünitesi yazılımı üzerinden anlık olarak okunmuş ve kayıt altına alınmıştır. Sistem mil gücünü, yük hücresi ile ölçüp, hesapladığı motor torkunu ve motorun o anki devrini kullanarak Eş. 5.2 yardımıyla hesaplamaktadır.

$$P_e[kW] = \frac{M_d[Nm] \cdot n[rpm]}{9549,3} \quad (5.2)$$

AKYME kullanımı ile mil gücü değerlerinde de motor torku değerlerine benzer değişimler gözlenmiştir ve petrol dizeline kıyasla azalma olmuştur. Bu azalmanın temel sebebi AKYME'nin düşük alt ısı değerleri ve yüksek viskozitesidir.

Literatürde olduğu gibi bu deneyde de deneyin yapıldığı tüm motor devirlerinde en yüksek güç değerleri petrol dizeli kullanımı ile elde edilmiştir. Şekil 5.10'da görüldüğü gibi motor devrindeki artışa bağlı olarak silindir içi sıcaklık artmış, yanma kalitesi artmış ve 2600 rpm motor devrinde tüm yakıtlar için en yüksek güç değeri elde edilmiştir. En yüksek güç değerlerinin elde edildiği bu devirde AKYME kullanımı ile elde edilen güç değeri 7,22 kW iken, petrol dizeli kullanımı ile elde edilen güç değeri 9,02 kW olmuştur. Deneyin yapıldığı tüm motor devirleri için AKYME kullanımında elde edilen güç değerlerinin ortalaması 5,13 kW, petrol dizeli kullanımının güç ortalaması ise 6,38 kW olarak hesaplanmıştır. AKYME30 ve AKYME50 kullanımında ise güç değerleri tüm devirler için AKYME kullanımı ile petrol dizeli kullanımı sonucu elde edilen değerler arasında kalmıştır. Karışımdaki AKYME oranı arttıkça, yakıt karışımının alt ısı değerinin düştüğü, viskozitesinin ve yoğunluğunun arttığı ve bu sebeple de motor gücünün düştüğü görülmüştür.



Şekil 5.10. Oda sıcaklığındaki AKYME'nin, petrol dizelinin ve karışımlarının mil gücü

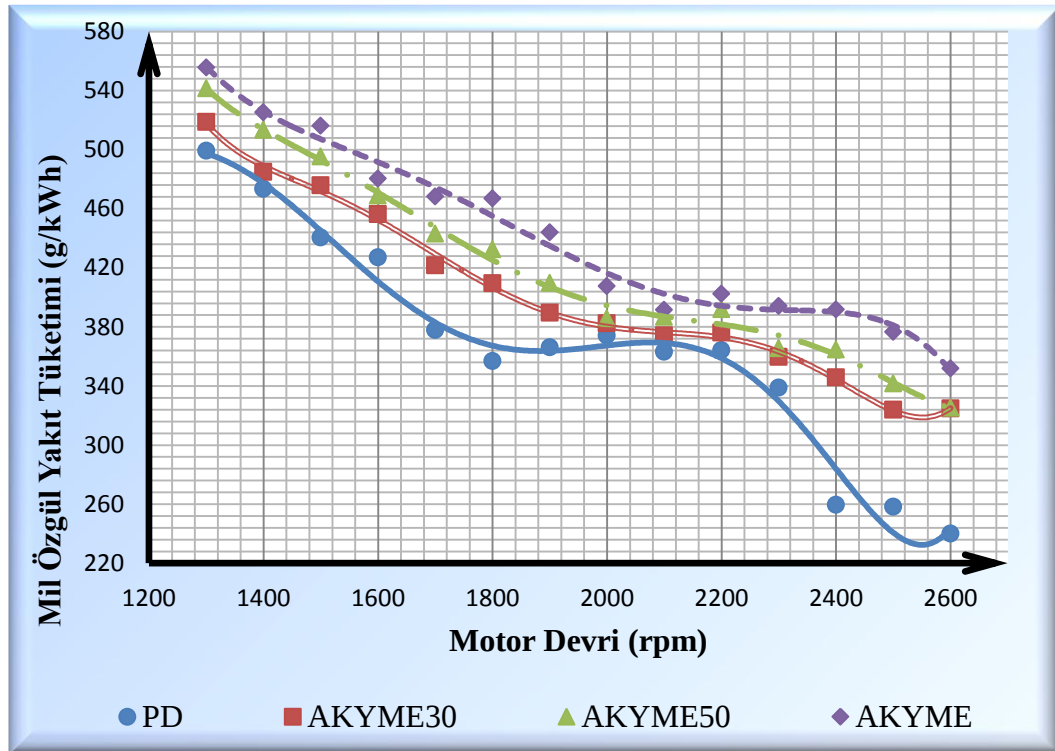
5.7. Mil Özgül Yakıt Tüketimi

Biyoyakıtların özgül yakıt tüketimleri petrol dizeline kıyasla daha yüksektir [26, 42, 50, 51]. Bu sebeple karışımdaki biyoyakıt oranı arttıkça özgül yakıt tüketimi de artmaktadır [9, 11, 12]. Yakıta ön ısıtma uygulandığında özgül yakıt tüketiminde bir miktar azalma olsa da yine petrol dizeline nazaran yüksek tüketim görülmektedir [15, 16, 17, 18].

Özgül yakıt tüketimi de diğer performans değerleri gibi kontrol ünitesi ve yazılımı tarafından hesaplanmış ve anlık olarak kayıt altına alınmıştır. Kontrol ünitesi ve yazılımı mil özgül yakıt tüketimini hesaplarken, yakıt tüketimini ve Eş. 5.2 ile hesapladığı mil gücünü kullanılmıştır.

$$b_e \left[\frac{\text{gr}}{\text{kWh}} \right] = \frac{\dot{m}_y \left[\frac{\text{gr}}{\text{h}} \right]}{P_e [\text{kW}]} \quad (5.3)$$

Biyoyakıt kullanımı ile özgül yakıt tüketiminin artması beklenen bir durumdur ve AKYME kullanılan çalışmada da böyle olmuştur. AKYME'nin düşük alt ısı değeri sebebiyle, petrol dizeline elde edilen gücün elde edilebilmesi için daha fazla yakıt ihtiyacı olmaktadır. Birde AKYME'nin petrol dizeline nazaran yüksek olan yoğunluğu sebebiyle, silindir içerisine aynı hacimde yakıt püskürtülmesine rağmen, kütleli olarak daha fazla AKYME'nin harcanmasına sebep olmaktadır.



Şekil 5.11. Oda sıcaklığındaki AKYME'nin, petrol dizelinin ve karışımlarının mil özgül yakıt tüketimi

Motor devrindeki artışa bağlı olarak tüm yakıtlar için mil özgül yakıt tüketiminin azaldığı görülmüştür ve Şekil 5.11'de de görüldüğü gibi 2600 rpm motor devrinde mil özgül yakıt tüketimi tüm yakıtlar için minimum olmuştur. Test edilen tüm motor devirlerinde AKYME kullanımı sonucu, petrol dizeline kıyasla yüksek özgül yakıt

tüketimi elde edilmiş ve yine tüm motor devirlerinde AKYME30 ve AKYME50 kullanımı sonucu elde edilen özgül yakıt tüketimi değerleri, AKYME ile petrol dizeli kullanımı ile elde edilen değerlerin arasında kalmıştır. Karışımdaki AKYME oranının artması ile özgül yakıt tüketiminin de arttığı görülmüştür. Tüm motor devirleri için ortalama özgül yakıt tüketim değerleri petrol dizeli ile kıyaslandığında AKYME30 kullanımı sonucu 36 g/kWh, AKYME50 kullanımı sonucu 51,91 g/kWh ve AKYME kullanımı sonucu 73,79 g/kWh artış olduğu görülmüştür. Bu durumun iki temel sebebi vardır. Bunlardan birincisi, karışımdaki AKYME oranı artışına bağlı olarak, yakıt karışımının alt ısı değerinin düşüyor olması ve bu sebeple de petrol dizeli ile elde edilen gücü elde edebilmek için daha fazla yakıt kullanılmasının gerekmesidir. İkinci sebebi ise AKYME oranındaki artışa bağlı olarak yakıt karışımının yoğunluğunun artması ve dolayısıyla her defasından silindir içerisine daha fazla yakıt püskürtülmesidir.

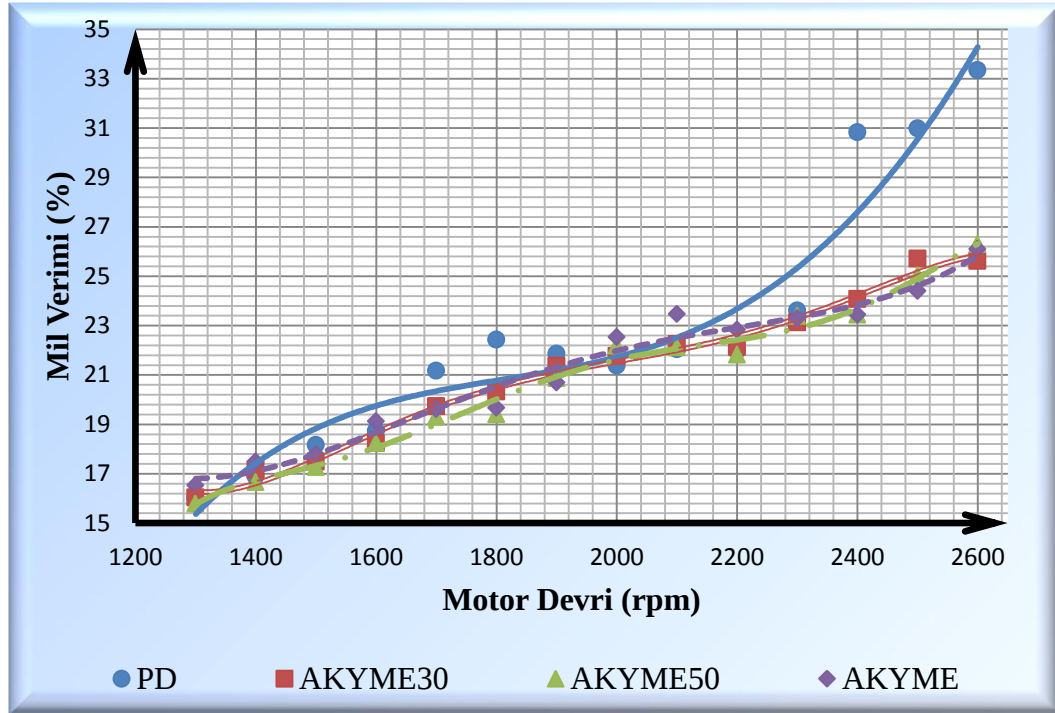
5.8. Mil Verimi

Bitkisel yağ, biyodizel ve petrol dizeli ile karışımları kullanıldığında mil verimin petrol dizeli mil verimine kıyasla düşük çıktığı görülmüştür [6, 11]. Bunun sebebi olarak bitkisel yağların ve biyodizelin yüksek viskozitesi ve düşük alt ısı değerleri gösterilmiştir.

Yakıtı ön ısıtma uygulandığında ise mil veriminde artış görülmüş ve ön ısıtma sıcaklığı arttıkça petrol dizelinin mil verimine yakın değerler elde edilmiştir [14, 15, 17, 18].

Mil verimi motorun krank milinden alınan gücün, motorun çalışırken harcadığı yakıtın kimyasal enerjisine oranıdır ve özgül yakıt tüketimi ile yakıtın alt ısı değeri kullanılarak Eş. 5.4 ile hesaplanmıştır

$$\eta_m [\%] = \frac{3,6 \cdot 10^8}{b_e [\text{gr/kWh}] \cdot H_u [\text{kJ/kg}]} \quad (5.4)$$



Şekil 5.12. Oda sıcaklığındaki AKYME'nin, petrol dizelinin ve karışımlarının mil verimi

Çalışmada motor devrine göre mil veriminin değiştiği, motor devrindeki artışa bağlı olarak tüm yakıtlar için mil veriminin yanma kalitesindeki artışa bağlı olarak arttığı görülmüştür (Bkz. Şekil 5.12). AKYME'nin mil verimi, düşük alt ısı değeri ve yüksek özgül yakıt tüketimi sebebiyle petrol dizeline kıyasla daha düşük çıkmaktadır. AKYME, AKYME30 ve AKYME50 kullanımı sonucu elde edilen mil verimleri karşılaştırıldığında motor devrine göre farklılıklar olduğu fakat tüm motor devirleri için ortalama mil verimine bakıldığında yaklaşık olarak aynı değerlere sahip oldukları görülmektedir. Bunun sebebi karışımdaki AKYME oranı artışına bağlı olarak özgül yakıt tüketiminin düşmesi buna karşın alt ısı değerinin yükselerek eşitliği dengelemesidir. Tüm motor devirleri için ortalama mil verimine bakıldığında petrol dizeli için %22,81, AKYME30 için %21,07, AKYME50 için %20,84 ve AKYME için %21,21 olarak elde edilmiştir.

6. SONUÇ

AKYME'nin, mısır yağının ve farklı oranlarda karışımlarının dizel motor yakıtı olarak kullanımının egzoz emisyonlarına ve motor performansına etkisinin incelendiği bu çalışmada, tek silindirli, dört zamanlı, direk püskürtmeli ve hava soğutmalı bir dizel motoru kullanılmıştır. Deneylerde yakıt olarak petrol dizeli, atık kızartma yağı metil esteri (AKYME), AKYME30, AKYME50, mısır yağı (MY), MY60 ve MY70 kullanılmıştır. Deney motoru tam gaz konumunda iken 1300 rpm ve 2600 rpm motor devri aralığında çalıştırılmış ve petrol dizeli, AKYME, AKYME30 ve AKYME50 için performans deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu yakıtların CO, HC, CO₂ ve NO_x emisyonu testleri 1250 rpm, 1500 rpm, 1800 rpm, 2400 rpm, 3000 rpm ve 3200 rpm motor devirlerinde gerçekleştirilmiş. Mısır yağının kullanımı ile ilgili emisyon testleri ise 1250 rpm ve 1350 rpm motor devri aralığında yakıtlara ön ısıtma uygulanarak ve ön ısıtmasız olarak yapılmıştır. Mısır yağının kullanıldığı deneylerde de CO, HC, NO_x ve CO₂ emisyonları incelenmiştir.

Oda sıcaklığındaki petrol dizeli, AKYME ve karışımları ile yapılan deneylerde AKYME kullanımının egzoz emisyonlarına etkisinin olumlu olduğu görülmüştür. Oksijen içeriği sayesinde, yanma sırasındaki O₂'nin yetersiz olması sebebiyle açığa çıkan HC ve CO emisyonlarının azalmasına sebep olmuştur. Bunun yanında içeriğindeki O₂ silindir içi sıcaklığı arttırarak NO_x emisyonlarının artmasına, CO emisyonunun CO₂'e dönüşmesini sağlayarak da CO₂ emisyonunun artmasına sebep olmuştur. Farklı motor devirlerinde yapılan deneylerin ortalaması alındığında ve petrol dizeli ile mukayese edildiğinde AKYME kullanıldığında CO emisyonlarının egzoz gazındaki yoğunluğunda %0,382 azalma, HC emisyonlarında 15,8 ppm azalma, NO_x emisyonlarında 80ppm artış, CO₂ emisyonlarının egzoz gazındaki yoğunluğunda %1,92 artış görülmüştür. Karışımdaki AKYME oranı artışına bağlı olarak HC ve CO emisyonlarında azalma, NO_x ve CO₂ emisyonlarında ise artış görülmüştür.

Oda sıcaklığındaki yakıtlarla yapılan performans testlerinde AKYME kullanımının motor performansına olumsuz etki ettiği görülmüştür. AKYME'nin viskozitesinin

petrol dizeline nazaran yüksek olması atomizasyonun ve sprey karakteristiklerinin bozulmasına sebep olmuş, yanma karakteristiklerindeki bu bozulma mil gücü ve motor torkundaki azalma ile kendini göstermiştir. Tüm yakıtlar için motor devrindeki artışa bağlı olarak motor torkunda, mil gücünde ve mil veriminde artış, mil özgül yakıt tüketiminde ise azalma görülmüştür. Tüm devirler için AKYME kullanımı sonucu petrol dizeline kıyasla mil gücünün ve motor torkunun düştüğü, özgül yakıt tüketiminin ise arttığı görülmüştür. Motor torkundaki en büyük fark 2300 rpm motor devrinde olmuş ve 7,98 Nm bir azalma gözlenmiştir. Tüm motor devirleri için ortalama motor torkundaki azalma 5,68 Nm olarak hesaplanmıştır. Mil gücündeki en büyük azalma ise 2400 rpm motor devrinde, 2,45 kW olarak görülmüştür. Tüm motor devirleri için güçteki ortalama azalma 1,29 kW'dır. AKYME'nin alt ısı değerinin düşük olmasından dolayı özgül yakıt tüketiminde petrol dizeline kıyasla tüm motor devirleri göz önüne alındığında ortalama 73,79 g/kWh artış olmuştur. AKME30 kullanımı ile mil gücünde 0,62 kW, motor torkunda ise 2,29 NM, AKME50 kullanımı ile mil gücünde 1,03 kW, motor torkunda 4,07 Nm azalma görülmüştür. AKYME30 ve AKYME50 kullanımında tüm motor devirleri için AKYME'ne kıyasla iyi sonuçlar elde edilmiştir. Mil veriminde ise AKYME kullanımı sonucu petrol dizeline kıyasla tüm devirler için ortalama %1,74 azalma olmuş, AKYME, AKYME30 ve AKYME50 yakıt kullanımında birbirine yakın verimler elde edilmiştir.

Mısır yağı kullanılan deneylerde MY, MY60 ve MY70 70 °C ve 100 °C ön ısıtma sıcaklıklarına ısıtılarak ve ayrıca MY60 ve MY70 ön ısıtma uygulanmadan yakılarak CO, HC, NO_x ve CO₂ emisyonları açısından incelenmiştir. Bitkisel yağ kullanımının, yapısında bulunan O₂ sayesinde CO ve HC emisyonlarını düşürmesi beklenmektedir. Fakat mısır yağının yüksek viskozitesi, yanma karakteristiklerinin bozulmasına ve dolayısıyla da CO ve HC emisyonlarında azalma yerine artışlara sebep olmuştur. Mısır yağına ön ısıtma uygulanmasına karşın, petrol dizelinden yüksek CO emisyonu elde edilirken, MY70'in 100 °C, MY60'ın 70 °C ve 100 °C ön ısıtma sıcaklıklarına ısıtılarak kullanıldığı durumlara petrol dizeli kullanımına yakın CO emisyonları elde edilmiştir. Yakıtların ön ısıtma sıcaklığındaki artışa bağlı olarak CO emisyonunda azalma görülmüştür. Ön ısıtma uygulanmadan MY, MY60 ve MY70 kullanımında

petrol dizeline yüksek HC emisyonları elde edilmiş, yakıtlara ön ısıtma uygulandığında emisyon değerlerinde azalma olmasına rağmen yine de HC emisyon değerleri, petrol dizeli kullanımı sonucu elde edilen HC emisyon değerlerinin üzerinde kalmıştır. Ön ısıtma sıcaklığındaki artışın HC emisyonlarını da düşürdüğü görülmüştür. Bitkisel yağ kullanımı ile gerek parlama ve yanma noktalarının yüksek oluşu, gerekse O_2 içerikleri sebebiyle NO_x emisyonunun artması beklenmektedir ve bu çalışmada da NO_x emisyonlarının arttığı görülmüştür. Ön ısıtmasız MY60 ve MY70 kullanımında, petrol dizeline kıyasla yüksek NO_x emisyonları elde edilmiştir. MY, MY60 ve MY70'e ön ısıtma uygulandığında ise NO_x emisyonlarının daha da arttığı, ön ısıtma sıcaklığındaki artışın NO_x emisyonlarında doğrudan arttırdığı görülmüştür. CO_2 emisyonunda da beklenildiği gibi artış olmuş, ön ısıtma sıcaklığındaki artışla CO_2 emisyonu daha da artmıştır. MY, MY60 ve MY70 yakıtların ön ısıtmalı ve ön ısıtmasız kullanımı sonucu elde edilen CO_2 emisyonu değerlerinin tamamı, petrol dizeli kullanımı sonucu elde edilen değerlere kıyasla yüksek çıkmıştır.

Bu çalışmada, literatürde de görülebileceği gibi [6, 8, 12, 42], biyodizel kullanımı sonucu CO ve HC emisyonlarında azalma, CO_2 ve NO_x emisyonlarında ise artış olduğu görülmüştür. Motor performans değerleri incelendiğinde ise biyodizel ve petrol dizeli ile karışımlarının kullanımı sonucu performansta azalmalar gözlenmiştir. Karışımındaki petrol dizeli oranı arttıkça performans değerlerinde artışlar görülmüştür.

Bitkisel yağ kullanımında ise emisyonların tamamında artış olduğu gözlenmiş, petrol dizeli ile karıştırıldığında ve yakıtta ön ısıtma uygulandığında emisyonlarda azalma olsa da emisyon değerlerinin yine de petrol dizeline nazaran yüksek olduğu görülmüştür.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda biyodizel kullanımının emisyonlara olumlu etkisi görülmüştür. CO_2 emisyonundaki artış, biyoyakıt üretilirken kullanılan bitkilerin yetiştirilmesi sırasında CO_2 kullanmaları sebebiyle ihmal edildiğinde, CO ve HC emisyonlarındaki azalmalar gözönünde bulundurulduğunda, biyodizelin emisyonlar açısından petrol dizeline iyi bir alternatif olduğu görülmektedir.

Biyodizel kullanımının sebep olduğu performanstaki azalmalar ise karışimdaki biyoyakıt oranının azaltılmasıyla veya yakıta ön ısıtma uygulanmasıyla en aza indirilebileceği tahmin edilmektedir. Motor performans ve egzoz emisyonları için optimum bir karışım veya optimum bir ön ısıtma sıcaklığı belirlenerek, AKYME'nin petrol dizeli yerine kullanılabileceği düşünölmektedir.

Mısır yağı ile yapılan deneylerde ise petrol dizeli ile yapılan karışımlarında %30 ve %40 oranında petrol dizeli bulunmasının, mısır yağının yüksek olan viskozitesini ve yoğunluğunu düşürmeye, düşük olan alt ısı değeri için ise yükseltmeye yetmediği ve yanma karakteristiklerindeki bozulmalar sonucu emisyonları yükselttiği görölmüşür. Her ne kadar yakıtlara 70 °C ve 100 °C sıcaklıklara kadar ön ısıtma uygulansa da petrol dizeli kullanımı sonucu elde edilen emisyon değeri ulaşılamamıştır. Bundan sonraki çalışmalarda karışimdaki mısır yağı oranının azaltılması, ön ısıtma sıcaklıklarının daha da arttırılması veya viskozitesi daha düşük olan bir bitkisel yağın tercih edilmesi tavsiye edilmektedir.

Yakıta ön ısıtma uyguladığımız deneylerde, normalde egzozdan atmosfere atılacak ısı, yakıtın ısıtılmasında kullanılmış olması atık enerjinin kazanılmasını sağlamıştır. Yakıta egzoz gazlarının ısı ile ön ısıtma uygulandığı bir çalışmada ekserji ve enerji analizi yapmak, bu kazancın mertebesinin belirlenmesine yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

1. İnternet : Türkiye İstatistik Kurumu “Motorlu kara taşıtları istatistikleri 2010”
http://www.turkstat.gov.tr/IcerikGetir.do?istab_id=72 (2011).
2. İnternet : British Petroleum “BP statistical review of World energy June 2012”
http://www.bp.com/assets/bp_internet/globalbp/globalbp_uk_english/reports_and_publications/statistical_energy_review_2011/STAGING/local_assets/pdf/statistical_review_of_world_energy_full_report_2012.pdf (2012).
3. Kaşifoğlu, S., Gümüş, M., Sayın, C., “Palm olein ve soya karışımı bitkisel yağın metil esterinin dizel motorlarında alternatif yakıt olarak kullanımı”, **10. Uluslararası Yanma Sempozyumu**, Sakarya Üniversitesi, 504-511 (2008).
4. Çevik, İ., Bulut, C., Karabektaş, M., Ergen, G., “Atık bitkisel yağdan üretilen biyodizel yakıtının ek hava uygulaması yapılan bir dizel motor performansına etkileri”, **10. Uluslararası Yanma Sempozyumu**, Sakarya Üniversitesi, 301-307 (2008).
5. Yücesu, H.S., Altın, R., Çetinkaya, S., “Dizel motorlarında alternatif yakıt olarak bitkisel yağ kullanımının deneysel incelenmesi”, **Turkish J. Eng. Env. Sci**, 25: 39-45 (2001).
6. Bhale, P.V., Deshpande, N.V., Thombre, S.B., “Improving the low temperature properties of biodiesel fuel”, **Renewable Energy**, 34: 799 (2009).
7. Usta, N., Can, Ö., Öztürk, E., “An experimental study on performance and exhaust emissions of a diesel engine fuelled with diesel fuel no. 2 / waste sunflower oil methyl ester blends”, **9th International Combustion Symposium**, Kırıkkale, 89–103 (2006).
8. Randazzo, M.L., Sodre, J.R., “Exhaust emissions from a diesel powered vehicle fuelled by soybean biodiesel blends (B3-B20) with ethanol as an additive (B20-B20E5)”, **Fuel**, 90: 101 (2011).
9. Roy, M.M., “Performance and emissions of a diesel engine fueled by diesel-biodiesel blends with special attention to exhaust odor”, **Canadian Journal on Mechanical Sciences and Engineering**, 2(1): 6 (2011).
10. Özsezen, A.N., Çanakçı, M., “Biyodizel ve karışımlarının kullanıldığı bir dizel motorda performans ve emisyon analizi”, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 15(2): 178 (2009).

11. Raheman, H., Phadatare, A.G., “Diesel engine emissions and performance from blends of karanja methyl ester and diesel”, **Biomass and Bioenergy**, 27: 393-397 (2004).
12. Büyükkaya, E., “Effects of biodiesel on a DI diesel engine performance, emission and combustion characteristics”, **Fuel**, 89: 3099-3105 (2010).
13. McCarthy, P., Rasul, M.G., Moazzem, S., “Analysis and comparison of performance and emissions of an internal combustion engine fuelled with petroleum diesel and different bio-diesels”, **Fuel**, 90: 2147-2157 (2011).
14. Agarwal, D., Agarwal, A.K., “Performance and emissions characteristics of Jatropha oil (preheated and blends) in a direct injection compression ignition engine”, **Applied Thermal Engineering**, 27: 2314-2323 (2007).
15. Chauhan, S.B., Kumar, N., Jun, Y.D., Lee, K.B., “Performance and emissions study of preheated Jatropha oil on medium capacity diesel engine”, **Energy**, 35: 2484-2492 (2010).
16. Hazar, H., Aydin, H., “Performance and emission evaluation of a CI engine fuelled with preheated raw rapeseed oil (RRO)-diesel blends”, **Applied Energy**, 87: 786-790 (2010).
17. Pugazhavadivu, M., Jeyachandran, K., “Investigations on the performance and exhaust emissions of a diesel engine using preheated waste frying oil as fuel”, **Renewable Energy**, 30: 2189-2202 (2005).
18. Karabektaş, M., Ergen, G., Hosoz, M., “The effects of preheated cottonseed oil methyl ester on the performance and exhaust emissions of a diesel engine”, **Applied Thermal Engineering**, 28: 2136-2143 (2008).
19. Çanakçı, M., Özsezen, A.N., Türkcan, A., “Combustion analysis of preheated crude sunflower oil in an IDI diesel engine”, **Biomass and Bioenergy**, 33: 760-767 (2009).
20. Dhuchakallaya, I., Watkins, A.P., “Application of spray combustion simulation in DI diesel engine”, **Applied Energy**, 87: 1427-1432 (2010).
21. İlbaş, M., Yılmaz, İ., “Farklı ısı güçlerindeki kazanlarda yanma ve emisyon davranışının araştırılması”, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, 18(1-2): 19 (2002).

22. İnternet : Department of Infrastructure “Draft Regulation Impact Statement for Review of Euro 5/6 Light Vehicle Emissions Standards”
http://www.infrastructure.gov.au/roads/environment/euro_files/Warren_Godson.pdf (2009).
23. Yüce, A., “Günümüzde otomobil teknolojisi”, *The Shell Company of Turkey Limited*, İstanbul, 99 (1997).
24. Aydoğan, B., “Biyodizel kullanılan dizel motorlarda NO_x emisyonlarının ve NO_x emisyonlarını azaltma yöntemlerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Denizli, 26 (2008).
25. Heywood, J., “Internal combustion engine fundamentals”, *McGraw Hill Science*, Newyork, 667 (1988).
26. Lin, C.Y., Lin, H.A., “Diesel engine performance and emissions characteristics of biodiesel produced by the peroxidation process”, *Fuel*, 85: 298-305 (2006).
27. Can, Ö., Çelikten, İ., Usta, N., “Effects of ethanol addition on performance and emissions of a turbocharged indirect injection Diesel engine running at different injection pressures”, *Energy Conversion and Management*, 45: 2429-2440 (2004).
28. Haşımoğlu, C., İcingür, Y., Ögüt, H., “Dizel motorlarında egzoz gazları resirkülasyonunun (EGR) motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisinin deneysel analizi”, *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, 26: 127-135 (2002).
29. Güler, Ç., “Çevre ve sağlık”, *Yeni Türkiye (Çevre Özel Sayısı)*, 5: 675-723 (1995).
30. Sönmez, İ., “Dizel motorlarında ilave oksijen verilmesinin motor performansı ve egzoz emisyonlarına etkisi”, Bilim Uzmanlığı Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 29 (2006).
31. Karamangil, M.İ., “Buji ateşlemeli motorlarda hırdokarbon emisyon kaynakları”, *Mühendis ve Makine*, 523: 1-10 (2003).
32. Kaytakoğlu, S., Var, F., Öcal, S.E., “Motorlu taşıtlardan kaynaklanan kirlilik ve kiderilme yöntemleri”, *Yanma ve Hava Kirliliği Kontrolü, 3. Ulusal Sempozyumu*, ODTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü, Ankara, 143-155 (1995).
33. “The Boiler Book”, *Cleaver Brooks Company*, E3-13 (2002).

34. İlbaşı, M., Syred, N., “Influence of temperature, air: fuel ratio, geometry and fuel type on the nox emissions of small burners”, **Proceedings of the Second Trabzon International Energy and Environment Symposium**, Begel House, 123-127 (1998).
35. İlkılıç, İ., Behçet, R., Aydın, S., Aydın, H., “Dizel motorlarında azot oksitlerin oluşumu ve kontrol yöntemleri”, **5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu**, Karabük, 1-5 (2009).
36. Hoekman, S.K., Robbins, C., “Review of the effects of biodiesel on NO_x emissions”, **Fuel Processing Technology**, 96: 238 (2012).
37. İnternet : Gazi Üniversitesi Otomotiv Bilim ve Teknoloji Topluluğu “Dizel motorlarında azotoksit kontrol yöntemleri”
http://obitet.gazi.edu.tr/makale/Makaleler/T10_Azotoksit.htm (2001).
38. İlkılıç, C., “Bir dizel motorunda enjeksiyon basıncının egzoz emisyonlarına etkisinin araştırılması”, **Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bil. Dergisi**, 20(3): 486 (2008).
39. Jimenez-Espadafor, F.J., Torres, M., Velez, J.A., Carvajal, E., Becerra, J.A., “Experimental analysis of low temperature combustion mode with diesel and biodiesel fuels: A method for reducing NO_x and soot emissions”, **Fuel Processing Technology**, 6 (2011).
40. Vinitketkumnuen, A., Kalayanamitra, K., Chewonarin, T., Kamens, R., “Particulate matter, Pm 10 & 2.5 levels and airborne mutagenicity in Chiang Mai, Thailand”, **Mutation Research**, 519: 121-131 (2002).
41. Kittelson, D.B., “Engines and nanoparticles: a review”, **J. Aerosol Sci**, 29: 575-588 (1998).
42. Özsezen, A.N., Çanakçı, M., “Biyodizel ve karışımlarının kullanıldığı bir dizel motorda performans ve emisyon analizi”, **Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 15(2): 178 (2009).
43. Stratakis, G.A., “Experimental investigation of catalytic soot oxidation and pressure drop characteristics in wall-flow diesel particulate filters”, PhD Thesis, **University of Thessaly**, Volos, 17 (2004).
44. Maiboom, A., Tauzia, X., “NO_x and PM emissions reduction on an automotive HSDI engine with water-in-diesel emulsion and EGR: An experimental study”, **Fuel**, 90: 3186 (2011).
45. Keskin, A., Sağıroğlu, S., “Dizel motorlarından kaynaklanan egzoz emisyonları ve kontrol yöntemleri”, **Mühendis ve Makina**, 51(606): 1-9 (2010).

46. İnternet : British Petroleum “Oil refining and products”
http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/bpes_new/bpes_new_uk/STAGING/local_assets/downloads/secondary_resources/en_bus_book_preview_071008.pdf
 (2006).
47. Gill, S.S., Tsolakis, A., Dearn, K.D., Rodriguez-Fernandez, J., “Combustion characteristics and emissions of Fischer-Tropsch diesel fuels in IC engines”, **Progress in Energy and Combustion Science**, 37: 503-523 (2011).
48. Öcal, M., “Setan sayısı hakkında 6 soru”, **Mühendis ve Makine**, 48(568): 24-25 (2007).
49. İnternet : University of Idaho “The basics of diesel engines and diesel fuels”
<http://www.uiweb.uidaho.edu/bioenergy/BiodieselEd/publication/03.pdf> (2005).
50. İlkılıç, C., “Metil ester katkılı dizel yakıtının bir dizel motoru performansına etkisinin deneysel incelenmesi”, **Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 19(3): 39-405 (2007).
51. Karabektaş, M., Ergen, G., “Soya yağı metil esterinin motor performans karakteristikleri ve NO_x emisyonları üzerindeki etkisinin incelenmesi”, **SAÜ Fen Bilimleri Dergisi**, 11(1): 21-26 (2007).
52. Szybist, J.P., Song, J., Alam, M., Boehman, A.L., “Biodiesel combustion, emissions and emission control”, **Fuel Processing Technology**, 88: 679-691 (2007).
53. Haşımoğlu, C., Ciniviz, M., Özsert, İ., İçüngür, Y., Parlak, A., Salman, M.S., “Performance characteristics of a low heat rejection diesel engine operating with biodiesel”, **Renewable Energy**, 33: 1709-1715 (2008).
54. Tesfa, B., Mishra, R., Gu, F., Powles, N., “Prediction models for density and viscosity of biodiesel and their effects on fuel supply system in CI engines”, **Renewable Energy**, 35: 2752-2760 (2010).
55. Erdoğan, D., “Bitkisel yağların dizel motorlarında yakıt olarak kullanılması”, **Tarımsal Mekanizasyon 13. Ulusal Kongresi**, Konya, 30-37 (1991).
56. Ulusoy, Y., Alibaş, K., “Ayçiçek yağı ve dizel yakıtı karışımlarının motor yakıtı olarak kullanımında avans ayarı değişimlerinin motor performans değerlerine olan etkileri”, **Tarımsal Mekanizasyon 19. Ulusal Kongresi**, Erzurum, 399-405 (2000).

57. Aydın, H., Bayındır, H., “Pamuk yağı biyodizelinin bir dizel motorunda değişik yük ve devirlerde egzoz emisyonlarına etkilerinin araştırılması”, **IV. Ege Enerji Sempozyumu**, İzmir, 1-8 (2008).
58. Karaosmanoğlu, F., Cıgızoğlu, K.B., Tüter, M., Ertekin, S., “Investigation of the refining step of biodiesel production”, **Energy and Fuels**, 10: 890-895 (1996).
59. Coronado, C.R., Silveira, J.L., “Biodiesel CO₂ emissions: a comparison with the main fuels in the Brazilian market”, **Fuel Processing Technology**, 90: 20-211 (2009).
60. Peterson, C.L., Hustrulid, T., “Carbon cycle for rapeseed oil biodiesel fuels”, **Biomass and Bioenergy**, 14(2): 91-101 (1998).
61. Ribeiro, N.M., Pinto, A.C., Quintella, C.M., Rocha, G.O., “The role of additives for diesel and diesel blended (ethanol or biodiesel) fuels: a review”, **Energy and Fuels**, 21: 2433-2445 (2007).
62. Raheman, H., Phadatare, A.G., “Diesel engine emissions and performance from blends of karanja methyl ester and diesel”, **Biomass and Bioenergy**, 27: 393-397 (2004).
63. Puhan, S., Vedaraman, N., Sankaranarayanan, G., Ram, B.V.B., “Performance and emission study of mahua oil ethyl ester in 4-stroke natural aspirated direct injection engine”, **Renewable Energy**, 30: 1269-1278 (2005).
64. Prasad, C.M.V., Krishna, M.V.S.M., Reddy, C.P., Mohan, K.R., “Performance evaluation of non-edible vegetable oils as substitute fuels in low heat rejection diesel engines”, **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering**, 214(2): 181-187 (2000).
65. Kalogeras, K., Bezergianni, S., Kazantzi, V., Pilavachi, P.A., “On the prediction of properties for diesel/biodiesel mixtures featuring new environmental considerations”, **Computer Aided Chemical Engineering**, 28: 973-977 (2010).
66. Örnek, S.S., “Dizel motorlarda biyodizel kullanımının egzoz emisyonlarına etkilerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Denizli, 18 (2007).
67. Strayer, R.C., Blake, J.A., Craig, W.K., “Canola and high erucic rapeseed oil as substitutes for diesel fuel: preliminary tests”, **Journal of the American Oil Chemists' Society**, 60(8): 1587-1592 (1983).

68. Zhou, P. L., Thorp, I., “Emulsified fuels atomisation study with high speed photographic technology”, *American Society of Mechanical Engineers*, 50: 23-30 (1993).
69. Peterson, C.L., Auld, D.L., Korus, R.A., “Winter rape oil fuel for diesel engines: recovery and utilization”, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 60(8): 1579-1587 (1983).
70. Sapuan, S.M., Masjuki H.H., Azlan, A., “The use of palm oil as diesel fuel substitute”, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 210(1): 47-53 (1996).
71. Korus, R.A., Jo, J., Peterson, C.L., “A rapid engine test to measure injector fouling in diesel engine using vegetable oil fuels”, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 62(11): 1563-1564 (1985).
72. Engler, C.R., Johnson, L.A., Lepori, W.A., Yarbrough, C.M., “Effects of processing and chemical characteristics of plant oils on performance of an indirect injection diesel engine”, *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 60(8): 1592-1596 (1983).
73. Hoekman, S.K., Broch, A., Robbins, C., Cenicerros, E., Natarjan, M., “Review of biodiesel composition, properties and specifications”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16: 143-169 (2012).
74. Demirbaş, A., “Relationships derived from physical properties of vegetable oil and biodiesel fuels”, *Fuel*, 87: 1743-1748 (2008).
75. Altınsoy, A.S., “Biyodizel üretimi, motorlarda kullanımı ve Türkiye’deki kaynakların incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 34-40 (2007).
76. İnternet : Anadolu Motor, “ANTOR Motor Tanıtım Broşürü” <http://www.anadolumotor.com.tr/Urunler/Antor/Dizel-Motor/3-LD-510.aspx> (2012).
77. Kakaç, S., Liu, H., “Heat Exchangers Selection, Rating, and Therman Design Second Edition”, 0-8493-0902-6, **CRC Press**, Washington D.C – USA, 43-47, 193-213, (2002).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇEVİK, Kerem
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 03.11.1987 Ankara
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (555) 311 19 87
 e-mail : keremcevik@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Anadolu Üniversitesi / İşletme Bölümü	2011
Lisans	Osmangazi Üniversitesi / Makine Mühendisliği	2009
Lise	Sokullu Mehmet Paşa Lisesi (Y.A.)	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012-Halen	KRAPS	Proje Sahibi
2011-Halen	Faraz Metal Ltd. Şti.	Makine Mühendisi
2010-2011	Best Buy	Teknoloji Uzmanı

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, Elektronik, Akvaryum, Fotoğrafçılık